

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.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



СПРАВОЧНИК
по общестроительным работам

СПРАВОЧНИК ПО ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫМ РАБОТАМ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Под редакцией проф. В. Н. Ганьшина



МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1975

Рекомендовано к изданию главной редакционной коллегией справочников по общестроительным работам.

Главная редакционная коллегия серии:

П. Ф. Бакума (гл. редактор), Г. Н. Доможиров (зам. гл. редактора), М. И. Бальнов, В. П. Белов, А. Т. Бруков, С. П. Епифанов, В. В. Иванов, Н. В. Казанский, Б. П. Калинин, И. А. Онуфриев, С. М. Терехов, Е. А. Торгоненко, Н. М. Трегубенков, Б. С. Федоров, С. Н. Щербаков

Авторы: *В. Н. Ганьшин, Б. И. Коськов, Л. С. Хренов, К. И. Зимин, Г. И. Бородулин, А. В. Котков, А. П. Старицын*

Справочник по общестроительным работам. Геодезические работы в строительстве. Под ред. В. Н. Ганьшина, М., Стройиздат, 1975. 400 с. Авт.: В. Н. Ганьшин, Б. И. Коськов, Л. С. Хренов и др.

В Справочнике «Геодезические работы в строительстве» рассматриваются метрологические и геодезические методы, применяемые в строительстве; дается описание современных геодезических приборов, их поверки и юстировки; приводятся основные виды опорных геодезических сетей на строительной площадке; излагаются методы угловых и линейных измерений, обработки результатов измерения, а также выполнения различных съемок; указывается порядок осуществления геодезического контроля в строительстве зданий и сооружений; рассматриваются вопросы организации геодезических работ в строительстве.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

Табл. 121, ил. 138, список лит.: 90 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкий размах промышленного, городского, жилищного и сельскохозяйственного строительства в нашей стране, а также переход на заводское изготовление сборных железобетонных элементов строительных конструкций заставляют решать вопросы геодезического обеспечения при возведении зданий и сооружений, главной части строительного производства. Учет необходимости геодезического обеспечения повышает качество строительства и помогает правильно выполнять строительные-монтажные работы, что приводит к удешевлению строительства и сокращению сроков ввода в действие новых производственных мощностей.

Качество современного строительства и долговечность сооружений тесно связаны с общим уровнем геодезического обслуживания строительства.

Технический прогресс в строительстве, новые конструкции, сокращение сроков возведения зданий, повышение качества и долговечности сооружений создают необходимость дальнейшего совершенствования геодезических работ, внедрения прогрессивных методов их производства, новых высокоточных приборов и высокой квалификации исполнителей. В связи с этим в книге изложены вопросы метрологии, относящиеся к измерениям в строительстве, выполняемым для определения размеров и относительного положения элементов инженерных сооружений и местности. Описаны методы создания главной плановой основы (при помощи триангуляции, трилатерации, полигонометрии и строительной сетки) и главной высотной основы, приведены типы знаков для закрепления пунктов, рассмотрены съемочные и разбивочные работы при строительстве и связанный с ним вынос в натуру красных линий главных и основных осей и осей инженерных коммуникаций. В книге описаны методы контроля строительного-монтажного производства, наблюдения за осадками зданий в процессе строительства и по завершении его. Обращено внимание на организацию геодезических работ, в которой нашли отражение главные задачи и структура геодезической службы, основные права и обязанности ее работников.

Книга «Геодезические работы в строительстве» может служить пособием для линейного персонала строительных организаций, а также других специалистов.

В этом справочнике проф. В. Н. Ганьшиным написаны пп. 1, 6—8, «Измерение горизонтальных направлений круговыми приемами» и «Поправка в измеренные расстояния» раздела I, «Строительная сетка» в разделе II, канд. техн. наук Б. И. Косыковым — пп. 2 и 3 раздела II и раздел III, проф. Л. С. Хреновым — «Главная высотная основа», «Рабочая плановая и высотная основа», «Типы знаков и центров для закрепления пунктов плановой и высотной основы на строительной площадке» раздела II; канд. техн. наук доцентом Г. И. Бородулиным — пп. 2 и 3 раздела I; инж. К. И. Зиминным — «Триангуляция», «Полигонометрия», «Трилатерация»; канд. техн. наук А. В. Котковым — пп. 4 и 5 раздела I; инж. А. П. Старицыным — раздел IV.

Справочник подобного рода издается впервые. Авторский коллектив будет благодарен за предложения и пожелания читателей, которые будут учтены при переиздании справочника.

Раздел I. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИИ, ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ЗАДАЧИ

Общие сведения

Метрология — наука об измерениях, о методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В метрологии (ГОСТ 16263—70) рассматриваются:

единицы физических величин и их системы;

общая теория измерений;

методы и средства измерений;

способы определения точности измерений;

основы обеспечения единства измерений и однообразия средств измерений;

эталоны и образцовые средства измерений;

методы передачи размеров от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Физическая величина — свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (явлениям и процессам), но по своему количественному содержанию индивидуальное для каждого из них, т. е. данное свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.

В строительстве при решении задач, связанных с нахождением размеров некоторых объектов (элементов) и определением их положения в пространстве, используют преимущественно две физические величины — длину и угол.

Длина — свойство отрезка прямой, ломаной или кривой линии. При этом длину ломаной понимают как сумму длин отрезков составляющих ее звеньев, а длину кривой — как предел, к которому стремится длина вписанных в эту кривую ломаных при неограниченном увеличении числа их звеньев, когда длина наибольшего звена стремится к нулю.

В геодезии длину обычно называют:

расстоянием (s , l) для отрезка прямой (кривой), расположенной в горизонтальной плоскости (общее — на уровне поверхности);

превышением или высотой (h , H) для отрезка вертикали (отвесной линии);

наклонным расстоянием (S , L) для отрезка прямой (кривой), расположенного к горизонту под углом, отличным от 0° и 90° .

Кроме того, говоря о размерах предмета (фигуры), различа-

ют: длину (l, L), ширину (b, B), высоту (h, H), толщину (δ), радиус (r, R), диаметр (d, D) и др.

Угол (плоский) — свойство, характеризующее поворот между начальным и конечным положениями подвижного луча (радиуса, полупрямой), выходящего из некоторой точки, называемой вершиной.

Размером физической величины называют количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Средством для получения количественного содержания свойства в данной физической величине служит физическая величина того же вида, в которой количественное содержание оцениваемого свойства принято по определению за единицу. Размер Q физической величины связан с размером $[Q]$ физической величины, принятой за единицу, уравнением

$$Q = q[Q], \quad (1)$$

где q — некоторое отвлеченное число, называемое значением данной физической величины.

Таким образом, значение физической величины — количественная оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Можно сказать, что единица физической величины — такая физическая величина, которой присвоено числовое значение, равное 1.

За основную единицу длины принят метр (м) — до 1960 г. — это одна десятимиллионная часть четверти Парижского меридиана, определенная геодезическими измерениями в конце XVIII века. В 1960 г. принято новое определение метра через длину световой волны, как естественного и неразрушимого эталона длины, полученного с высокой степенью точности: метр — длина, равная 1650763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86 (ГОСТ 7664—61 и 9867—61).

За основную единицу плоского угла принят радиан — угол между двумя радиусами круга, вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу. Прямой угол содержит $\frac{\pi}{2}$ радиан для перехода от градусной меры к радианной и обратно могут служить соотношения $\rho^\circ = 57,2957795^\circ$; $\frac{1^\circ}{\rho^\circ} = 0,0174532925$.

Значение физической величины, точно отражающее качественное и количественное отношения соответствующего свойства объекта, называют *истинным значением физической величины*.

Для значения физической величины, найденного экспериментально и настолько приближающегося к истинному значению, что может быть использовано вместо него для данной цели, рекомендуется термин *действительное значение физической величины* (ГОСТ 16263—70).

Вопросы общей теории измерений длин и углов

Измерения, их математическая модель. Нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств называют измерением.

Любые измерения выполняются при наличии определенных условий, слагающихся из ряда факторов, которые принято делить на следующие:

объект измерения — физическая величина, значение которой определяется;

субъект измерений — наблюдатель, т. е. лицо, выполняющее измерения;

технические средства — мерный прибор (инструмент), которым проводят измерения;

метод измерения — совокупность правил и приемов использования средств измерений для получения значения измеряемой физической величины;

внешняя среда — среда, в которой проводят измерения.

Измерения, как и всякий процесс природы, в силу всеобщей их связи и взаимодействия, представляет собой сложное явление, анализ которого невозможен без определенной схематизации: обстановка и реальные условия упрощаются и заменяются некоторой идеализированной моделью — схемой, позволяющей строго представить (сформулировать) измерение в виде некоторой математической задачи, результатом решения которой будет значение физической величины.

Точность измерений, вес измерений. Качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины, называют точностью измерений.

Значение физической величины и ее точность характеризуют две стороны процесса измерений: количественную и качественную. Никакие измерения нельзя считать законченными, пока не оценена их точность. Таким образом, в результате измерений должны быть получены два ряда чисел: значения физических величин и оценки их точности.

Качественная оценка измерений — оценка точности значений физических величин — является одной из основных задач метрологии. Во-первых, исходя из анализа условий измерений, дают так называемую априорную оценку точности проектируемых измерений; во-вторых, исследуя результаты измерений, получают апостериорную оценку точности выполненных измерений (см. п. 6 настоящего раздела).

В основу априорной оценки точности измерений положен следующий принцип: результаты двух (нескольких) измерений, выполненных при одних и тех же условиях, принимаются равноточными, т. е. имеющими одинаковую степень доверия. При этом допускается ряд упрощений, например считают практически одинаковыми объекты, относящиеся к одному и тому же роду и имеющие идентичную категорию сложности измерений; субъекты с тождественной квалификацией; приборы (инструменты), имеющие одно и то же качество; методы, обеспечивающие (в принципе) одинаковую точность измерений; внешние среды, колебания которых около некоторого среднего значения происходят примерно в одних и тех же пределах.

Измерения будут неравноточными, если условия измерений неодинаковые, т. е. когда они различаются хотя бы по одному из перечисленных выше пяти факторов.

Про равноточные измерения говорят, что они имеют одинаковый вес. Вес измерения p — мера относительной точности однородных

измерений. Так, если вес измерения $p=k$, то данное измерение в k раз точнее измерения, вес которого принят за единицу.

Для неравноточных измерений вес назначается исходя из некоторых положений (предпосылок), при этом наиболее употребительными являются:

среднее арифметическое из n результатов прямых измерений одной и той же физической величины, каждое из которых имеет единичный вес, считается эквивалентным одному измерению, вес которого равен n ;

значение величины, полученное как сумма n результатов измерений, вес каждого из которых равен единице, имеет вес, равный $1/n$. Это положение имеет широкое применение при обработке результатов геодезических измерений, так как многие из них описываются формулой (5). Так, приняв, что вес измерения мерной лентой одного пролета в 20 м равен 1, получим вес расстояния, измеренного n кратным отложением 20-метровой ленты, равным $1/n$. Аналогично, разность высот, найденная как сумма n превышений, имеющих единичный вес (т. е. полученных при одной установке нивелира как разность двух отсчетов), будет иметь вес $1/n$;

значение физической величины, измеренное инструментом с точностью отсчета n единиц, считается имеющим вес, равный c/n , где c — произвольное число, имеющее ту же размерность, что и n . Так, если вес измерения угла инструментом с точностью отсчета $30''$ принят за единицу ($c=30''$), то вес измерения угла инструментом с точностью отсчета $10''$ надлежит принять за три (при прочих равных условиях);

значение l физической величины, которому приписывают вес p , определяемый формулой

$$\frac{1}{p} = a + bl^2 + cl + dl^2, \quad (2)$$

где a, b, c, d — коэффициенты, значения которых находят на основании зависимости, существующей между определяемой величиной l и непосредственно измеренными.

Классификация измерений. Измерения классифицируют по виду формул, служащих для нахождения искомого значения физических величин и определяющих собой характер зависимости, существующей между результатами измерений.

Прямыми называют измерения, проводимые сравнением размера измеряемой физической величины непосредственно с принятой единицей. Значение измеряемой величины при прямых измерениях находят по формуле (1).

Математическая обработка результатов прямых измерений наиболее простая. Поэтому измерения, выполняемые по более сложной схеме, условно рассматривают как прямые. К числу таких «*условно прямых*» в геодезии относят все измерения, в которых искомое значение физической величины находят путем отсчета показаний измерительного прибора.

Вес результата измерений полученного значения физической величины вычисляют в соответствии с указанными выше правилами.

Таким образом, прямыми (условно прямыми) называют такие измерения, результат которых представляется двумя числами: значением l измеренной физической величины и характеристикой точ-

ности этого значения — весом p . При последующей обработке эти числа следует считать независимыми.

Прямые измерения. Простой и важный случай измерений представлен следующим примером.

Пример 1. Требуется определить размер l некоторой детали при помощи мерной ленты (рулетки). Математическая схема-модель измерений будет следующей: определяемая длина отрезка ab фиксируется точками a и b (концами детали); лента — отрезок AB прямой линии, где A — начало ленты и B — ее конец; отрезок AB совмещается с прямой, проходящей через точки a и b , таким образом

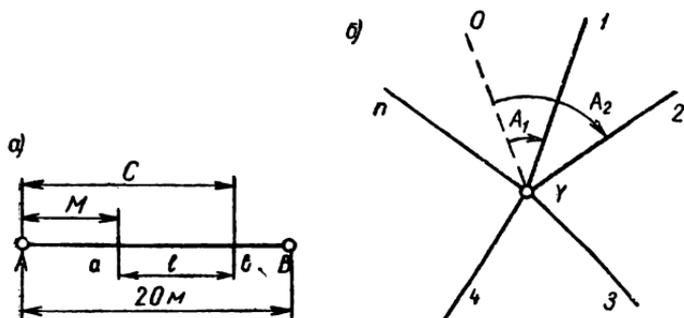


Рис. 1. Прямые измерения

a — длин; b — углов
 $M = a$ — младший отсчет; $C = b$ — старший отсчет

последние оказываются внутри отрезка AB ($ab < AB$); в точках a и b по ленте делают отсчеты, т. е. определяют, с какими делениями ленты совпадают концы детали: (a) — младший и (b) — старший; разность этих отсчетов и дает искомую длину (рис. 1, a).

Измерения, когда результат l определяют как разность двух отсчетов

$$l = (b) - (a), \quad (3)$$

находят широкое применение в практике, в частности, по формуле (3) проводят наиболее распространенные геодезические измерения на строительной площадке: расстояний (рулеткой, лентой, проволокой), превышений (нивелиром) и углов (теодолитом, тахеометром).

Часто принимают (a) = 0, тогда значение физической величины находят непосредственно из опыта:

$$l = (b), \quad (4)$$

Значительные расстояния измеряют кратным откладыванием мерного прибора ($ab > AB$) и искомое значение определяют по формуле

$$l = \sum_{i=1}^n [(b_i) - (a_i)], \quad (5)$$

где n — число отложений мерного прибора.

Формула (5) применяется также при «сложном» нивелировании, когда искомое превышение определяется не с одной, а с нескольких постановок (станций) нивелира.

Как частный случай, при измерении расстояний мерный прибор устанавливают так, что младший отсчет (a) каждый раз равен нулю, а старший (b) соответствует номинальному значению S_0 длины мерного прибора (ленты). Исключение составляет последний — неполный пролет, которому соответствует отсчет (b) = r , где r — так называемый остаток. В этом случае

$$l = (n - 1) S_0 + r. \quad (6)$$

Вес значения величины l , определяемого формулами (3) и (4), принимают равным единице, а вес значения, вычисляемого по уравнениям (5) и (6), считают равным $1/n$.

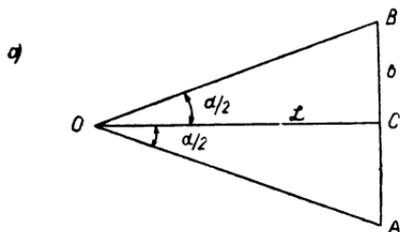
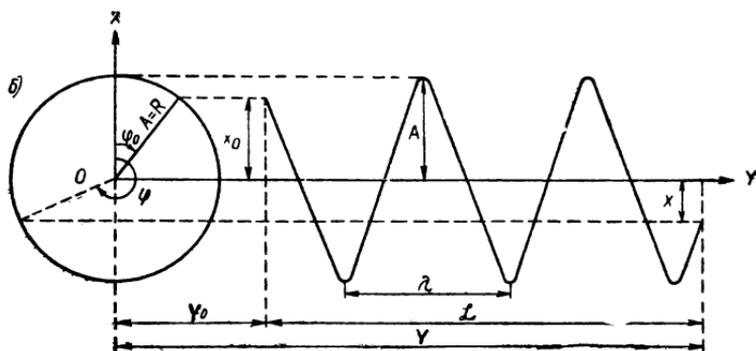


Рис. 2. Схемы измерения расстояний

a — параллактический метод; b — электромагнитный метод



При этом полагают, что точность установки мерного прибора на заданный отсчет (например, нулевой) имеет тот же порядок, что и отсчет, взятый по этому прибору.

Пример 2. Рассмотрим параллактический метод измерения длин. Пусть (рис. 2, а)

$$OC = L; \quad AB = b; \quad \angle AOC = \angle BOC = \frac{\alpha}{2}; \quad OC \perp AB, \text{ тогда}$$

по значениям угла α и длины b (базиса) определим искомую длину L по формуле

$$L = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (7)$$

В частности, при постоянном значении угла α , например $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 200$, техника вычислений упрощается, а именно:

$$L = 100 b. \quad (8)$$

Вес p величины L определяют по формуле

$$\frac{1}{p} = aL^2,$$

где a — коэффициент, зависящий от относительной точности базиса b , величины угла α и точности его измерения (с. 19).

Пример 3. Рассмотрим электромагнитный метод измерения длин. Пусть OA — вектор, равномерно вращающийся в плоскости XOY вокруг точки O (рис. 2, б). Его положение на некоторый момент времени t относительно оси абсцисс фиксируется углом φ — фазой колебания. Если φ_0 — фаза в начальный момент времени t_0 и T — период колебания, т. е. время поворота вектора AO на угол, равный 2π , то $\varphi = \varphi_0 + \frac{2\pi}{T} (t - t_0)$.

Абсцисса X конца вектора на момент времени t определится по формуле

$$X = A \cos \varphi = A \cos \left[\varphi_0 + \frac{2\pi}{T} (t - t_0) \right]. \quad (9)$$

Отрезок $OA = A$ называют амплитудой колебания.

Кривая (см. рис. 2, б), координаты X и Y текущей точки которой заданы уравнениями (9) и

$$Y - Y_0 = c (t - t_0), \quad (10)$$

изображает гармоническое колебательное движение.

Если c — скорость распространения волн, то расстояние λ , на котором распространяется вдоль оси ординат колебание за один период — длина волны.

Очевидно, $\lambda = cT = \frac{c}{f}$, где $f = \frac{1}{T}$ — частота колебаний.

Таким образом, расстояние L , на которое распространится вдоль оси ординат гармоническое колебательное движение за отрезок времени $t - t_0$, определится формулой

$$L = Y - Y_0 = \left(N + \frac{\varphi - \varphi_0}{2\pi} \right) \lambda, \quad (11)$$

где N — целое число волн, уложившихся на отрезке L (см. рис. 2, б: $N = 2$; $\varphi_0 \approx 0,1$; $\varphi \approx 0,7$; $L = 2,6 \lambda$).

Формула (11) реализуется при измерении длин современными светодальномерами, а также радиодальномерами (с. 22).

Прямые совместные измерения. В ряде случаев в одних и тех же условиях прямыми измерениями находят значения не одной, а нескольких физических величин. При этом реальный смысл имеют не отдельные полученные значения, а лишь их разности. Рассмотрим этот случай на примере.

Пример 4. Требуется определить положение нескольких n точек — a, b, \dots, m, n , расположенных на одной прямой. Решить зада-

чу можно многократным применением предыдущего способа, т. е. измерить последовательно длины отрезков ab, bc, \dots, mn . Однако иногда выгоднее другой, более общий прием (метод) измерений. Для простоты допустим, что все указанные точки расположены в пределах мерной ленты; тогда одновременно по ленте можно сделать отсчеты a, b, \dots, n , соответствующие заданным точкам. Совокупность таких отсчетов назовем рядом независимых отсчетов. Очевидно, ряд из n независимых отсчетов определяет все возможные величины числом $\frac{1}{2}(n-1)n$.

Рассмотренные совместные измерения находят широкое применение в геодезических работах на строительной площадке при следующих операциях:

фиксации линейными промерами точек пересечения контуров по заданному створу (съемка ситуации лентой);

нивелировании с одной станции нескольких (>2) точек, например при нивелировании площади по квадратам, а также при наблюдении за осадочными марками;

измерении углов по «способу направлений», когда при одной установке лимба делают отсчеты более чем в двух направлениях (см. рис. 1, б).

Косвенные измерения. Определение искомым значений величин на основании известной зависимости между ними и величинами, подвергнутыми прямым (прямым совместным) измерениям, называется косвенным измерением.

Общий случай косвенных измерений сводится к совместному измерению n неоднородных физических величин (x_1, \dots, x_n), которые связаны между собой и с m вспомогательными неизвестными величинами T_1, \dots, T_m (не измеряются) при помощи M уравнений

$$f_u(x_1, \dots, x_n; T_1, \dots, T_m) = 0, \quad u = 1, \dots, M.$$

В геодезии, как правило, приближенные значения $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n; \tilde{T}_1, \dots, \tilde{T}_m$ всех определяемых величин $x_1, \dots, x_n; T_1, \dots, T_m$ известны ($m \leq M$).

Вводят малые по размеру вспомогательные величины-поправки v_i, τ_j , определяемые уравнениями

$$x_i = \tilde{x}_i + v_i; \quad i = 1, \dots, n,$$

$$T_j = \tilde{T}_j + \tau_j; \quad j = 1, \dots, m.$$

Исходные уравнения линеаризуют — переходят к линейному уравнению

$$a_{u1}v_1 + \dots + a_{un}v_n + b_{u1}\tau_1 + \dots + b_{um}\tau_m + w_u = 0, \quad u = 1, \dots, M,$$

где

$$a_{ui} = \frac{\partial f_u}{\partial x_i}; \quad b_{uj} = \frac{\partial f_u}{\partial T_j};$$

$$w_u = f_u(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n; \tilde{T}_1, \dots, \tilde{T}_m); \\ i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m.$$

Вычисление геодезических сетей (триангуляции, полигонометрии, трилатерации, нивелировки) сводится к обработке результатов косвенных измерений. Непосредственно измеренными величинами являются расстояния, превышения, углы, а искомыми (косвенно измеренными) — координаты и высоты пунктов сети. По количеству измерения подразделяются на *необходимые*, которые позволяют получить значения всех искомых величин и притом только по одному разу, и *дополнительные* (избыточные), которые в совокупности с необходимыми измерениями позволяют получить более одного значения для определяемых величин.

Число ν дополнительных измерений называют *числом степеней свободы*. Это число имеет существенное значение для характеристики принятого способа измерений: дополнительные измерения дают материал для качественной апостериорной оценки результатов измерений, т. е. для оценки точности результатов.

При n -кратном прямом наблюдении одной и той же величины l число ν определяется следующими формулами:

$$\nu = n - 1, \text{ если } l \text{ неизвестно;}$$

$$\nu = n, \text{ если } l \text{ известно.}$$

Для общего случая косвенных измерений (с. 11) число дополнительных измерений будет

$$\nu = N + M - n - m, \quad (12)$$

где n — число измеренных величин;

m — число вспомогательных неизвестных величин;

M — число уравнений, связывающих измеренные и неизвестные величины;

N — число выполненных измерений.

2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

В строительстве геодезическими методами измеряются длины (горизонтальные расстояния, превышения, наклонные расстояния) и плоские углы (горизонтальные, вертикальные), а также выносятся на местность проектные направления и плоскости.



Рис. 3. Схема классификации средств измерений, применяемых в строительстве

В данном справочнике приведена классификация средств измерений, составленная в основном в соответствии с измеряемой величиной (длиной, углом), а также по физическому принципу получения измерительной информации и назначению (рис. 3). Классифика-

ция по измеряемой величине не претендует на строгость, поскольку почти все современные приборы могут измерять более одной величины, хотя и с неравноценной точностью.

Инструменты для измерения углов

Теодолиты. На разных стадиях строительства в зависимости от требуемой точности измерений (отложений) углов используются эккеры, наклономеры, буссоли, буссольные теодолиты [2,32] и наиболее часто теодолиты.

Теодолит — это оптико-механический инструмент для измерения углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Основными частями его являются зрительная труба, горизонтальный и вертикальный угломерные круги (лимбы), устройство для снятия по ним отсчетов, осевая система, приспособления для рабочей установки и наведения инструмента на визируемый предмет.

Теодолиты подразделяются по точности проводимых измерений, назначению, материалам изготовления кругов, устройству основных осей, способу снятия отсчетов и другим признакам.

Характеристика наиболее распространенных в отечественной практике теодолитов приведена в табл. 1. Описание устройства теодолитов и работы с ними даны в [36 и 81].

В последнее время в строительную практику начинают вводить лазерные теодолиты (с. 55) и теодолиты с кодированными лимбами [32].

Инструменты и приборы для измерения расстояний

Мерные ленты, рулетки и проволоки. Для непосредственного измерения расстояний служат мерные ленты, рулетки и проволоки — это линейные рабочие меры.

Типы и основные характеристики мерных лент, изготавливаемых согласно ГОСТ 10815—64, представлены в табл. 2.

Ленты типа ЛЗ делятся на метры, полуметры и дециметры, отмечаемые соответственно металлическими пластинами, шайбами и круглыми отверстиями. На концах мерного полотна сделаны входные отверстия для шпилек и нанесены отметки номинальной длины ленты. Полотно мерных лент типа ЛЗШ разделено только на первом и последнем дециметре на сантиметровые и миллиметровые деления. Точность измерения расстояний мерными лентами характеризуется относительной погрешностью 1 : 1000—1 : 3000 в зависимости от условий и методики измерений.

Измерительные рулетки изготавливают металлическими и полотняными. Последние в строительной практике применяются мало. Характеристика металлических рулеток, выпускаемых нашей промышленностью согласно ГОСТ 7502—69, приведена в табл. 3. Относительная погрешность измерений металлическими рулетками колеблется от 1 : 1000 до 1 : 15 000 в зависимости от класса рулетки, условий и методики измерения.

Мерные проволоки изготавливаются длиной 24 и 48 м; наиболее распространены 24-метровые проволоки. На концах проволок

Таблица I

Тип прибора	Страна-изготовитель				Зрительная труба			Угломерные круги			Отсчетное приспособление				Цена деления уровня, с				Дополнительные сведения
	Диаметр объектива, мм	Увеличение	Полое зрения	Наименьшее расстояние визирования, м	Диаметр, мм	Деления	Цена деления	Погрешность отсчета	Тип	на алидаде горизонтального круга	при вертикальном круге	на зрительной трубе	накладного	Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла	Масса инструмента, кг				

Теодолиты точные

T2*	СССР	35	25X	1°30'	1,5	90	65	20'	20'	1"	1"	0,1"	0,1"	Оптический микрометр	15	20	10	2	5,2	—
T5 T5K*	»	38	27X	1°30'	2	95	70	1°	1°	1'	1'	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	25	—	5	3,6	Т5К — теодолит Т5 с компенсатором. Пределы компенсации ±3', погрешность компенсации ±3"
	»	38	27X	1°30'	2	95	70	1°	1°	1'	1'	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	—	—	5	3,6	
T5-1	»	40	26X	1°30'	1,2	85	75	20'	20'	1"	1"	0,1"	0,1"	Оптический микрометр	20	25	—	2—3	5,2	—
TТ-4	»	34	25X	1°25'	2	70	55	20'	20'	10"	10"	1"	1"	То же	40	30	—	6—8	3,9	—

ОТШ	»	38	27X	1°25'	2	95	70	1°	1'	1'	1°	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	—	—	—	7	3,2	Имеется ком- пенсатор с преде- лами компенса- ции ±2' и погреш- ностью компенса- ции ±2—3"
<i>Theo-010A</i>	ГДР	40	30X	1°38'	1,5	86	86	20'	1"	1"	20'	0,1"	0,1"	Оптический микроскоп	20	—	—	—	1	4,5	Имеется ком- пенсатор с преде- лами компенсации ±4' и погрешно- стью компенсации ±0,5"
<i>Theo-020A</i>	»	36	25X	1°38'	1,5	86	86	1°	1'	1'	1°	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	—	—	—	3	4,2	Имеется ком- пенсатор с преде- лами компенсации ±4' и погрешно- стью компенсации ±0,5"
ТЕ-В1		45	30X	1°20'	2	93	60	20'	1"	1"	20'	0,1"	0,1"	Оптический микроскоп	20	20	—	—	1—2	5,5	
ТЕ-В3	ВНР	45	30X	1°20'	2	93	60	20'	1"	1"	20'	0,1"	0,1"	Оптический микроскоп	20	—	—	—	1—2	5,5	
ТЕ-Д1	»	40	25X	1°30'	2	84	76	1°	1'	1'	1°	6"	6"	То же	30	30	—	—	5	4,8	У теодолитов ТЕ-В3, ТЕ-Д3 и ТЕ-Д4 имеются компенсаторы с пределами ком- пенсации ±6' и погрешностью компенсации ±1"
ТЕ-Д3	»	40	25X	1°30'	2	84	76	1°	1'	1'	1°	6"	6"	»	30	—	—	—	5	4,8	
ТЕ-Д2	»	40	25X	1°30'	2	84	76	1°	1'	1'	1°	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	30	—	—	6	4,8	
ТЕ-Д4	»	40	25X	1°30'	2	84	76	1°	1'	1'	1°	6"	6"	Шкаловой микроскоп	30	—	—	—	6	4,8	

Тип прибора	Страна-изготовитель			Зрительная труба			Угломерные круги			Отсчетное приспособление				Цена деления уровня, с			Средняя квадратическая погрешность горизонтального угла	Масса инструмента, кг	Дополнительные сведения
	Диаметр объектива, мм	Увеличение	Поле зрения	Наименьшее расстояние визирования, м	Диаметр, мм	Горизонтального	Вертикального	Цена деления	Горизонтального	Вертикального	Погрешность отсчета	Тип	на алидаде горизонтального круга	при вертикальном круге	на зрительной трубе	накладного			

Теодолиты технические

Т15, Т15М* СССР	35	25X	1°30'	1,5	80	70	1°	1°	1°	12"	12"	Шкаловой микроскоп	60	45	30	—	15	3,5	Т15М и Т30М — теодолиты Т15 и Т30 в маркировке с дерском исполнением
	25	20X	2°	1	72	72	10'	10'	—	1'	1'	Штриховой микроскоп	60	—	30	—	30	2,2	
ОМТ-30 *	25	18X	2°	1	80	80	1°	1°	1°	30"	30"	Шкаловой микроскоп	120	—	—	—	30	3,2	Имеется ком-пенсатор с предельной компенсацией ±2' и погрешностью компенсации ±0,5"

Таблица 2

Наименование лент	Тип	Длина шкалы, м	Цена деления, мм		Допустимые отклонения от действительной длины, мм, не более				Ширина полотна, мм	Диаметр ленты, мм	Толщина ленты, мм	Материал
			на первом и последнем делении	на остальных частях ленты	по всей шкале	по отдельным делениям и метровым делениям	по отдельным сантиметрам	по отдельным миллиметрам				
Землемерная	ЛЗ-20	20	—	—	±2	±0,5	—	—	10—15	200	25	Стальная холоднокатаная лента ГОСТ 2614—65 или нержавеющей стальная лента с пределом прочности 1570—1765 МН/м²
	ЛЗ-24	24	—	100	±2	±0,5	—	—	10—15	200	25	
	ЛЗ-50	50	—	—	±3	±0,5	—	—	10—15	200	25	
Штриховая	ЛЗШ-20	20	—	—	±1	±0,3	±0,2	±0,1	10—15	200	25	Стальная холоднокатаная лента ГОСТ 2614—65 или нержавеющей стальная лента с пределом прочности 1570—1765 МН/м²
	ЛЗШ-24	24	1	—	±2	±0,3	±0,2	±0,1	10—15	200	25	
	ЛЗШ-50	50	—	—	±3	±0,3	±0,2	±0,1	10—15	200	25	

Примечание. Допустимые отклонения действительной длины шкал лент от номинальных даны для натяжения 98—100Н и температуры +20° С.

крепятся шкалы длиной 8 или 10 см с миллиметровыми делениями. Материал проволоки — сталь или инвар. Диаметр проволоки 1,65 мм. Относительная погрешность измерений стальными проволоками колеблется от 1 : 10 000 до 1 : 25 000, а инварными проволоками — от 1 : 30 000 до 1 : 1 000 000 в зависимости от числа применяемых проволок, условий и методики наблюдений. Проволоки используются в комплекте с другими инструментами и приспособлениями, обеспечивающими подвеску, натяжение и надлежащую их установку относительно створа измеряемой линии и концов 24- или 48-метрового интервала. Комплект проволок, инструментов и приспособлений именуется подвесным мерным прибором. В отечественной практике используются комплекты БП-1, БП-2 и БП-3. Описание мерных лент, проволок и рулеток дано в [1 и 80].

Комплект инструментов для короткобазисной полигонометрии. Такой комплект [74] включает точный оптический теодолит, базисный жезл, два лотаппарата, пять штативов с трегерами и угломерными марками и рулетку. Базисный жезл представляет собой заключенный в металлическую трубу инварный стержень (ленту, проволоку) длиной 2 или 3 м с визирными марками, цилиндрическим уровнем и визиром.

Комплект предназначен для измерения расстояний до 500 м параллактическим методом с относительной погрешностью от 1 : 5000 до 1 : 25 000 в зависимости от типа параллактического звена, его геометрии, точности измерения параллактического угла, методики и условий измерений.

Длиномер АД1М. Прибор служит для измерения расстояний от 1 до 500 м с относительной погрешностью 1 : 5000—1 : 20 000. Сущность измерения дальномером заключается в определении длины линии по числу оборотов мерного диска, прокатываемого по натянутой между концами линии проволоке, положение которой относительно центров пунктов фиксируется с помощью закрепляемых на ней шкал.

В комплект дальномера входят основной прибор, бабина с проволокой, две стойки со стремением, головка с блоком, две шкалы длиной по 20 см с делениями через 5 мм, гиля массой 15 кг, динамометр. Основной прибор состоит из заключенного в металлический корпус мерного эталонированного диска со счетным механизмом и тормозного устройства.

Оптические дальномеры и дальномерные насадки — это инструменты для косвенного определения расстояния из решения прямоугольного или равнобедренного треугольника по двум его элементам: острому углу и противолежащей стороне (базису). Измеряется один из элементов треугольника, второй остается постоянным (см. рис. 2, а).

Оптические дальномеры подразделяются по виду измеряемого элемента треугольника, расположению базиса, принципу работы, конструкции и характеру получаемых результатов. По первому признаку различают дальномеры с постоянным углом и дальномеры с постоянным базисом, по второму — дальномеры с базисом (рейкой) у определяемой точки и дальномеры с базисом (базой) в инструменте, по третьему — дальномеры нитяные, раздельного наведения и двойного изображения, по четвертому — собственно дальномеры (самостоятельные конструкции) и дальномерные насадки (на теодолит) и по пятому — просто дальномеры и авторедукционные дальномеры, дающие соответственно длину наклонной линии и вели-

Таблица 3

Наименование рулетки	Тип	Класс точности	Длина шкалы, м	Цена деления, мм		Допустимые отклонения от действительной длины, мм				Полотно ленты		Диаметр рулетки, мм	Максимальный размер, мм	Толщина рулетки, мм
				на первом десятиметре	на остальной части шкалы	по общей длине шкалы	по отдельным метровым делениям	по отдельным сантиметровым делениям	по отдельным миллиметровым делениям	Ширина, см	Толщина, мм			
В закрытом корпусе	РЗ-5	2, 3	5	1	1; 10	1; 2	0,3; 0,4	0,2; 0,3	0,1; 0,2	10—12	0,16—0,22	65	65	18
	РЗ-10	1, 2, 3	10	1	1; 10	0,5; 1; 2,5	0,2; 0,3; 0,4	0,1; 0,2; 0,3	0,05; 0,1; 0,2	10—12	0,16—0,22	75	75	20
	РЗ-20	1, 2, 3	20	1	1; 10	1; 2; 4	0,2; 0,3; 0,4	0,1; 0,2; 0,3	0,05; 0,1; 0,2	10—12	0,16—0,22	100	100	20
	РЗ-30	2, 3	30	1	1; 10	3; 5	0,3; 0,4	0,2; 0,3	0,1; 0,2	10—12	0,16—0,22	120	120	20
	РЗ-50	2, 3	50	1	1; 10	5; 7	0,3; 0,4	0,2; 0,3	0,1; 0,2	10—12	0,16—0,22	140	140	20
На крепящихся	РК-50	1, 2, 3	50	1	1; 10	2; 5; 7	0,2; 0,3; 0,4	0,1; 0,2; 0,3	0,05; 0,1; 0,2	10—12	0,2—0,26	175	300	25

»	РК-75	2, 3	75	1	1; 10	7,5; 10,5	0,3; 0,4	0,2; 0,3	0,1; 0,2	10—12	0,2— 0,26	Сталь ЭП-197 по ГОСТ 2614—65	210	330	25
На вылке	РВ-20	1, 2, 3	20	1	1; 10	1; 2; 4	0,2; 0,3; 0,4	0,1; 0,2; 0,3	0,05; 0,1; 0,2	10—12	0,2— 0,26	Класс 1 — Ni-36; классы 2, 3 — сталь ЭП-197	—	260	25
	РВ-30	2, 3	30	1	1; 10	3; 5	0,3; 0,4	0,2; 0,3	0,1; 0,2	10—12	0,2— 0,26	Сталь ЭП-197 по ГОСТ 2614—65	—	280	25
С грузом	РЛ-10	3	10	1	1	2; 5	0,4	0,3	0,2	10—12	0,2— 0,26	То же	—	225	25
	РЛ-20	3	20	1	1	4	0,4	0,3	0,2	10—12	0,2— 0,26	»	—	260	25
	РЛ-30	3	30	1	1	5	0,4	0,3	0,2	10—12	0,2— 0,26	»	—	280	25
	РЛ-50	3	50	1	1	7	0,4	0,3	0,2	10—12	0,2— 0,26	»	—	300	25

Примечание. Допустимые отклонения действительной длины шкалы даны для натяжения 100 и 50Н соответственно для рулеток длиной > 10 и < 10 м.

чину ее горизонтального проложения. Последние наиболее распространены в современных тахеометрах-автоматах.

В табл. 4 даны технические характеристики наиболее распространенных в нашей стране дальномеров. В табл. 5 приведена техническая характеристика дальномерных насадок. За исключением стереоскопического дальномера ТДС все приведенные инструменты являются дальномерами двойного изображения. В нашей стране их параметры регламентирует ГОСТ 11356—65. Описание перечисленных и других типов дальномеров и методика работы с ними даны в [29, 28, 32—74].

Светодальномеры и светодальномерные насадки — это электрооптические приборы для определения расстояний по известной скорости и измеренному времени распространения модулированных световых колебаний. Все геодезические светодальномеры — приборы фазового типа. В них время распространения светового сигнала вдоль измеряемой линии определяется косвенно, через разность фаз отправленных и принятых световых колебаний (см. рис. 2, б). Формула для вычисления расстояний имеет вид:

$$D = \frac{\lambda}{2} N + \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta\varphi}{2\pi},$$

где $\lambda/2$ — длина полуволны модуляции света (линейная мера); N и $\Delta\varphi/2\pi$ — число целых полуволн и дробная часть полуволны (фазового цикла), укладываемых в измеряемом расстоянии.

В состав любого светодальномера входят: источник и приемник света, приемная и передающая оптические системы, модулятор и демодулятор света, генератор модулирующей частоты, частотомер или фазоизмерительное устройство, отражатель света, блок и источник питания. В состав новейших светодальномеров введены пересчетные и регистрирующие устройства.

Существующие светодальномеры подразделяются [8] по дальности действия, точности, скорости получения и виду измерительной информации.

По дальности действия различают светодальномеры большие (до 30—50 км), средние (до 10—15 км) и малые (до 2—3 км), а по точности — высокоточные и точные. Погрешность светодальномерных измерений представляется обычно в виде

$$m = \pm (a + bD),$$

где a и b — размерный и безразмерный коэффициенты;

D — длина измеряемой линии.

К высокоточным относятся все большие и группа малых светодальномеров. Большие светодальномеры при относительно большом коэффициенте a (10—15 мм) имеют малый коэффициент b (1×10^{-6} — $2 \cdot 10^{-6}$), а малые высокоточные светодальномеры при очень малом коэффициенте a (0,1—3 мм) характеризуются примерно таким же или несколько большим коэффициентом b ($2 \cdot 10^{-6}$ — $5 \cdot 10^{-6}$). Это позволяет считать их по точности получаемых измерений примерно равноценными. Все остальные дальномеры относятся к точным. С точки зрения скорости и вида получаемой информации различают дальномеры с показаниями в виде промежуточных отсчетов, требующих для получения длины линии дальнейшей обработки; даль-

Таблица 4

Тип оптического дально- мера	Страна-изготовитель	Зрительная труба				Диаметр круга, мм		Цена деления круга		Цена деления уровня		Рейка (база)		Пределы измерения		Средняя квадратическая погрешность измерения		Масса, кг	Дополнительные сведения
		Увеличение	Диаметр, мм	Поле зрения	Наименьшее расстояние визирования, м	горизонтального	вертикального	горизонтального	вертикального	горизонтального	вертикального	Размер, м	Положение	по углу наклона, град	по расстоянию, м	угла	расстояния		
ОТД	СССР	31X	—	1°20'	16	—	55	—	10'	45"	Горизонтальное, вертикальное (рейка)	2	±22°	35—400	1'	1:5000, 1:3000	4	3,5	Погрешность 1:3000—по вертикальной рейке
ДВ-20	»	14,5X	21	2°48'	2	88	84	1°	10'	45"	Горизонтальное (база)	0,6	±40	2—400	6'; 1'	1:200— 1:700	4,2	—	Погрешность измерения горизонтального угла —β'
ТЕЛЕТОП	ГДР	6X	20	7°20'	1,5	59	85	1°	1°	2'	То же	0,3	±(20—70)	2—600	6'	1:50— 1:500	3	—	Прибор устанавливается на штативе или держится в руках
ТДС	СССР	15X	32	2°10'	3	—	—	10'	10'	45"	»	0,25	от +45° до —90°	4—300	1'	1:50— 1:300	7	—	—

Тип оптических дальнометрических насадок	Страна-изготовитель	Насадка			Рейка				
		Световой диаметр, мм	Коэффициент дальности	Посадочный диаметр, мм	Установка	Расстояние между соседними штрихами, см		Длина, м	Цена деления уровня, мм
						по одной стороне	по другой стороне		
ДН-04	СССР	34	100	46	Горизонтально	1	2	1,5	5
ДНР-06	»	38	100	46	Вертикально	2	2	2,5	5
ДН-08	»	34	—	46	Горизонтально	55	101,8	1	10
ДН-10	»	28	200	38	Вертикально	1	5	1,7	10
ДИМЕСС-002	ГДР	—	100	—	Горизонтально	2	—	2,1	—
Ло такейль -004	»	—	200	—	Горизонтально и вертикально	Логарифмическая шкала	—	2,3	—

Таблица 5

Пределы измерений			Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний		Масса, кг				Дополнительные сведения
по углу наклона, град	по расстоянию, м		абсолютная на 100 м, см	относительная в диапазоне измеряемых расстояний	насадки	рейки	противовеса	комплекта	
	по одной стороне рейки	по другой стороне рейки							
±30	10—80	20—125	±4	1:2000—1:2500	0,15	2,7	0,2	19	Насадка выполнена на базе ДД-3. Поставляется к теодолитам Т2, Т5 и др.
±20	20—200	—	±6	1:1500—1:2000	0,17	5	0,2	11	Насадка авторедукционная, выполнена на базе ДАР100. Поставляется к теодолитам Т2, Т5 и др.
±30	50—180	180—700	±8	1:1000—1:1500	0,5	1,4	—	5	Насадка с постоянной базой, выполнена на базе ДНТ-2. Поставляется к теодолитам Т2, Т5 и др.
±30	20—100	100—200	±10	1:800—1:1200	0,1	2,5	0,1	6	Насадка выполнена на базе ДД5. Поставляется к теодолитам Т30 и др.
±45	2—172	—	±4	1:2000—1:4000	0,3	—	0,2	—	Насадка имеет оптический микрометр. Приспособлена к теодолитам <i>Theo-020</i> , <i>Dahlta-020</i> и др.
±30	До 400 с рейкой 2 м	До 600 с рейкой 3 м	±(4—7)	1:1000—1:2500	—	—	—	—	

номеры-автоматы, позволяющие снять с прибора готовую длину (в цифровом или зарегистрированном на ленту виде); дальномеры-полуавтоматы, занимающие промежуточное положение. Помимо указанного, светодальномеры можно подразделить по конструктивным признакам. В этом отношении различают светодальномеры с фиксированными частотами и плавным изменением частоты модуляции, светодальномеры с обычными источниками света и лазерными, ви-

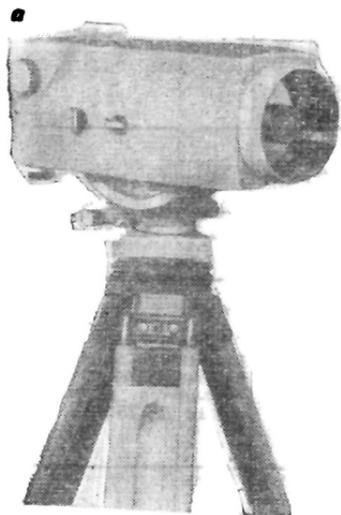
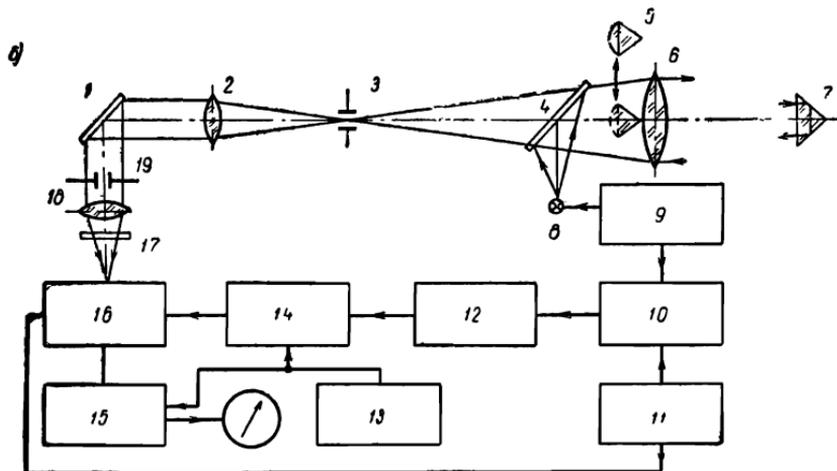


Рис. 4. Светодальномер КДГ-3 (СМ-3)

a — общий вид; *б* — блок-схема; 1 — зеркало; 2 и 18 — линзы; 3 и 19 — постоянная и переменная диафрагмы; 4 — полупрозрачное зеркало; 5 — призма начального отсчета; 6 — объектив приемо-передающей оптической системы; 7 — отражатель; 8 — источник света; 9 — генератор модулирующей частоты (30, 29,9 и 27 МГц); 10 — смеситель; 11 — гетеродин; 12 — фазовращатель; 13 — генератор звуковой частоты (1 кГц); 14 — манипулятор фазы; 15 — синхронный детектор с нуль-индикатором; 16 — фотоэлектронный умножитель; 17 — интерференционный фильтр



зуальные светодальномеры и дальномеры с фотоэлектрической индикацией света.

Насадки представляют собой светодальномеры, конструктивно приспособленные для совместной работы с теодолитом. При этом оптическая часть дальномера выполняется в виде насадки, устанавливаемой на зрительную трубу или стойки теодолита, а электрическая часть — в виде отдельного блока, подвешиваемого на штативе. Светодальномерные насадки выполняются на базе малых светодальномеров.

В табл. 6 даны технические характеристики наиболее распространенных в строительстве светодальномеров и насадок отечественного и зарубежного производства. Из невключенных в таблицу заслуживают внимания разработанные в последнее время дальномеры-автоматы НР-3800 (США), *Cubictape* (США), *Akkuranger* (Канада) и *Adist-1000* (Франция), близкие по своим параметрам к дальномеру ДМ-1000 и Дистомату ДИ-10. Краткое описание некоторых дальномеров дано ниже. Достаточно полное описание светодальномеров приведено в [8—10, 49, 68].

Светодальномер СМ-3 (КДГ-3). Точный неавтоматический дальномер с полупроводниковым источником и модулятором света (рис. 4, а). Приемником и демодулятором света является фотоэлектронный умножитель. Для измерений последовательно применяются три фиксированные частоты модуляции, близкие к 30 МГц. Измерения производятся на промежуточной частоте при помощи калиброванного фазовращателя и стрелочного нуля-индикатора.

Принцип действия прибора (рис. 4, б) заключается в том, что модулированный высокой частотой (~ 30 МГц) основного генератора свет полупроводникового источника оптической системой направляется на отражатель, установленный на другом конце измеряемой линии. Принятый с отражателя свет той же оптической системой направляется на фотоумножитель. Одновременно на фотоумножитель подается манипулированный по фазе звуковым генератором опорный сигнал промежуточной частоты (100 кГц) со смесителя и высокочастотный сигнал (~ 30 МГц) вспомогательного генератора (гетеродина).

В результате взаимодействия указанных сигналов на выходе фотоумножителя выделяется низкочастотный (1 кГц) сигнал звукового генератора, несущий информацию о величине запаздывания фазы сигнала, прошедшего длину измеряемой линии. Индикация фазового сдвига производится при помощи установленного на выходе синхронного детектора нуля-индикатора, стрелка которого доходит до нуля всякий раз, когда разность фаз отраженного и опорного сигналов оказывается равной 0 или 270° .

При измерениях на каждой частоте модуляции свет направляют сначала на отражатель, а затем (с помощью призмы) внутрь прибора. Действуя в обоих случаях ручкой фазовращателя, добиваются нулевых показаний нуля-индикатора. Разность взятых по шкале фазовращателя отсчетов дает величину дробной части $\Delta\varphi$ фазового цикла. Значения $\Delta\varphi$, полученные на трех частотах модуляции, позволяют вычислить длину измеряемой линии. Дальномер снабжен мозаичным зеркально-линзовым отражателем.

Светодальномер ЕОК-2000. Прибор (рис. 5) относится к точным малым полуавтоматическим дальномерам с полупроводниковым источником излучения. Принцип действия светодальноме-

Таблица 6

Тип прибора, страна, фирма и год разработки	Источник света	Модулятор света	Приемник света	Частота модуляций света, МГц	Диапазон измерений, км	Погрешность измерения расстояний и углов
<i>Светодальномеры</i>						
СТ-66, СССР, 1967	Лампа накаливания	Ячейка Керра	Глаз наблюдателя	32,5—35,5	0,075—2,5 — днем и 0,075—6 — ночью	$\pm(10-50)$ мм
ТД-2, СССР, 1964	То же	То же	То же	13,9—16,1	0,13—4 — днем и 0,13—10 — ночью	$\pm(10+2 \cdot 10^{-6} D)$ мм
КДГ-3, (СМ-3), СССР, 1968	Светодиод (Ga-As)	Светодиод (Ga-As)	Фотоумножитель	30; 29,9; 27	0,001—2	$\pm(10-15)$ мм
ЕОК 2000, ГДР, 1968	То же	То же	То же	29,971, 32,968, 30,271	0,001—1 (одна призма); 0,001—1,5 (три призмы); 0,001—2 (девять призм)	± 10 мм

Продолжение табл. 6

Продолжительность из-мерения, мин	Диапазон уг-лов наклона, град	Потребляемая мощность, Вт	Вид окончательных показаний прибора	Масса основных узлов и частей комплекта, кг	Масса комплекта*, кг		Дополнительные сведения
					без упаковок	в упаковок	
<i>Светоделные меры</i>							
15—20	±30	35	Промежуточные отсчеты по шкале генератора	Приемопередатчик 11 Отражатель 4,5 Аккумулятор 20 Штатив 5,1	45	60	Серия включает модели СТ-62М, СТ-64 и СТ-65 с близкими параметрами
15—20	±30	80	То же	Приемопередатчик 14,7 Преобразователь 4,7 Отражатель (шесть призм) 2,5 Источник питания 23—45 Штатив 5,1	55—77	75—97	Масса комплекта колеблется в зависимости от вида источника питания
10—15	±15	5	Промежуточные отсчеты по шкале фазовращателя	Приемопередатчик 10 Отражатель 9 Аккумулятор 5 Штатив 5,1	34	54	Выпускается серийно. Параметры даны по результатам государственных испытаний
2—3	±40	8—13 без прожектора и 20 с прожектором	Цифровой отсчет долей расстояния на отдельных частотах	Приемопередатчик с подставкой 12 Отражатель (девять призм) с кронштейном и подставкой 7,4 Аккумулятор 10 Штатив 5,1	40	60	Выпускается серийно. В комплекте указана масса штатива отечественного выпуска

Тип прибора, страна, фирма и год разработки	Источник света	Модулятор света	Приемник света	Частота модулирующей света, МГц	Диапазон измерений, км	Погрешность измерения расстояний и углов
МСД-1 СССР, 1968	Светодиод (Ga-As)	Светодиод (Ga-As)	Фотоумножитель	149, 852; 146, 854	0,001—0,3 (одна призма) 0,001—0,7 (три призмы)	$\pm(1+1 \cdot 10^{-5} D)$ мм
<i>Mekometer</i> Керр-МЭ-3000, Англия — Швеция, 1970—1971	Ксеноновая лампа-вспышка	Кристалл КДР в объемном резонаторе	То же	491,644; 491,595; 491,152; 486,728; 442,48	0,001—3	$\pm(0,1 \cdot 10^{-6} D + 2 \times 10^{-6} D)$ мм
<i>Tellurometer</i> МА-100, Англия — ЮАР, 1969	Светодиод (Ga-As)	Светодиод (Ga-As)	Фотодиод	75; 74,85; 73,5; 60	0,001—1 (три призмы) 0,001—2,5 (девять призм)	$\pm(2+2 \cdot 10^{-6} D)$ мм
ДМ-1000, Швеция, KERN, 1970	То же	То же	То же	14,985; 0,15	0,001—2	$\pm(4-10)$ мм

Продолжение табл. 5

Продолжительность измерения, мин	Диапазон углов наклона, град	Потребляемая мощность, Вт	Вид окончательных показаний прибора	Масса основных узлов и частей комплекта, кг	Масса комплекта*, кг		Дополнительные сведения
					без упаковки	в упаковке	
5	От 45 до 90	2,5	Отсчет долей расстояния на отдельных частотах по шкале оптической линии	Приемопередатчик с аккумулятором и подставкой 9,2 Отражатель с подставкой 1,4 5,1 Штатив	20	27	Выпускается мелкосерийно. Имеет искровысокоскоростное исполнение
—	—	16	Непосредственный цифровой отсчет расстояния по совмещаемым шкалам	Приемопередатчик	—	—	Готовится к выпуску по лицензии на Мехометр III Национальной физической лаборатории (Англия)
5—ручной режим, 1,5—автоматический	±30	6,5—средняя 14—максимальная	Цифровой отсчет долей расстояния на отдельных частотах или непосредственный отсчет всего расстояния	Приемопередатчик	45	—	Выпускается серийно. По принципу действия близок к радиальдемеру-теллуromетру MRA-4
0,3	±45	11	Непосредственный отсчет расстояния на электронном цифровом табло	Приемопередатчик Аккумулятор 2,5 Отражатель (три призма) 6,5 Штатив 6	30	48	Налаживается серийный выпуск

Тип прибора, страна, фирма и год разработки	Источник света	Модулятор света	Приемник света	Частота модулирующей света, МГц	Диапазон измерений, км	Погрешность измерения расстояний и углов
<i>Светодальномерные насадки</i>						
ДНК-02, СССР, 1968	Светодиод (Ga-As)	Светодиод (Ga-As)	Фотоумножитель	30; 29,7; 27	0,020—0,5	$\pm(20 \pm 2 \cdot 10^{-6} D)$ мм, $\pm 2''$
<i>Distomat</i> Швейцария — Франция, <i>Wild-Serrei</i> , 1967: насадка дальномер	То же ➤	То же ➤	Фотодиод ➤	13,487—14,985 13,487—14,985	0,001—2 0,001—2	± 10 мм, $\pm 1-5''$ ± 10 мм
MND2, Япония <i>Mitsubishi-Nippon</i> , 1970	Светодиод (Ga-Al-As)	Светодиод (Ga-Al-As)	➤	15; 0,15	0,001—1	± 10 мм, $5''$

Продолжительность измерения, мин	Диапазон углов наклона, град	Потребляемая мощность, Вт	Вид окончательных показаний прибора	Масса основных узлов и частей комплекта, кг	Масса комплекта*, кг		Дополнительные сведения	
					без упаковки	в упаковке		
Светодальномерные насадки								
5—10	—	3	Промежуточные отсчеты по шкале фазовращателя	Насадка Теодолит Т2 Электронный блок с тарей Отражатель Штатив	0,9 5,2 6,1 7,5 3,4 5,1	27	38	Выпущена опытная партия. Разработан на базе светодальномера КДГ-3
1—2	±40	15	Непосредственный цифровой отсчет расстояния на матовом стеклянном диске	Насадка Теодолит Т2 Измерительный блок с батареей Отражатель (девять призм) Штатив	3,1 8 14,7 8,3 7,5	50	—	Выпускается серийно в виде насадки, устанавливаемой на теодолиты Т1, Т2, Т16 или на самостоятельную подставку
1—2	±30	15	Непосредственный цифровой отсчет и запись расстояния	Насадка с триггером и триггером Измерительный блок Отражатель (девять призм) Штатив	6,3 14,7 8,3 7,5	45	—	Готовится к серийному выпуску. Устанавливается на трубу теодолита Т13 фирмы «Nippon»

33 * В комплект включены приборы и инструменты, необходимые для измерения одного расстояния.

ра ЕОК-2000 такой же, как и у светодальномера СМ-3 (КДГ-3). В отличие от СМ-3 отсчетное устройство фазовращателя светодальномера ЕОК-2000 механизировано так, что длина измеряемой линии получается простым объединением отсчетов по фазовращателю, взятых на различных частотах модуляции. Измерительными волнами при этом являются 10, 100 и 1000 м. Первая из них соответствует частоте модуляции 29,971 МГц; другие же две — ростолям второй и третьей

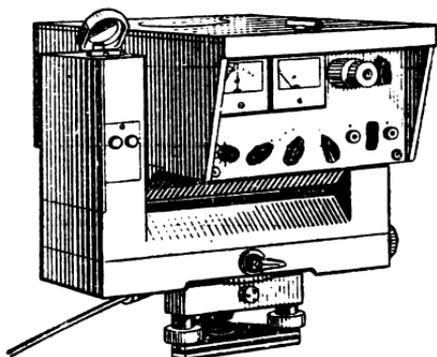


Рис. 5. Светодальномер ЕОК-2000

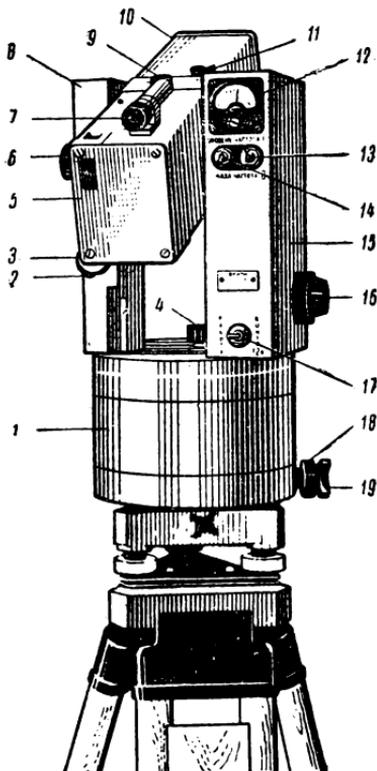


Рис. 6. Светодальномер МСД-1

1 — корпус; 2, 3 — винты вертикальной наводки; 4 — ручка включения питания; 5 — шкала оптической линии; 6 — ручка оптической линии; 7 — визир; 8 — левая стойка; 9 — ручка переменной диафрагмы; 10 — прямо-передающая труба; 11 — ручка перекидной шторки с зеркалом; 12 — стрелочный индикатор; 13 — тумблер «Частота»; 14 — тумблер «Уровень — фаза»; 15 — правая стойка; 16 — ручка фазовращателя; 17 — тумблер «Работа — контроль»; 18 и 19 — винты горизонтальной наводки

частоты (32,968 и 30,271 МГц) с первой. Помимо указанного в схему ЕОК-2000 введен добавочный видимый источник света для удобства наведения на отражатель. Фазовые измерения производятся на промежуточной частоте 7,5 кГц. Прибор комплектуется призмными отражателями из одной, трех или девяти трипель-призм.

Светодальномер МСД-1 — высокоточный, малый, неавтоматический дальномер (рис. 6) в искровзрывобезопасном исполнении, что позволяет использовать его в шахтах. В принципиальном отношении он близок к светодальномеру СМ-3 (КДГ-3) (рис. 7). В отличие от СМ-3 в светодальномере МСД-1 применены две фиксированные частоты модуляции 149,8 и 146,8 МГц, соответствующие двум измерительным полуволнам 1 и 1,02 м. Разность фаз между

опорным и принятым сигналами с отражателя измеряется на высокой частоте, в связи с чем электрическая схема упрощена. Измерения проводятся при помощи оптической переменной линии задержки, высокочастотный фазовращатель выполняет лишь установочную функцию. При измерениях на каждой частоте модуляции свет принимают сначала с отражателя и, действуя фазовращателем, устанавливая стрелку нуль-индикатора в нулевое положение. После чего свет принимают с оптической линии и, перемещая ее подвижную призму, вновь добиваются нулевых показаний стрелочного прибора. Отчет по шкале оптической линии дает величину дробной части $\Delta\varphi$

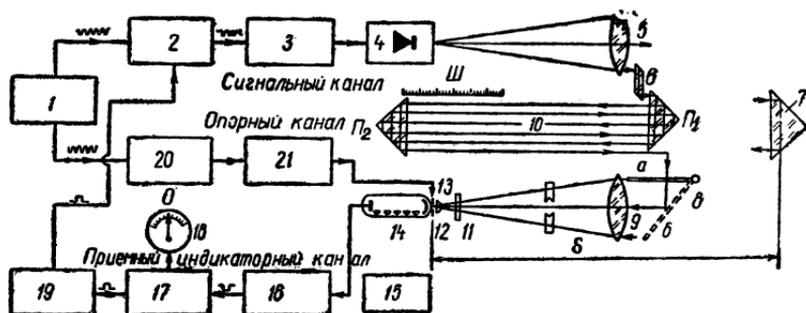


Рис. 7. Блок-схема светодальномера МСД-1

1 — генератор модулирующей частоты; 2 — манипулятор фазы; 3 — усилитель высокой частоты; 4 — полупроводниковый источник излучения ($\lambda = 820 \text{ нм}$); 5 — объектив передающей трубы; 6 — призма; 7 — отражатель; 8 — шторка с зеркалом; 9 — объектив приемной трубы; 10 — оптическая линия задержки (Π_1 и Π_2 — неподвижная и подвижная призмы, Ш — шкала); 11 — светофильтр; 12 — цилиндрическая линза; 13 — металлическая пластина с отверстием (дифракта-электрод); 14 — фотоэлектронный умножитель; 15 — блок и источник питания; 16 — усилитель низкой частоты; 17 — синхронный детектор; 18 — нуль-индикатор; 19 — импульсный генератор (80 Гц); 20 — фазовращатель; 21 — усилитель высокой частоты

фазового цикла в линейной мере. Конструктивно прибор выполнен в виде единого устройства, напоминающего теодолит. Блок и источник питания размещены в основании дальномера. Прибор комплектуется одно- и двухпризменным отражателями.

Дистомат DI-10. Конструкция прибора позволяет использовать его как дальномер на своей подставке (рис. 8, а) и в виде насадки на теодолит. По своим данным DI-10 относится к точным малым автоматическим дальномерам с полупроводниковым источником излучения (рис. 8, в). Частота модуляции в нем автоматически непрерывно изменяется от 13,487 до 14,985 МГц, что необходимо для однозначного измерения расстояний до 1000 м. Автоматически работающий фазометр, состоящий из фазовращателя, фазового детектора и мотора постоянного тока, измеряет начальный фазовый угол и определяет изменение фазы при увеличении частоты, а также одновременно считает число прошедших полных фазовых циклов. Если разность фаз опорного и отраженного сигналов не равна нулю, фазовый детектор вырабатывает постоянный ток для

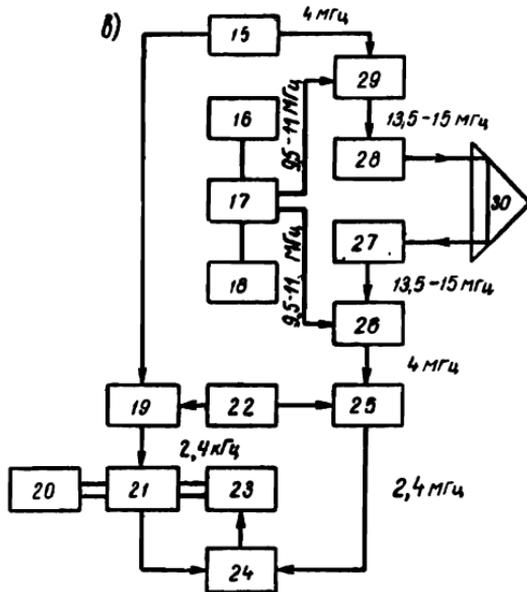
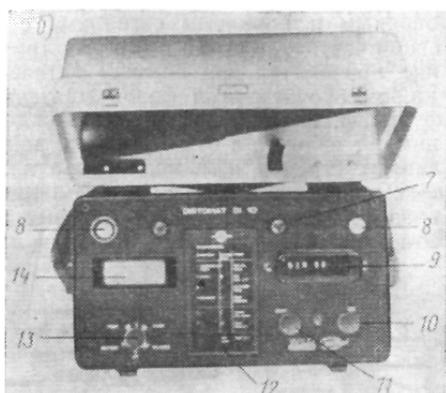
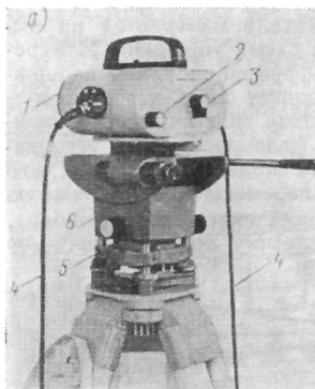


Рис. 8. Дистомат DI-10 (дальномер)

а — приемопередатчик; б — измерительный блок с батареей; в — блок-схема; 1 — насадка; 2 — рукоятка переменной диафрагмы; 3 — рукоятка «Измерение (М)-калибровка (С)»; 4 — питающий кабель; 5 — трегер; 6 — подставка; 7 — выключатель блока; 8 — разъем для питающих кабелей; 9 — отсчетное окно; 10 — кнопка «Калибровка»; 11 — кнопка «Старт»; 12 — крышка батареи с указателем операций по измерению; 13 — основной переключатель; 14 — контрольный прибор; 15 — кварцевый генератор на 4 МГц; 16 — кварцевый генератор на 9,5 МГц; 17 — генератор переменной модулирующей частоты на 9,5—11 МГц; 18 — кварцевый генератор на 11 МГц; 19 — смеситель; 20 — отсчетное цифровое устройство; 21 — фазовращатель; 22 — кварцевый генератор

на 4,0024 МГц; 23 — мотор; 24 — фазовый детектор; 25, 26 — смесители; 27 — приемник (приемные фотодиод и оптическая система), 28 — передатчик (излучатель и передающая оптическая система); 29 — смеситель; 30 — отражатель

мотора, который вращает ротор фазовращателя до тех пор, пока фазовращатель не изменит фазу опорного сигнала до величины фазового сдвига, соответствующего длине измеряемой линии. На оси фазовращателя установлен стеклянный лимб точных отсчетов, оцифрованный от 0,00 до 9,98 (метры, дециметры и сантиметры) через 2 см. Один полный оборот ротора фазовращателя соответствует 10 м. С помощью редуктора ротор приводит во вращение вторую ось. На ней установлен лимб грубых отсчетов, оцифрованный в десятках метров от 00 до 99. Один оборот этого лимба соответствует 1000 м, а одно деление — 10 м. Отсчеты по обоим лимбам в виде пятизначного числа проектируются на стеклянный экран, давая полную длину измеряемой линии в цифровом виде. Фазовые измерения ведут на низкой частоте 2,4 кГц. Прибор укомплектован одно-, трех- и пяти-призменным отражателем.

Инструменты и приборы для измерения превышений

В строительной практике превышения (разности высот) между двумя точками определяются методами геометрического и тригонометрического нивелирования в зависимости от условий и требуемой точности измерений. Для тригонометрического нивелирования используются все современные теодолиты, а также авторедукционные и электронные тахеометры. Для геометрического нивелирования применяются простейшие ватерпасы, гидростатические нивелиры, а чаще всего оптико-механические нивелиры.

Ватерпасы — простейшие инструменты для геометрического нивелирования. Они разделяются на маятниковые и реечные [32].

В инструментах с маятником визирная ось определяется направлением, перпендикулярным к жесткому отвесу, причем она приводится в горизонтальное положение автоматически. Маятниковый ватерпас состоит из снабженного железным башмаком стержня длиной около 1,5 м, на котором свободно подвешена рамка с диоптрами. В качестве маятникового ватерпаса может быть использована также прямоугольная призма и простой шнуровой отвес.

Ватерпас реечного типа (рейка-высотомер) состоит из горизонтальной рейки длиной 3—4 м с цилиндрическим уровнем и измерительной вертикальной рейкой, устанавливаемой отвесно при помощи прикрепленного к ней круглого уровня.

Нивелиры — оптико-механические инструменты для определения превышения между двумя точками горизонтальным лучом визирования. Основными частями нивелира являются зрительная труба, цилиндрический уровень или устройство для автоматической установки линии визирования по горизонту, ось вращения и подставка. Нивелиры подразделяются по точности выполняемых измерений, способу установки визирной линии и назначению.

В табл. 7 даны технические характеристики наиболее распространенных в СССР точных и технических нивелиров. Характеристика реек РНЗ, РН4 и РНТ для точного и технического нивелирования дается в ГОСТ 11158—65. Описание нивелиров, нивелирных реек и приемы работы с ними даны в [81].

Тип инструмента	Страна-изготовитель		Зрительная труба			Цена деления уровня		Устройство для автоматической установки линии визирования		Диаметр горизонтально-го круга, мм	Порешность отсчитывания, мин	Средняя квадратическая порешность на 1 км, мм	Масса инструмента, кг	Дополнительные сведения
			Диаметр объектива, мм	Длина, мм	Увеличение	Наименьшее расстояние визирования, м	Питание дрещеского, с	Круглого, мин	Пределы работы, мин					
НВ-1 НЗ*	СССР	40	220	30X	3	20	10	—	—	—	—	3	1,8	НВ-1 — старое наименование. Имеется элевационный винт
		40	220	30X	2	15	5	—	—	—	—	3	2	
НС4*	»	35	220	30X	2	—	8	$\pm(15-20)$	$\pm(2-3)$	—	—	4-5	2,5	—
Ni-030	ГДР	35	195	25X	1,8	30	8	—	—	75	1	2-3	1,6-1,9	Выпускается с лимбом и без него. Есть элевационный винт
		30	195	20X	1,5	—	8	± 10	$\pm 0,3$	50	1	3	1,7 1,9	
Ni-B1 Ni-B2	ВНР	40	160	28X	1,2	20	6	—	—	72	1	3	2,3-2,6	Ni-B2 — вариант без лимба
		40	160	28X	1,2	20	6	—	—	—	—	3	2,3-2,6	
Si-B3 Ni-B4	»	45	272	(28 ÷ 32)X	3	—	8	± 15	$\pm 0,4$	82	1	2	2-2,3	Ni-B5 и Ni-B6 аналогичные нивелиры с изображением уровня в поле зрения зрительной трубы
		45	272	(28 ÷ 32)X	3	—	8	± 15	$\pm 0,4$	—	—	2	2-2,3	

Нивелиры точные

Ni-D1 Ni-D2	» »	24 24	— —	16X 16X	1,5 1,5	— —	10 10	± 10 ± 10	$\pm 0,5$ $\pm 0,5$	48 —	1 —	3—5 3—5	0,9—1 0,9—1	Ni-D2 — вариант без лимба
Нивелиры технические														
НТ*	СССР	25	140	23X	1,1	30	10	—	—	120	—	10—12	1,2	С элевационным винтом
НЛ-3	»	40	190	31X	2	30	10	$\pm 3'$ (наклон трубы)	—	—	—	20—30	2,2	Нивелир с наклон- ным лучом визири- вания. Снабжен вы- сотным штрихом
НТС*	СССР	25	160	20X	0,9	—	20	± 30	± 3	—	—	10—12	1	ТН3 — старое наи- менованье
НТСК*	»	29	160	20X	0,8	—	20	± 30	± 3	72	6	10—12	0,8	ТН6 — старое наи- менованье
Ni-060	ГДР	25	138	19X	1,5	60	8	—	—	—	—	5—10	0,9	С элевационным винтом
Ni-050	»	25	—	(16—18)X	0,9	—	25	± 30	± 1	74	6	5—10	1	Выпускается также без лимба
Ni-D3 Ni-D4	ВНР »	24 24	— —	16X 16X	1,5 1,5	— —	10 10	± 15 ± 15	± 1 ± 1	48 —	1 —	5—10 5—10	1,2 1,2	NiD4 — вариант без лимба
Ni-E1 Ni-E2	» »	16 16	— —	6X 6X	0,8 0,8	— —	30 30	± 30 ± 30	± 1 ± 1	57 —	6 —	10—15 10—15	0,5 0,5	Ni-E2 — вариант без лимба

39 * Нивелиры выпускаются отечественной промышленностью в соответствии с ГОСТ 10528—69.

Универсальные инструменты и приборы

В справочнике универсальными называют инструменты и приборы, позволяющие измерять две и более физических величин с равноценной точностью. К числу таких относятся широко известные инструменты для мензульной и тахеометрической съемки — кипрегели и тахеометры (оптические), а также новейшие приборы — электронные тахеометры. К универсальным отнесены и приборы для наземной фотограмметрической съемки, которые имеют возможность дать значительно больший объем измерительной информации.

Тахеометры — оптико-механические инструменты с угломерным, дальномерным и высотомерным устройствами. Тахеометры подразделяются на круговые (теодолиты-тахеометры) и авторедукционные. К первым относятся все теодолиты, имеющие вертикальный круг и дальномерные нити для измерения углов наклона и наклонного расстояния, по которым затем вычисляются горизонтальное проложение линии и превышение. Ко вторым относятся тахеометры, позволяющие непосредственно определять горизонтальное проложение или превышение (или то и другое одновременно). Их соответственно называют полуавтоматами и автоматами.

Современные тахеометры являются авторедукционными. По точности тахеометры делятся на малоточные (с базой внутри инструмента), технической и повышенной точности, причем наиболее распространены тахеометры технической точности. Они, как правило, используются с вертикальной рейкой, тогда как тахеометры повышенной точности применяются с горизонтальной рейкой. Типы и основные параметры авторедукционных тахеометров отечественного производства определены ГОСТ 10812—64.

Кипрегели — углоначертательные инструменты с дальномерно-высотомерным устройством, позволяющие в комплекте с мензурой вести графическую съемку. Современные кипрегели авторедукционные. Так же как и тахеометры, они подразделяются на автоматы и полуавтоматы. Типы и основные параметры кипрегелей и мензур отечественного производства определены ГОСТ 10812—64 и 10814—64.

В табл. 8 приведены основные технические характеристики применяемых в нашей стране авторедукционных тахеометров и кипрегелей отечественного и зарубежного производства. Тахеометры ТП и Редта-002 — повышенной точности: первый из них автомат, второй полуавтомат, в нем превышения определяются полуавтоматически с использованием отсчета по тангенциальной шкале. Дальта-020, Дальта-010А, ТА-D1 и ТА-D4 — диаграммные тахеометры-автоматы технической точности; БРТ и ТВ — внутрибазные тахеометры-полуавтоматы пониженной (при работе без рейки) и технической точности (с рейкой). КБ-1, КА-2 и МА-4 — диаграммные кипрегели-автоматы, МА-1 — кипрегель-полуавтомат с тангенциальной шкалой.

Подробное описание тахеометров и кипрегелей дано в [1, 3, 4, 17, 18—20].

Электронные тахеометры — это класс новейших высокоточных приборов, находящихся в стадии разработки. Они отличаются от оптико-механических тем, что устройства для получения

Таблица 8

Тип инстру- мента	Зрительная труба			Угломерные круги				Отсчетное приспособление				
	Диаметр объектива, мм	Увеличение	Наименьшее рассто- яние визирования, м	Диаметр, мм		Цена деления		Цена деле- ния, мин		Погрешность отсчета		Тип
				горизонталь- ного круга	вертикально- го круга	горизонталь- ного круга, град.	вертикально- го круга	горизонталь- ного круга	вертикально- го круга			
Тахеометры												
Дальта-020	40	25X	3	94	74	1	1°	1	1	6	6	Шкаловой микроскоп
Дальта-010А	40	25X	1,5	86	86	1	1°	1	1	6	6	То же
ТА-Д1 и ТА-Д4	40	24X	3	77	68	1	1°	1	1	6	6	»
ТП	—	27X	2	—	—	1	1°	1	1	6	6	»
Редта-002	42	25X	2,5	114	74	1	1°	1	1	6	12	»
ТВ	—	15X	2,5	—	—	—	—	—	—	30	30	»
ЕРТ-006	19	15X	2	90	90	1	1°	5	5	30	30	»
Кипрегели												
КБ-1	40	20X	1,5	—	110	—	10'	—	—	—	1'	Штриховой микроскоп
КА-2	45	30X	5	—	110	—	10'	—	—	—	1'	То же
МА-4	40	21X	3	—	59	—	10'	—	10	—	1'	Шкаловой микроскоп
МА-1	40	25X	1,8	—	56	—	10'	—	10	—	1'	То же

Тип инструмента	Страна-изготовитель	Цена деления уровня			Пределы измерений, м	Средняя квадратическая погрешность измерения			Масса инструмента, кг	
		горизонтального, с	при вертикальном калыном круге, с	на зрительной трубе, с		крупного, мин	направления, с	длины линии 100 м		превышения для точек, удаленной на 100 м, см
Тахеометры										
Дальта-020	ГДР	30	30	30	8	3—300	3—4	1:250—1:1000	0,05—0,2	4,4
Дальта-010А	»	20	Имеется указатель места нуля		8	1,5—300	3	1:250—1:1000	0,03—0,1	4,7
ТА-Д1 и ТА-Д4	ВНР	30	30"	↓	6	3—300	5	1:250—1:1000	0,05—0,15	5,3
ТП	СССР	30	Имеется указатель места нуля		8	2—180	6	1:3000—1:5000	0,03—0,05	6
Редта-002	ГДР	30	30	30	8	2—172	3—5	1:3000—1:5000	0,03—0,05	6,5
ТВ	СССР	30	30	—	10	2—60 без рейки, 60—180 с рейкой	20—30	1:300—1:1000	—	6
БРТ-006	ГДР	—	60"	—	8	То же	15—20	1:500—1:1500	—	6,7
Капрели										
КВ-1	СССР	—	30	30	6	2—300	—	1:250—1:750	0,05—0,2	2,8
КА-2	»	60	30	—	—	5—300	—	1:250—1:750	0,05—0,2	2,8
МА-4	БНР	60	50	30	6	2—300	—	1:250—1:1000	0,10—0,15	3,2
МА-1	»	60	50	30	6	2—300	—	1:250—1:1000	0,10—0,15	3,7

одной из измеряемых величин или всех вместе построены на принципах радиоэлектроники и автоматики. Первые промышленные образцы электронных тахеометров (табл. 9) представляют собой конструкцию, состоящую из основных узлов либо светодальномера-автомата и оптического теодолита (SM-11), либо светодальномера-автомата и кодового теодолита (*Reg Elta-14 ART* и Геодиметр 700). Все тахеометры снабжены устройствами для регистрации показаний в виде, удобном для ввода в электронно-вычислительные машины для последующей обработки. Некоторые из тахеометров являются авторедущими (ART и Геодиметр 700).

Фототеодолиты и спаренные стереокамеры [65] служат для наземной стереофотограмметрической съемки строительных объектов и других работ. Фототеодолит — это инструмент, состоящий из фотографической камеры и ориентирного устройства. При съемке фототеодолит последовательно устанавливается на концах специально измеряемых базисов, называемых базисами фотографирования. Спаренная стереокамера представляет собой сочетание двух фотокамер, объединенных в единой конструкции на расстоянии (обычно постоянном), являющемся инструментальным базисом фотографирования. В отличие от фототеодолитов спаренные камеры применяются для съемки более близких объектов (1—25 м). Наибольшее распространение в нашей стране получили фототеодолиты *Photheo-19/1318*, УМК 10/1318 (Цейсс) и спаренные фотокамеры СКИ-3, СКИ-4 (СССР) и SMK-5,5/0808 (Цейсс).

Фотографическая камера *Photheo-19/1318* (рис. 9) имеет объектив с фокусным расстоянием 190 мм и относительным отверстием 1 : 25. Полезные углы изображения по горизонтали — 45°, по вертикали — 34°, а в случае смещения объектива вверх или вниз от центрального положения — 44°. Камера рассчитана на использование фотопластинок 13×18 см. Ориентирное устройство состоит из зрительной трубы 25X увеличения, горизонтального лимба, отчетного микроскопа и осевой системы с микрометрично-зажимными устройствами. Визирный луч наклоняется поворотом призмы, помещенной перед объективом. В комплект прибора входят фототеодолит, теодолит-тахеометр *Theo-020* инварная двухметровая рейка, три трегера, три марки и три штатива.

Универсальная фотокамера УМК-10/1318 (рис. 10) разработана на базе фототеодолита *Photheo-19/1318*. Основой прибора является новый широкоугольный объектив *Lamegon-8/100*, фокусное расстояние которого 100 мм, а относительное отверстие 1 : 12,5.

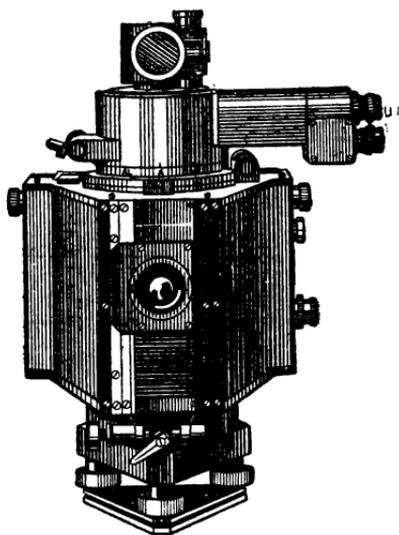


Рис. 9. Фотокамера *Photheo-19/1318*

Тип прибора, страна, фирма и год разработки	Источник света	Модулятор света	Приемник света	Частота модуляции, света, МГц	Диапазон измерений, км	Погрешность измерения		Продолжительность измерения, мин
						расстояний, мм	углов, с	
SM-11, ФРГ, <i>Opton</i> , 1968	Светодиод (Ga-As)	Светодиод (Ga-As)	Фотоумножитель	14,985—14,986; 0,1498	0,001— $\frac{1}{2}$	± 10	3—5	0,5 для расстояния
<i>Reg Elta</i> -14, ФРГ, <i>Opton</i> , 1969	То же	То же	То же	14,985—14,986; 0,1498	0,001— $\frac{1}{2}$	± 10	3—5	0,5 для расстояния и угла
ART, Франция, <i>Franke</i> , 1971	»	»	—	15,00; 14,85	0,001— $\frac{1}{2}$	± 10	3	0,5 для расстояния и угла
Геодиметр 700, Швеция, AGA, 1971	Газовый лазер	Ячейка Керра	Фотоумножитель	30; 0,3	0,001— $\frac{1}{5}$	$\pm(5+\frac{1}{2} \times \times 10^6 \times D)$	2—3	0,3

* В комплект включены приборы и инструменты, необходимые для измерения

Таблица 9

Диапазон углов наклона, град	Потребляемая мощность, Вт	Вид окончательных показаний прибора	Масса основных узлов и частей комплекта, кг	Масса комплекта* без упаковки, кг	Дополнительные сведения
±45	14	Непосредственный цифровой отсчет наклонных расстояний на электронном цифровом табло. Отсчет горизонтальных и вертикальных углов по микроскопу	Приемопередатчик 14 Штативы: для прибора 10 » отражателя 4,8 Держатель (19 призм) 3,2 Призма 0,16 Аккумулятор 6	40	Является совмещением светодальномера SM-II и теодолита Тл-4. Может придаваться перфоратор. Выпускается серийно
±45	20	Непосредственный цифровой отсчет горизонтальных и вертикальных углов и наклонных расстояний на электронном цифровом табло и запись их на перфоленту	Приемопередатчик 18 Перфоратор с источником питания 9 Штативы: для прибора 10 » отражателя 4,8 Держатель (19 призм) 3,2 Призма 0,16	48	Является совмещением светодальномера SM-II и кодового теодолита Reg Elta-14. Выпускается серийно
—	—	Тот же, плюс цифровой отсчет и запись на магнитную или перфорирующую ленту горизонтальных расстояний и превышений	—	—	—
-45 +90	—	Тот же, за исключением цифрового отсчета и записи превышений	Приемопередатчик 14 Измерительный блок с батареей 12 Перфоратор с батареей 6 Отражатель (6 призм) 2,5 Штатив 7	50	—

одной линией.

В отличие от фототеодолита *Photheo* камера УМК-10/1318 размещается над ориентирной системой и может отделяться, ею можно снимать горизонтально и вертикально вверх. Механизм горизонтального ориентирования выполнен по образцу точного теодолита *Theo-010*;

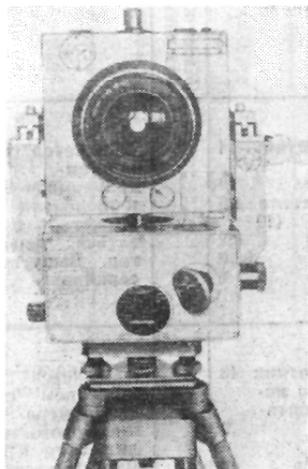


Рис. 10. Фотокамера УМК-10/1318

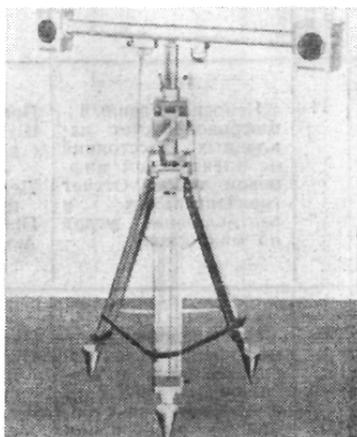


Рис. 11. Спаренная стереокамера SMK-5,5/0808

механизм вертикального ориентирования такой же, как у фототеодолита *Photheo*. Объектив камеры фокусируется от 3,6 м до ∞ . Камера снабжена электромагнитным устройством, позволяющим при наличии двух камер вести синхронную съемку.

Спаренная стереокамера СКИ-3 снабжена объективами типа анастигмат с фокусным расстоянием 105 мм и относительным отверстием 1:6,3. Объектив фокусируется от 0,6 до ∞ . Базис фотографирования может плавно меняться от 140 до 1000 мм. Формат снимка 6,5×9 см.

Спаренная стереокамера СКИ-4 имеет постоянный базис фотографирования, равный 65 мм. Камера снабжена объективом типа анастигмат с фокусным расстоянием 40 мм и относительным отверстием 1:2. Съемка производится на стандартную 35-миллиметровую киноплёнку. Один заряд кассеты рассчитан на 15 стереопар.

Спаренная стереокамера SMK-5,5/0808 (рис. 11) состоит из двух камер, снабженных широкоугольными объективами типа *Lamegon* с фокусным расстоянием 56 мм и относительным отверстием 1:10. Фотографирование ведется на фотопластины или плёнку размером 8×8 см. Камеры размещены на штанге, позволяю-

шей устанавливать два дискретных базиса фотографирования 400 и 1200 мм. Первый базис служит для съемки в пределах от 1,5 до 10 м, второй — от 5 до 30 м. С помощью специального штатива камера может подниматься на высоту 2,5 м над точкой стояния штатива.

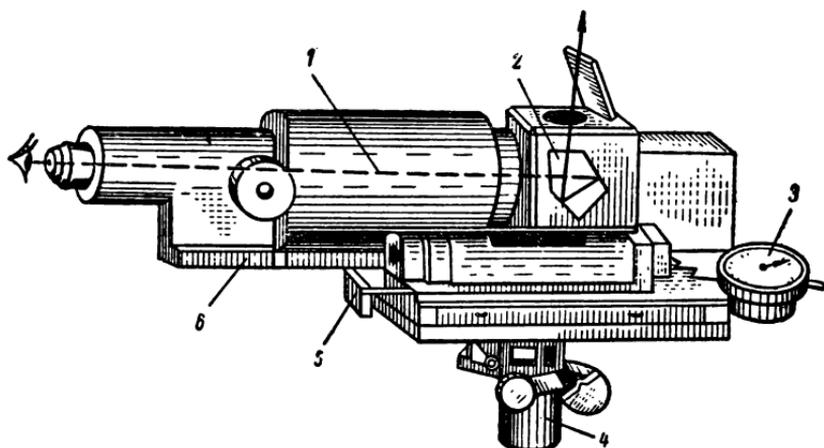


Рис. 12. Прибор ПОВП

1 — зрительная труба; 2 — пентапризма; 3 — индикатор часового типа; 4 — цилиндрическая ось; 5 — микрометричный винт; 6 — основание

Для обработки результатов стереосъемки служат стереокомпараторы СК-3, СК-4 (СССР), 1818, стекометр (Цейсс), а также универсальные стереофотограмметрические приборы: стереоавтограф 1318, «Технокарт» и др. Стереокомпараторы позволяют измерить координаты и параллаксы точек на снимках, по которым далее вычисляются геодезические координаты объекта. Универсальные приборы позволяют не только измерить координаты, но и получить по снимкам графическое изображение объекта.

Специальные инструменты, приборы и установки

Специфика измерений, возникающая при установке и выверке строительных конструкций, привела к созданию ряда инструментов, приборов и установок узкого назначения, которые выделены нами в специальные и классифицированы по назначению.

Инструменты для установки и выверки конструкций по вертикали. Оптические центрировочные приборы ОЦП и ПОВП (рис. 12) служат для вертикального проектирования и измерения смещения точек от вертикали. В приборах используется зрительная труба от нивелира НСМ-2А с самоустанавливающейся линией визирования. Переход от горизонтальной линии визирования к вертикальной осуществляется при помощи пентапризмы. Микрометрическое перемещение вертикальной визирной оси учитывается

индикатором часового типа. В приборе ПОВП пентапризма имеет поворот на 180° для направления визирного луча вниз и вверх по вертикали. Погрешность передачи положения точек составляет $\pm(0,5 \div 1)$ мм на 100 м высоты.

Прецизионный зенит-лот PZL (рис. 13) служит для проектирования точек по вертикали. Прибор создан на базе нивелира КОНИ-007 (Цейсс, ГДР) с самоустанавливающейся линией визирования, из которого изъята пентапризма и микрометр с плоско-параллельной пластинкой. Инструмент имеет горизонтальный круг,

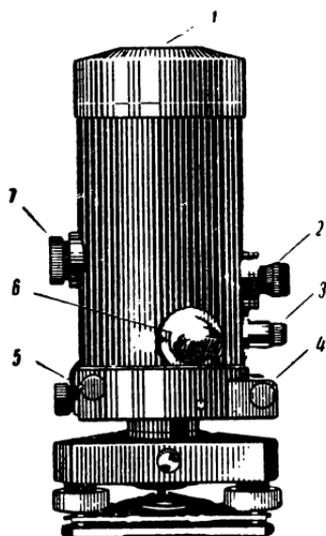


Рис. 13. Прибор зенит-лот PZL

1 — защитное стекло объектива; 2 — окуляр зрительной трубы; 3 — окуляр отсчетного микроскопа горизонтального лимба; 4 — цилиндрический уровень; 5 — винт точной наводки и закрепительный рычажок горизонтального движения трубы; 6 — зеркало для подсветки; 7 — рукоятка для фокусирования

по которому можно брать отсчет с погрешностью $1'$. Центрирование осуществляется лотаппаратом или оптическим отвесом. Погрешность вертикального выноса точки $\pm(1:2)$ мм на 100 м высоты.

Более подробные сведения об инструментах вертикального проектирования даны в [1, 60, 82].

Инструменты и приборы для установки и выверки конструкций в плане. Инженерный нивелир конструкции В. А. Белицина (рис. 14) служит для створных наблюдений способом оптического визирования. Инструмент выполнен на базе точного нивелира. Величина отклонения точки от створа измеряется при помощи оптического микрометра в момент совмещения прямого и перевернутого (инвертпризмой) изображения визирной цели. Труба может поворачиваться вокруг оптической оси на 90° , что дает возможность использовать прибор для работы по вертикали. Погрешность определения смещений от створа составляет ± 1 мм на расстояниях до 100 м.

Алинеометр Цейсса (рис. 15) применяется для створных наблюдений способом оптического визирования. Зрительная

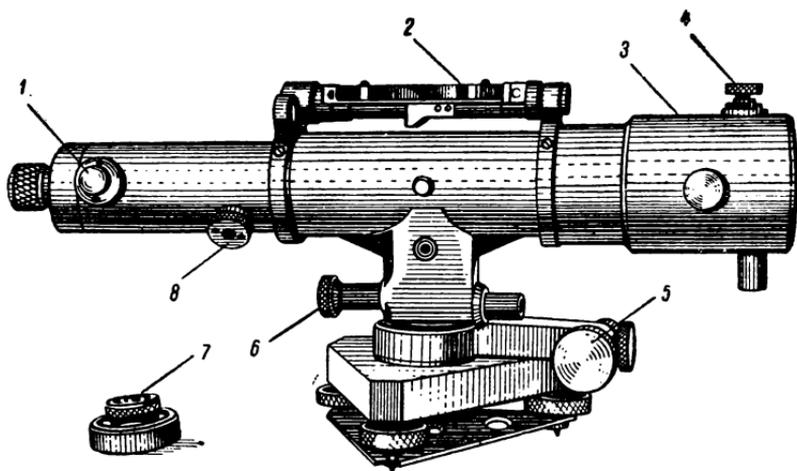


Рис. 14. Инженерный нивелир В. А. Белицина

1 — барабан оптического микрометра; 2 — уровень; 3 — оправа инверт-призмы; 4 — юстировочный винт инверт-призмы; 5 — наводящий винт; 6 — элевационный винт; 7 — сменный окуляр; 8 — фокусирующий винт

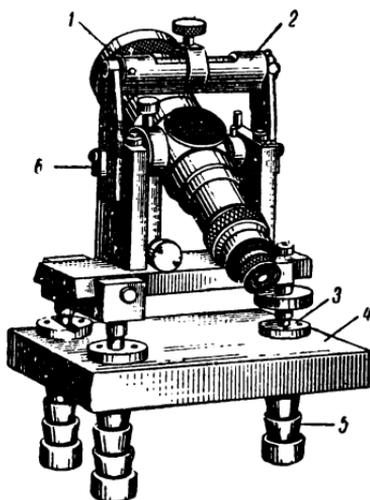


Рис. 15. Алинеометр Цейсса

1 — насадка с плоскопараллельной пластиной; 2 — накладной уровень; 3 — подкладки; 4 — основание; 5 — завершенные стержни для укрепления прибора при бетонировании; 6 — лагеры

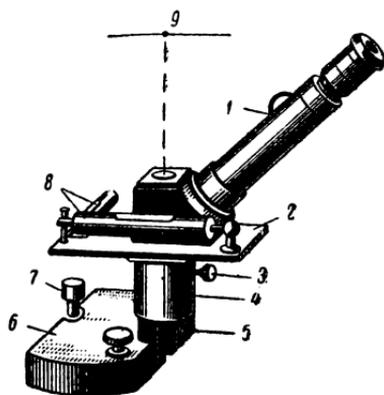


Рис. 16. Оптический проектирующий прибор ОП-2

1 — зрительная труба; 2 — столик; 3 — закрепительный винт; 4 — ось; 5 — контактная плоскость подставки; 6 — подставка; 7 — подъемный винт; 8 — уровень; 9 — струна

труба снабжена плоскопараллельной пластинкой, имеет увеличение 45X, может перекадываться в лагерах и наклоняться на угол до $\pm 40^\circ$. Погрешность определения смещений от створа составляет ± 1 мм на расстояниях до 500 м.

Оптический проектирующий прибор ОПП-2 (рис. 16) используется для передачи створа, заданного натянутой струной (струнно-оптический метод наблюдений). Инструмент состоит из наклонно расположенной зрительной трубы, снабженной

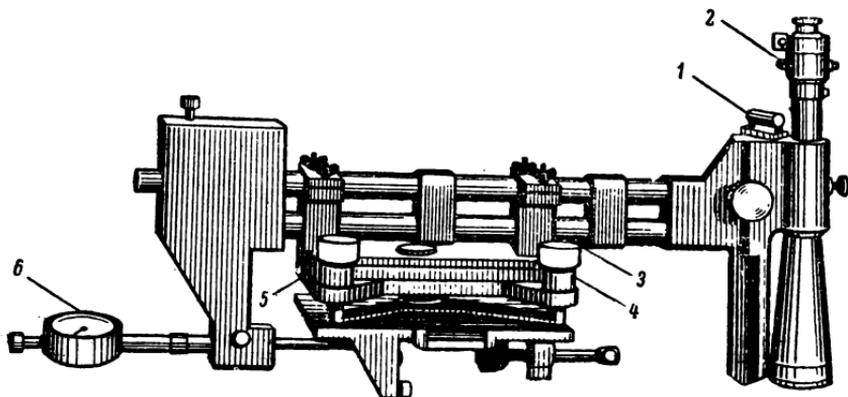


Рис. 17. Оптический ординатометр

1 — уровень; 2 — зрительная труба; 3 — закрепительный винт; 4 — подъемный винт; 5 — подставка; 6 — индикатор

оптическим микрометром с плоскопараллельной пластинкой; столика с двумя цилиндрическими уровнями; оси и подставки с контактной плоскостью и подъемными винтами. Для направления визирного луча вверх (по линии отвеса) на выходе трубы установлена призма. Конструкцией предусмотрено, чтобы продолжение визирного луча совпадало с контактной плоскостью. Погрешность передачи створа существенно зависит от стабильности положения струны и при удовлетворительных условиях составляет $\pm (0,2 \div 0,3)$ мм.

Оптический ординатометр (рис. 17) предназначен для установки и выверки оборудования относительно струны, натянутой параллельно монтажной оси на расстоянии 0,3—0,5 м. Прибор состоит из зрительной трубы, укрепленной вертикально на горизонтальной направляющей, подставки с подъемными и микрометренными винтами и индикаторного устройства с упорными выступами. По принципу действия прибор аналогичен обычному штангенциркулю: один конец измеряемого (откладываемого) расстояния фиксируется упорными выступами, второй — вертикальной визирной осью, проходящей через натянутую струну. Погрешность установки и выверки оборудования ординатометром составляет 0,05—0,1 мм.

Коллиматорный прибор МИИГАиК (рис. 18) является высокоточной створной установкой, работающей на расстояниях до 300 м днем и до 1000 м ночью. Погрешность определения смеще-

ния точек от створа составляет около $\pm 0,01$ мм. Установка включает зрительную трубу от теодолита ТТ-2/6 на подставке, имеющей микрометрическое перемещение для центрирования, визирную марку и коллиматор, расположенный на тележке, которая имеет две полусферические головки на расстоянии 2000 мм (база прибора) для контактирования с выверяемой поверхностью. Коллиматор имеет объектив диаметром 120 мм и фокусным расстоянием 1600 мм, сетку нитей в фокальной плоскости и источник света в виде шестивольтовой лампочки накаливания. Оптическая ось коллиматора лежит в

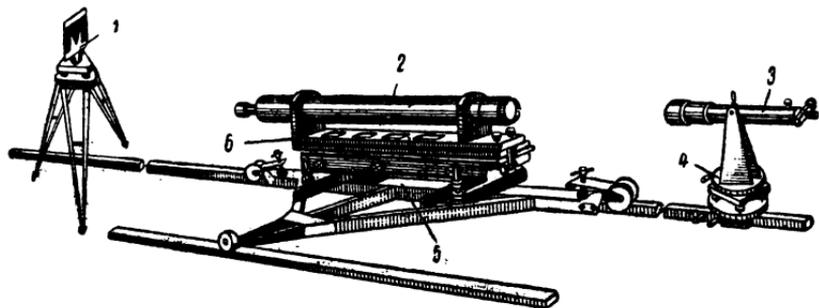


Рис. 18. Коллиматорная установка МИИГАиК

1 — марка; 2 — коллиматор; 3 — зрительная труба; 4, 6 — подставки; 5 — тележка

вертикальной плоскости, проходящей через точки контактирования тележки, что достигается юстировкой.

Более подробные сведения о створных инструментах, приборах и установках даны в [1, 62 и 17].

Инструменты и приборы для установки и выверки конструкций по высоте. Гидростатические нивелиры. Действие гидростатических нивелиров основано на свойстве жидкости в спокойном состоянии устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном уровне. Обычно нивелир представляет собой два цилиндрических сосуда (чаще всего стеклянных в металлической оправе), наполненных жидкостью, которые соединяются гибким шлангом. Превышение между точками определяется разностью уровней столбов жидкости в цилиндрах. Существующие типы нивелиров в основном отличаются способом фиксации уровня жидкости в цилиндрах (визуально или инструментально), отсчетным приспособлением, а также точностью измерений.

Шланговый нивелир НШТ позволяет измерять превышения до 200 мм между точками, расположенными на расстояниях до 10 м, с погрешностью $\pm (0,6 \div 2)$ мм. Фиксация уровня жидкости в цилиндрах осуществляется с помощью свободно плавающего поплавка с кольцевой риской. Отсчет производится визуально по шкале, нанесенной на поверхности цилиндров. Инструмент приспособлен для установки на грунтовые и стенные реперы, а также на реперы, закладываемые в кровле подземных выработок.

Гидростатический нивелир ЭНИМС служит для измерения превышений не более 25 мм с погрешностью около $\pm (0,01 \div 0,02)$ мм. Каждый цилиндр нивелира сверху герметически закрыт крышкой, через которую проходит микрометрический винт с

отсчетным барабаном для фиксирования уровня жидкости. Момент контактирования острия винта с жидкостью определяется визуально. Для изоляции гидростатической системы инструмента от влияния внешнего давления цилиндры соединены дополнительным воздушным шлангом.

Гидростатический нивелир МИИГАиК отличается от других приборов тем, что в качестве заполняющей жидкости в нем используется ртуть, благодаря чему он становится менее чувствительным к изменению внешнего давления и температуры, чем аналогичные приборы, заполненные водой. Столб ртути в сосудах измеряется микрометренным винтом с отсчетным барабаном, а контакт винта с поверхностью ртути фиксируется миллиамперметром. Погрешность измерения превышения составляет $\pm(0,005 \div 0,01)$ мм.

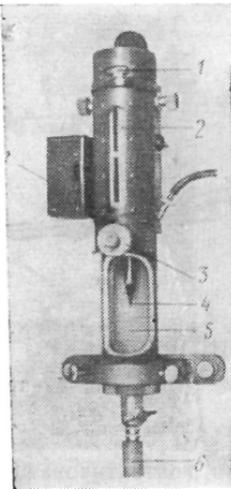


Рис. 19. Шланговый нивелир Фрейбергер прецизионс-механик

1 — точная круговая шкала; 2 — линейная миллиметровая шкала с индексом; 3 — рукоятка для перемещения измерительного наконечника; 4 — измерительный наконечник; 5 — стеклянный цилиндр; 6 — шланг; 7 — индикатор

Шланговый нивелир Фрейбергер прецизионс-механик (рис. 19) позволяет измерять превышения до 100 мм между точками, расположенными на расстояниях до 40 м, с погрешностью $\pm(0,01 \div 0,05)$ мм. Для измерения уровня жидкости в цилиндрах имеется измерительный наконечник, перемещаемый шпindelем; линейная миллиметровая шкала с индексом для грубого отсчета и точная круговая шкала. Момент соприкосновения наконечника с поверхностью жидкости фиксируется оптическим сигналом индикатора. Нивелир может подвешиваться к стенным реперам или устанавливаться на грунтовые реперы при помощи специального штатива с инварным центриром.

Микронивелиры. Для высокоточного измерения малых превышений между точками, расположенными на сравнительно близком расстоянии, служат микронивелиры; применяются они при монтаже различных технологических линий в промышленности. Это точные накладные цилиндрические уровни с микрометрическим устройством и индикатором для выведения пузырька уровня в нуль-пункт и отсчитывания наклона поверяемой поверхности или превышения между опорными точками микронивелира. В нашей стране используются микронивелиры МН-1, МН-2 и МН-3, разработанные в МИИГАиК.

Микронивелир МН-1 — инструмент, имеющий уровень с ценой деления $5''$, микровинт с оцифрованным барабанчиком. Опорные точки в виде полусферических головок расположены на расстоянии (базе) 1500 мм. Погрешность отсчета по барабанчику, равная $\pm 1''$, соответствует ошибке в превышении 8 мкм.

Микронивелир МН-2 в отличие от микронивелира МН-1 имеет контактный уровень, более жесткий корпус, меньшую массу, мягкую посадку на опорные точки.

Микронивелир МН-3 — наиболее совершенная модель (рис. 20), в которой одна из опор сделана подвижной, а для непосредственного отсчитывания превышения установлен индикатор часового типа с ценой деления 10 мкм. База может изменяться от 900 до 1200 мм. Инструмент позволяет измерять превышения до 10 мм с погрешностью 5—7 мкм.

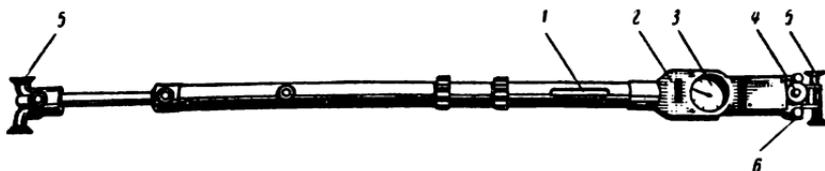


Рис. 20. Микронивелир МН-3

1 — продольный цилиндрический уровень; 2 — поперечный цилиндрический уровень; 3 — индикатор; 4 — подъемный винт; 5 — направляющий ролик; 6 — опора амортизатора

Более полно гидростатические нивелиры и микронивелиры описаны в [62, 39, 15].

Лучевые приборы и установки

Средствами измерений нового класса, использующими последние достижения квантовой электроники и светотехники, являются лучевые приборы. Установки и приборы такого типа с успехом применяются в качестве указателей опорных направлений и плоскостей при производстве различных видов строительных работ. Направления и плоскости задаются сформированным световым потоком, который также можно использовать как канал для дистанционного автоматического управления. Внедрение в строительную практику первых образцов лучевых приборов показывает, что они являются весьма перспективным средством сокращения сроков и стоимости работ.

Прибор управления лучом ПУЛ-3. Для дистанционного управления вертикальным перемещением рабочих органов землеройных и других машин предназначен прибор ПУЛ-3 (рис. 21) [44]. Он представляет собой установку из передающей и приемной станций.

Основной частью передающей станции является прожектор, который состоит из источника света в виде лампы накаливания, оптической системы, генератора с частотой колебаний 900 и 1500 Гц, модулятора света, светофильтров и ориентирного устройства для установки прибора в заданном направлении с технической точностью. С помощью прожектора формируется узконаправленный луч, разделенный на верхнюю и нижнюю симметричные части, модулированные соответственно частотами 900 и 1500 Гц. Граница раздела лучей, именуемая равносигнальной зоной, является указателем направления по вертикали. Раствор ее изменяется от 2 до 13 мм при расстояниях до приемника 100—700 м.

Приемная станция включает в себя фотоэлектрический приемник, усилитель и пульт управления. Фотоприемник устанавли-

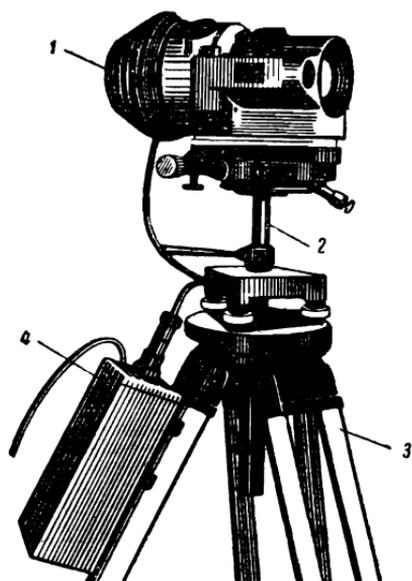


Рис. 21. Передающая станция ПУЛ-3

1 — прожектор; 2 — подъемная колонка с трегером; 3 — штатив; 4 — преобразователь напряжения

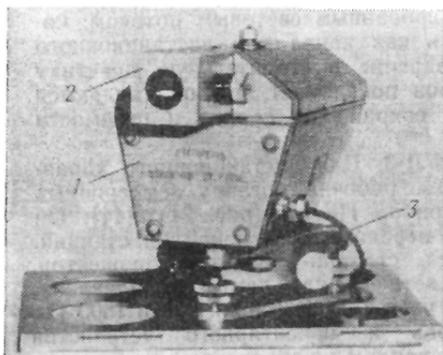


Рис. 22. Лазерный указатель направления ЛУН-1

1 — лазер и блок питания во взрывобезопасном исполнении; 2 — коллиматор; 3 — подставка

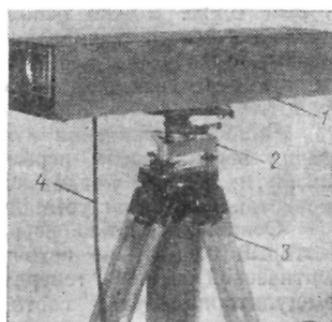


Рис. 23. Лазерный нивелир ВНИМИ с самоустанавливающейся линией визирования

1 — корпус нивелира; 2 — подставка; 3 — штатив; 4 — шланг питания

вается на рабочий орган машины. Принятый фотоприемником сигнал после усиления подается в пульт управления, где вырабатываются соответствующие команды для вертикального перемещения рабочего органа машины. Машина в горизонтальной плоскости ориентируется водителем визуально по вертикальной границе раздела светового луча, создаваемой синим и красным светофильтрами передатчика. Дальность действия установки днем до 500 м, погрешность выдерживания направления составляет $\pm(2\div 15)$ мм по высоте и 50—100 мм в плане.

Лазерный указатель направления ЛУН-1. Прибор (рис. 22) предназначен для задания направления горизонтальным горным выработкам, проводимым комбайнами, и при других работах [58]. ЛУН-1 светопроекционный прибор, который состоит из гелий-неонового лазера ЛГ-56, коллимирующей системы, подставки с зажимным и наводящим винтами и блока питания. Лазер и блок питания заключены во взрывобезопасный кожух. Для ориентации лазерного луча в горизонтальной плоскости служит теодолит Т30, устанавливаемый на корпус прибора. Угол дивергенции выходящего светового пучка 25", потребляемая мощность 65 Вт, масса прибора 38 кг.

Лазерный нивелир ВНИМИ. Прибор (рис. 23) с самоустанавливающимся направлением светового пучка состоит из лазера типа ЛГ-56 с блоком питания, коллимирующей системы со стабилизирующим устройством маятникового типа и стандартной подставки [59]. Для предварительной установки нивелира в горизонтальное положение служит круглый уровень с ценой деления 20'. Дальность действия до 200 м, погрешность определения превышений $\pm(1\div 5)$ мм, масса прибора 11,5 кг.

Лазерный теодолит ДКМ2-А1 фирмы Керн. Прибор (рис. 24) представляет собой комбинацию секундного теодолита той же фирмы с газовым лазером 120Т. Кроме того, в комплект прибора входят блок и источник питания, штатив, световод, кабели подставки, дополнительные приспособления. Лазерная трубка [93] крепится к ножке штатива. Лазерный луч по гибкому световоду подается на полупрозрачный оптический элемент, введенный в фокальную плоскость зрительной трубы теодолита. Оптический элемент отражает упавший на него луч в направлении оптической оси зрительной трубы, играющей роль коллиматора.

Для визирования и направления лазерного луча в зенит и надир перед объективом зрительной трубы помещается специальная съемная призма. Лазерный луч может быть направлен в зенит соответствующей установкой самой зрительной трубы. В этом случае для визирования придается специальная окулярная призма. Диаметр объектива зрительной трубы 45 мм, увеличение 30Х, наименьшее расстояние визирования 1,7 м. Теодолит снабжен самоустанавливающимся индексом нуля вертикального круга с пределами работы 5' и точностью 0,3". Мощность лазера 5 МВт, длина волны излучения 632,8 нм, угол дивергенции после коллимации 15". Прибор питается от 12-вольтовой батареи или от бензоагрегата мощностью 50 Вт, напряжением 110/220 В и частотой колебаний 50/60 Гц. Дальность действия прибора 400 м, масса 28,5 кг. Прибор применяется при нивелировании строительных площадок, закладке фундаментов, выемке грунта, устройстве полов.

Лазерная установка Siemens. Установка [94] состоит из передающей и приемной станций.

Передающая станция включает гелий-неоновый лазер, колли-

мирующую систему, подставку, блок и источник питания. С помощью коллиматора луч лазера сначала увеличивается в диаметре до 20 мм, а затем растягивается по ширине в пределах 17° , создавая в пространстве светящуюся горизонтальную плоскость треугольной формы. На расстоянии 100 м от лазерной установки световой луч имеет размеры 30 м в длину и 20 мм в высоту.

Приемная станция состоит из четырех фотоэлектрических приемников, индикаторного устройства и пульта управления рабочим ор-

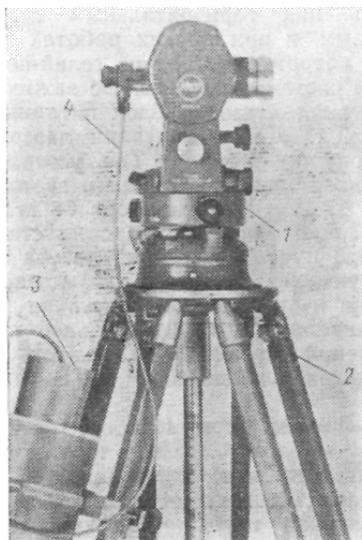


Рис. 24. Лазерный теодолит ДКМ2-АЛ

1 — теодолит; 2 — штатив с жестким центриром; 3 — газовый лазер 120Т; 4 — световод

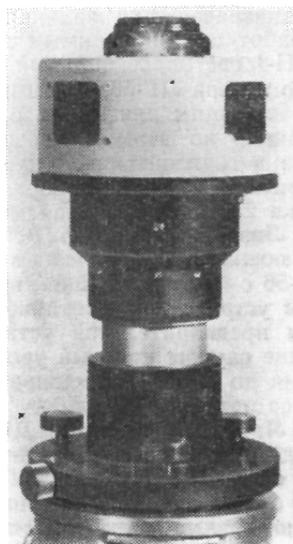


Рис. 25. Лазерный нивелирный прибор Геоплейн-300 фирмы АГА

ганом машины. Оптимальное расстояние между станциями около 400 м. Установка применяется для автоматического контроля продольного уклона грунтов, укатываемых виброкатками.

Лазерный нивелирный прибор Геоплейн-300 фирмы АГА. Прибор (рис. 25) предназначен для технического нивелирования при производстве различных строительных работ [95]. Нивелирование прибором Геоплейн-300 основано на принципе вращающегося лазерного луча, задающего горизонтальную плоскость на известной высоте. Положение этой плоскости может быть определено визуально или фотоэлектрически в любой съемочной точке на расстояниях до 150 м от инструмента. Основным элементом для получения светящейся плоскости служит приводимая во вращение вокруг вертикальной оси прямоугольная зеркальная призма, которая делит падающий на ее вершину луч лазера пополам и направляет обе поло-

вины луча горизонтально в противоположные направления. Вследствие инерции зрительного восприятия падающий периодически в глаз наблюдателя свет кажется непрерывным.

Прибор состоит из газового лазера мощностью 1 МВт, оптико-механического узла для вращения призмы и коллимации лазерного луча, ориентирного устройства и подставки. Питание осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Для фотоэлектрической регистрации светящейся плоскости применяется фотоэлектрический детектор со стрелочным индикатором. Радиус действия прибора при визуальной индикации — 75 м, при фотоэлектрической индикации — 150 м. Погрешность определения превышения ± 2 мм на расстоянии 100 м. Потребляемая мощность 15 Вт. Масса основного прибора со штативом — 8 кг, масса блока питания с аккумуляторной батареей — 3 кг, масса детектора с индикатором — 1,1 кг.

3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИН И ИХ ПОСТРОЕНИЯ

Все работы, выполняемые на строительной площадке (построение строительной сетки, разбивка осей сооружения, текущее обслуживание строительства или съемка законченного объекта), складываются из совокупности измерительных операций, сводящихся в итоге к измерению (построению) отдельного угла, направления, длины линии, превышения и других геометрических элементов.

Измерение и построение углов

Измерение и построение горизонтального угла. Для измерения такого угла применяются способы приемов, совмещения нулей и повторений. Наиболее распространен первый способ.

Для измерения угла AOB (рис. 26) способом приемов теодолит устанавливают в вершине угла O в рабочее положение и при закрепленном лимбе движением алидады наводят центр сетки нитей зрительной трубы на предмет A , после чего по верньеру или другим устройствам снимают отсчет a по горизонтальному кругу. Освободив алидаду, визируют на предмет B и также снимают отсчет b по горизонтальному кругу. Так как оцифровка делений горизонтального круга возрастает по ходу часовой стрелки, величина измеряемого угла $\beta = b - a$. Такое измерение угла называется полуприемом. Второй полуприем выполняют аналогично при другом положении вертикального круга, при этом предварительно горизонтальный круг смещают приблизительно на 90° . За окончательное значение угла принимают среднее из двух полуприемов. Точность результатов выше инструментальной достигается измерением угла несколькими приемами.

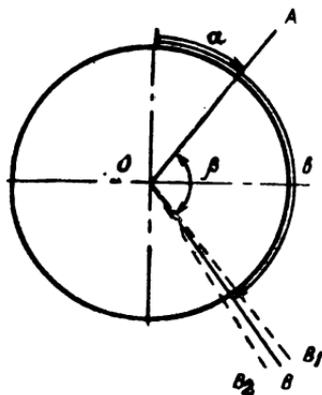


Рис. 26. Измерение и построение горизонтального угла

При построении на местности проектного угла β необходимо от заданного в натуре направления OA найти второе направление OB . Для построения угла с инструментальной точностью совмещают нуль лимба с нулем алидады и движением лимба наводят перекрестие сетки нитей на точку A . Открепив алидаду, поворачивают ее до тех пор, пока отсчет по горизонтальному кругу не станет равным заданному углу. На продолжении визирного луча фиксируют на местности точку B_1 . Переведя трубу через зенит и вычислив установочный отсчет, выполняют такое же построение при другом круге и фиксируют точку B_2 . Отрезок B_1B_2 делят пополам и находят точку B .

При построении угла β с повышенной точностью сначала строят его при одном положении вертикального круга и фиксируют точку B_1 . Затем отложенный угол измеряют несколькими приемами и вычисляют среднее его значение. Взяв разность между заданным углом и измеренным, получают поправку $\Delta\beta$. Зная по проекту расстояние OB , вычисляют линейную поправку x по формуле $x = OB \frac{\Delta\beta''}{\rho''}$. Отложив на местности от точки B_1 перпендикулярно линии OB_1 величину x , фиксируют точку B . Угол AOB и будет равен заданному углу β .

Измерение и построение вертикального угла. Измерение производится при помощи вертикального круга угломерного инструмента. Теодолит устанавливают в рабочее положение, затем при КП (вертикальный круг справа) горизонтальную нить сетки нитей наводят на точку. Установив пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт, снимают отсчет. Переведя зрительную трубу через зенит, аналогичные действия выполняют при КЛ. Измеренный вертикальный угол α находят по отсчетам при КП и КЛ, используя формулы

$$MO = \frac{1}{2} (КП + КЛ + 180^\circ);$$

$$\alpha = КП - MO = MO - КЛ + 360^\circ$$

или:

$$\alpha = КЛ - MO = MO - КП - 180^\circ$$

в зависимости от типа теодолита.

Для измерения угла с точностью, выше инструментальной, таких приемов нужно сделать несколько.

Вертикальные углы, как правило, строятся одним полуприемом. Для этого вычисляют отсчет, соответствующий значению заданного угла α , по формулам

$$КП = \alpha + MO, \quad КЛ = MO - \alpha + 360^\circ$$

$$\text{или } КП = MO - \alpha - 180^\circ, \quad КЛ = \alpha + MO.$$

Приведя пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт, устанавливают вычисленный отсчет на лимбе. После чего фиксируют проекцию горизонтальной нити на местности. Для повышения точности построения угла может быть выполнен полный прием, при этом расстояние между двумя фиксированными проекциями горизонтальной нити делится пополам.

Измерение и откладывание расстояний

Из многих инструментов и приборов для измерения расстояний наибольшее распространение в строительстве нашли рулетки, мерные ленты и оптические дальномеры. В последнее время начинают использоваться светодальномеры.

Измерение расстояний мерными лентами и рулетками. Процесс измерения заключается в последовательном откладывании ленты или рулетки между начальной и конечной точками измеряемой линии. При этом необходимо, чтобы мерное полотно находилось в створе, который задается заранее инструментально или визуально. Для определения горизонтальных проложений измеряются углы наклона мерного инструмента теодолитом или эклиметром [22]. Измерение расстояний с повышенной точностью выполняется рулетками более высокого класса с постоянным натяжением [82] и тщательным учетом поправок мерного инструмента (за наклон, провес, температуру и компарирование).

Измерение расстояний оптическими дальномерами. В нашей стране из оптических дальномеров наиболее распространены дальномерные насадки двойного изображения. Измерение расстояний такими дальномерами поясним на примере насадки ДН-04 с постоянным параллактическим углом и переменным базисом в виде штриховой инварной рейки с верньерами [28].

Для измерения расстояния теодолит с насадкой устанавливается на одном конце измеряемой линии, а рейку горизонтально — на другом. Горизонтальную нить сетки (или ребро бипризмы) наводят на рейку и микрометрическим винтом вращают алидаду до тех пор, пока какой-либо штрих верньера не совместится со штрихом основной шкалы. После чего берут отсчет по рейке, целая часть которого указывается нулем верньера, десятая определяется номером совпадающего штриха верньера, а сотая и тысячная (на глаз) доли отсчета находятся по числу делений верньера от нуля до вертикальной нити. На рис. 27 полный отсчет равен 25,656. При использовании сантиметровой шкалы отсчет непосредственно выражает величину измеряемого расстояния в метрах, а при работе по двухсантиметровой шкале для получения расстояния отсчет по рейке удваивается. Для горизонтального проложения вводится поправка за угол наклона, который определяется по вертикальному кругу теодолита одновременно с измерением линии.

Измерение расстояний авторедукционным дальномером двойного изображения ДНР-06 производится аналогично по вертикальной рейке [3]. Работа с дальномерами других типов описана в [54, 75, 81].

Измерение расстояний светодальномерами. Порядок измерения расстояний светодальномерами описан на примере высокоточного

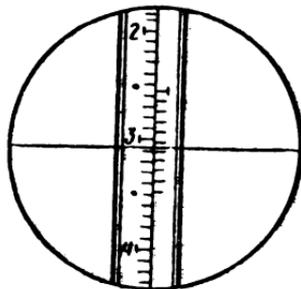


Рис. 27. Отсчет по рейке при работе с дальномерной насадкой ДН-04

неавтоматического дальномера МСД-1 и точного дальномера-автомата ДИ-10.

Для измерений светодальномер МСД-1 [10, 68] и отражатель устанавливают над конечными точками измеряемой линии в рабочее положение. Наводят прибор (см. рис. 6) на отражатель сначала грубо — по визиру, а затем точно — по стрелочному индикатору. Для точной наводки включают прибор, открывают приемный объектив и переводят схему прибора на измерение уровня сигнала. Точная наводка осуществляется микрометричными винтами прибора относительно горизонтальной и вертикальной осей до получения максимальных показаний стрелочного индикатора. Затем приступают к измерению расстояния на первой частоте модуляции. Для этого тумблер «Частота» ставят в положение «Частота I», а тумблер «Уровень — Фаза» — в положение «Фаза». Действуя ручкой фазовращателя, выводят стрелку индикатора в нулевое положение. После этого поворотом ручки перекидной шторки включают оптическую линию и диафрагмой доводят уровень сигнала с нее до величины сигнала с отражателя. Вращением ручки оптической линии выводят стрелку индикатора в нулевое положение вновь и по шкале оптической линии снимают отсчет L_1 , представляющий собой дробную часть полуволны модуляции в линейной мере. Таким же образом выполняют измерения на «Частоте II» и снимают отсчет L_2 .

Расстояние вычисляют по формулам:

$$D_1 = (1000 N + L_1) \text{ мм};$$
$$D_2 = (1020,408 N + L_2) \text{ мм},$$

где

$$N = 0,049 (L_1 - L_2).$$

Измерение расстояния Дистоматом ДИ-10 [96] начинают также с наводки прибора на отражатель и установки необходимого уровня сигнала с дистанции. Для этого основной переключатель измерительного блока (см. рис. 8, б) ставится в положение «Point», а рукоятка насадки «Измерение — калибровка» (см. рис. 8, а) — в положение «М» (измерение). Далее рукоятку переводят в положение «С» (калибровка) и нажатием кнопок «Калибровка» и «Старт» устанавливают соответственно точный и грубый лимбы в исходное положение, которое характеризуется появившимся в отсчетном окне пятизначным числом: две первые цифры представляют собой начальную оцифровку грубого лимба, а три последние — калибровочный отсчет, установленный на точном лимбе.

Проверив установку начального отсчета в положении основного переключателя «Start», начинают измерения, для чего рукоятку насадки «Измерение — калибровка» переводят в положение «М», а основной переключатель — в положение «Measure». Далее процесс измерения продолжается автоматически около 17 с. Затем с экрана отсчетного окна снимают в цифровом виде измеренное расстояние. В заключение производят проверку калибровочного отсчета, для чего рукоятку насадки «Измерение — калибровка» вновь переводят в положение «С».

Методика измерения расстояний другими светодальномерами изложена в [8, 48, 68 и 82].

Откладывание проектных расстояний. При разбивочных работах вынесение проектной длины линии в натуру чаще всего производят

мерными лентами или рулетками [62]. Как правило, проектная длина задается горизонтальным проложением. Поэтому задача сводится к отложению на местности (или по обноскам, панелям, плитам фундаментов и перекрытий) отрезка, горизонтальное проложение которого должно быть равно проектной длине. Проектную длину откладывают сразу (если она меньше мерного полотна) или последовательным уложением мерной ленты или рулетки вдоль заданного направления. При этом измеряют температуру воздуха и нивелированием определяют превышения между характерными точками поверхности. Вычислив поправки за наклон, температуру и компарирование и алгебраически сложив их, получают суммарную поправку, которую с обратным знаком откладывают от конечной точки в соответствующую сторону по направлению линии. Указанную методику можно изменить, вычисляя и вводя поправки непосредственно в процессе отложения линии, что более целесообразно применять, когда проектная длина меньше длины мерного полотна.

Более точное отложение длины линии выполняют другим способом. В натуре откладывают и закрепляют расстояние, близкое к проектному, которое затем точно измеряют и приводят к горизонту. Сравнив найденное горизонтальное проложение с проектным, определяют поправку, которую и откладывают с соответствующим знаком от конечной точки линии. Для контроля отложенную линию измеряют.

Отложение проектных расстояний оптическими дальномерами может быть выполнено непосредственно самими дальномерами (перемещением дальномерной рейки вдоль линии) или, так же как мерными лентами вторым способом. Непосредственное отложение проектного расстояния на любой по сложности местности может быть сделано довольно просто авторедукционными приборами (типа ТА, КА, Дальта, БРТ-006), но получаемая при этом точность, как правило, недостаточна. Применение же для непосредственного отложения проектного расстояния более точных авторедукционных приборов двойного изображения (типа ТП, Редта, ДНР-06) ограничивается из-за невозможности быстрого перемещения и надлежащей установки дальномерной рейки. В связи с этим отложение проектных расстояний оптическими дальномерами производится, как правило, вторым способом. Разность между измеренной и проектной длиной откладывается при помощи рулетки.

В настоящее время для высокоточного отложения сравнительно больших расстояний начинают применяться светодальномеры. Наиболее удобны для этой цели светодальномеры и тахеометры автоматического типа, снабженные отражателями, приспособленными к достаточно быстрой и удобной перестановке (отражатель на легком выдвижном штоке или специальной подставке).

Автоматические дальномеры, измеряющие наклонные расстояния, например Дистомат, позволяют откладывать проектную длину линии вторым способом (с отложением вычисленного домера). Дистомат устанавливается над начальной точкой, а отражатель относится на близкое к проектному расстояние в заданном направлении. Затем это расстояние измеряется Дистоматом по ранее изложенной методике. При этом производится измерение угла наклона линии и вычисляется разность проектного и полученного расстояний. Далее, не выключая прибор, начинают откладывать домер. Для этого основной переключатель измерительного блока (см. рис. 8) ставят в положение «*Measure*», а отражатель переносят вдоль линии. При

переноске надо следить за тем, чтобы отражатель не оставался в ходе лучей дальномера (из-за конструктивных особенностей прибора). Всякий раз, когда отражатель будет вводиться в луч, наблюдатель снимет с табло новое значение домера. Когда значение домера совпадет с расчетным, точка фиксируется по команде наблюдателя. При использовании дальномеров, работающих без плавной перестройки частоты модуляции, например приборов SM-II и Reg Elta-14 величина изменяющегося домера при переноске отражателя считывается с табло непрерывно.

Авторедукционные тахеометры (типа ART и Геодиметра-700) позволяют откладывать проектные расстояния сразу без вычисления домера. При этом величина перемещения отражателя считывается с табло также непрерывно.

Измерение превышений и вынос точки с проектной отметкой

Измерение превышений нивелиром между точками *A* и *B* (рис. 28) выполняется двумя способами: из середины и вперед [22]. При нивелировании из середины (рис. 28, *a*) инструмент устанавливают примерно посередине расстояния *AB*, приводят пузырек

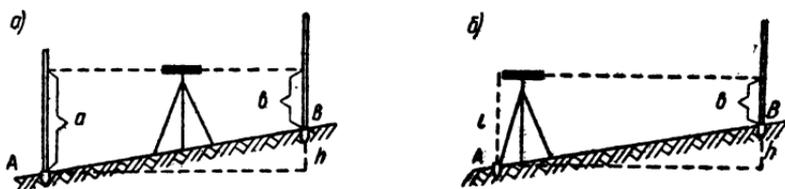


Рис. 28. Измерение превышений нивелиром

a — из середины; *b* — вперед

уровня в нуль-пункт и берут отсчеты *a* и *b* по вертикально установленным рейкам в точках *A* и *B*. Превышение вычисляют по формуле $h = a - b$. При нивелировании вперед (рис. 28, *b*) нивелир устанавливают точно над точкой *A*, измеряют высоту инструмента *i* и берут отсчет *b* по рейке *B*, тогда превышение находится по формуле $h = i - b$.

Измерение превышений круговым тахеометром производится следующим образом [1, 54]. Инструмент устанавливают в точке *A*, а в точке *B* — рейку. Затем по вертикальному кругу измеряют угол наклона α , а по дальномеру — расстояние *D* до рейки.

Тогда

$$h = d \operatorname{tg} \alpha + i - v,$$

где *d* — горизонтальное проложение расстояния *AB*;

i — высота инструмента;

v — высота точки визирования.

При измерении расстояний нитяным дальномером $h' = d \operatorname{tg} \alpha$ находится по таблицам [21], а с использованием дальномерных насадок ДН-04 и ДН-10 — по таблицам [33] по аргументам *D* и α . В случае, когда расстояние не измерилось, а известно горизонтальное про-

ложение d (например, с плана), h' находится по таблицам высот М. А. Савицкого по аргументам d и a .

Измерение превышений авторедукционными тахеометрами выполняется автоматически простым снятием отсчетов по рейке, шкале инструмента или прямо с электронного цифрового табло. Методика измерений такими приборами дана в [32, 55, 75].

Вынос точки с проектной отметкой производится, как правило, нивелиром. Вынести проектную отметку — значит отметить в нату-

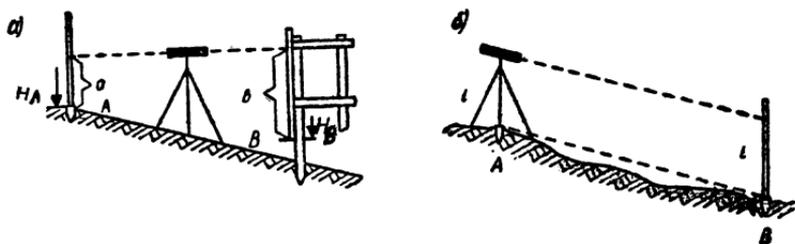


Рис. 29. Вынос в натуру

a — точки; b — линии заданного уклона

ре точку B (рис. 29, а), высота которой H_B над уровнем моря или над условным горизонтом равна заданной. Установив нивелир примерно посередине между репером A с известной отметкой H_A и местом вынесения точки, берут отсчет a по черной стороне рейки, установленной в точке A . Вычислив горизонт инструмента по формуле $ГИ = H_A + a$ и отняв от него значение проектной отметки H_B , находят отсчет b . Далее рейку, установленную в место вынесения точки, перемещают до тех пор, пока горизонтальная нить сетки нитей трубы не совпадет с отсчетом b . В этот момент реечник фиксирует точку B по пятке рейки. Для контроля высоту точки B определяют при другом горизонте инструмента или по красным сторонам реек.

При использовании ленточной рейки конструкции С. М. Рязанова [82] вынос проектной отметки осуществляется без вычисления отсчета b . В этом случае ленточную рейку устанавливают на репере A и, глядя в нивелир, перемещением ленты добиваются такого отсчета, который при вычитании его из исходной отметки дает круглое число. Например, $H_A = 102,32$ м. Тогда нужный отсчет будет 2,32. Затем, поставив в место вынесения точки рейку, двигают ее по вертикали до получения отсчета, равного разности проектной отметкой и тем же круглым числом. Например, $H_B = 101,25$. Значит, перемещают рейку до получения отсчета 1,25. Тогда пятка рейки укажет точку B с проектной отметкой H_B .

Вынос в натуру линии и плоскости заданного уклона

Вынос линии AB с заданным уклоном от твердой точки A (рис. 29, б) начинают с выноса точки B на проектную отметку H_B . Затем, установив нивелир в точке A так, чтобы два подъемных винта его оказались на линии, параллельной AB , наклоняют ими зри-

тельную трубу до получения отсчета на рейке B , равного высоте инструмента i . После этого ставят рейку в створе линии AB последовательно через равные отрезки. Поднимаемая или опускаемая рейку, достигают каждый раз отсчета, равного i , и фиксируют положение пятки кольями. С меньшей точностью задача может быть решена визуально с помощью трех визирок одинаковой длины, две из которых (опорные) устанавливаются в точках A и B , а третья (ходовая) — в промежуточных точках на высотах, задаваемых визирным лучом глаза по опорным визиркам.

Проектную плоскость (заданную тремя точками A , B и C) выносят аналогичным образом. После отыскания и закрепления проектных положений точек B и C в натуре измеряют высоту инструмента i . Затем, действуя подъемными винтами, добиваются методом приближений, чтобы отсчеты по рейкам B и C были равны i , тогда линия визирования окажется параллельной проектной плоскости. Устанавливая теперь на тот же отсчет i рейку в любой точке фигуры ABC , закрепляют положение плоскости в натуре.

При больших уклонах вместо нивелира используется теодолит. В этом случае находят вертикальный угол, отвечающий проектному уклону. Поставив теодолит в начальную точку A откладывают вертикальный угол описанным ранее способом. При необходимости отложение угла повторяют при втором положении вертикального круга. После этого приступают к закреплению линии заданного уклона с помощью визирки, которую последовательно устанавливают в створе, добиваясь такого положения, когда визирный луч теодолита пройдет по ее верхнему срезу.

При использовании лучевых приборов работа по выносу заданного уклона в натуру существенно упрощается, так как во многих случаях отпадает необходимость в закреплении линии кольями (или другими предметами). Сам видимый луч является опорным направлением для производства дальнейших (например, землеройных) работ.

Лазерным нивелиром вынос проектного уклона выполняется так же, как и обычным нивелиром. Отличие состоит в том, что при вынесении точки B на проектную отметку рейка устанавливается не по команде наблюдателя, а самим реечником, который двигает рейку до тех пор, пока световое пятно не окажется на нужном отсчете. Затем, как и ранее, нивелир наклоняют до тех пор, пока световое пятно не упадет на отсчет i , равный высоте инструмента. Это означает, что лазерный луч занял проектное положение.

Лазерным теодолитом опорный луч приводится в проектное положение теми же действиями, как и обычным теодолитом.

При использовании лучевых приборов, снабженных простейшими ориентирными устройствами, целесообразно выносить точку B на проектную отметку обычным или гидростатическим нивелиром (равно как и теодолитом), а затем наводить луч лазера на отмеченную высоту инструмента i , тем самым устанавливая световой луч в проектное положение для дальнейших работ.

Приведение световых опорных плоскостей (например, приборами фирмы «Siemens» и АГА) в проектное положение может быть осуществлено соответствующей установкой их ориентирных устройств или по трем точкам, вынесенным на проектные отметки.

Вынос проектной вертикали

Вынос проектной вертикали производится с помощью обычных нитяных отвесов, лота аппаратами двустороннего визирования, зенит-приборами, а при больших высотах — проекционными и свето-проекционными (лучевыми) приборами.

Лота аппарат при вынесении вертикали обычным образом центрируется над (под) точкой A (рис. 30), после чего движением имеющейся в нем поворотной призмы визирный луч направляется вверх (вниз), где отмечается положение проекции A' точки A .

Зенит-приборам, например PZL, вынос вертикали выполняется следующим образом. Установив штатив с трегером над точкой A и отцентрировав его лота аппаратом, заменяют последний прибором PZL и приводят его в рабочее положение. Над отверстием в перекрытии укрепляют прозрачную пластину (например, из оргстекла). По команде наблюдателя, смотрящего в трубу прибора, помощник фиксирует иглой (карандашом) проекцию креста нитей на прозрачной пластине (точка a на рис. 30). Точки b , c и d наносят таким же образом, поворачивая прибор каждый раз на 90° . Пересечение линий ab и cd даст точку A' , находящуюся на одной вертикали с точкой A .

Методика вертикального проектирования лучевыми зенит-приборами отличается тем, что положение точки на пластине отмечается помощником по световому пятну, а не по команде наблюдателя.

Вертикальный вынос можно осуществить и лазерным теодолитом, например ДКМ-2АЛ, для чего отцентрировав теодолит над точкой A , тщательно нивелируют его и направляют трубу в зенит, отмечая положение светового пятна. При использовании съемной призмы перед объективом передача положения точки по вертикали снизу вверх (или наоборот) выполняется поворотом призмы.

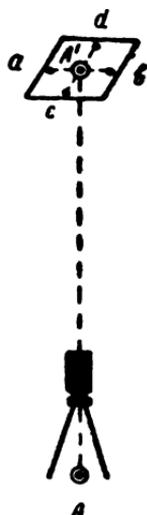


Рис. 30. Вынос проектной вертикали

Измерение малых смещений

Задача измерения малых смещений сводится к измерению отстояния точки от заданного направления (например, створа) либо непосредственно в линейной мере, либо через малый угол, соответствующий этому отстоянию. Для измерения этих величин в плане и по высоте созданы специальные приборы и установки.

Методику измерения малого угла рассмотрим на примере коллиматорного прибора МИИГАНК. Зрительную трубу и марку центрируют над точками, фиксирующими заданное направление. Окулярный микрометр ставят на нуль и трубу наводят на марку. Затем коллиматор с включенным источником света передвигают вдоль выверяемой линии и, останавливая его каждый раз в точках, расположенных через длину базы прибора, окулярным микрометром измеряют углы, соответствующие отстояниям этих точек от задан-

ного направления. Для этого вращением барабана окулярного микрометра совмещают изображение сетки коллиматора с сеткой нитей зрительной трубы и берут отсчет по барабану. Методика измерения смещений в плане и по высоте не имеет принципиальных различий.

При измерении линейных смещений алиниомером Цейсса задаваемое направление также определяется положением визирной оси зрительной трубы, наведенной на марку. Вращением барабана оптического микрометра наклоняют плоскопараллельную пластинку до тех пор, пока изображение точки не совпадет с крестом нитей зрительной трубы. Снятый с барабана отсчет дает величину линейного смещения точки от створа.

Измерение горизонтальных направлений круговыми приемами

Измерение нескольких углов, имеющих общую вершину, часто выполняют по принципу прямых совместных наблюдений (с. 10).

Угол, одна сторона которого является началом счета — радиусом лимба, проходящим через его нулевое деление, а другая — фиксируется отсчетом по этому лимбу, называют направлением. Еще Гаусс (1821 г.) различал «измерения углов, исполненные совместно» (направления) и «измерения углов, исполненные независимо».

Если из данной точки (вершины) при неизменном положении лимба измерить последовательно направления на n предметов A, B, \dots, N , то они определяют собой $\frac{1}{2} n (n-1)$ углов (см. рис. 1, б),

образованных лучами, выходящими из вершины на эти предметы. Действие, результатом которого является ряд независимых направлений — прием. Прием состоит из двух полуприемов, которые отличаются от полуприемов, применяемых при измерении отдельного угла (с. 57), тем, что «замыкают горизонт». В первом полуприеме, вращая алидаду только по ходу часовой стрелки, измеряют последовательно направления $A'_1, B_1, \dots, N_1, A''_1$, а во втором полуприеме, вращая алидаду против часовой стрелки, делают отсчеты $A''_2, N_2, \dots, B_2, A'_2$. Такие полуприемы, в которых начальное направление наблюдается дважды — в начале и в конце полуприема, — называют полуприемами с замыканием, а сам прием — круговым. Разности $A''_1 - A'_1 = \Delta_1$ и $A''_2 - A'_2 = \Delta_2$ называют замыканием соответственно первого и второго полуприемов, а величину $\frac{1}{2} (\Delta_1 + \Delta_2) = \Delta_{\text{ср}}$ — средним замыканием. Результатом приема считают направления A, B, \dots, N , где

$$A = \frac{1}{2} (A'_1 + A''_1); B = \frac{1}{2} (B_1 + B_2) - \frac{\Delta_{\text{ср}}}{n};$$

$$C = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) - 2 \frac{\Delta_{\text{ср}}}{n}; \dots$$

$$\dots N = \frac{1}{2} (N_1 + N_2) - (n-1) \frac{\Delta_{\text{ср}}}{n}.$$

Введение поправки за пезамыкание, равной величине

$$(i-1) \frac{\Delta_{\text{ср}}}{n}$$

для пункта с номером i , направлено на ослабление влияния изменения ориентировки лимба со временем (кручение сигнала, увлечение лимба алидадой). Полученные направления A, B, \dots, N принято считать независимыми и равноточными с весом измерения, равным единице.

Точку, на которой производятся угловые измерения, называют станцией. На станции направления обычно измеряются несколькими приемами с числом направлений в каждом от 2 до n , где n — число всех наблюдаемых на данной станции предметов.

Приемы, содержащие все n направлений, называют полными. Обычно принято считать, что в приеме (i -м) участвуют все n направлений A_i, B_i, \dots, N_i с весами измерений $P_{A_i}, \dots, P_{B_i}, P_{N_i}$. При этом вес пропущенного (не участвующего) в приеме направления равен нулю. Проектируемая для данной станции совокупность приемов (их число и вес участвующих в них направлений) составляют программу измерения направлений (углов).

Число m круговых приемов (полных) при измерении горизонтальных направлений для создания главной плановой основы колеблется от 1 до 10, в зависимости от разряда этой основы и типа применяемого теодолита.

Между приемами лимб сдвигают на угол $\sim 180^\circ/m$ (против часовой стрелки) для того, чтобы ослабить влияние ошибок делений лимба.

Поправки в измеренные расстояния

В непосредственно измеренные расстояния в зависимости от условий их определения вводятся поправки за наклон Δ_h , температуру мерного прибора Δ_t , компарирование Δ_k и приведение к поверхности относимости Δ_H .

Поправка за наклон. Для перехода от наклонной дальности D_ϕ к горизонтальному расстоянию D вводится поправка за наклон

$$(-\Delta_h) = D_\phi - D.$$

В зависимости от измеренных дополнительных (вспомогательных) величин — угла наклона ν или превышения h — вычисления выполняют по формулам

$$(-\Delta_h) = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2};$$
$$(-\Delta_h) = \frac{h^2}{2D_\phi - \Delta_h} = \frac{h^2}{2D_\phi} + \frac{h^4}{8D_\phi^3} + \dots$$

Обычно величина Δ_h выбирается из таблиц.

Поправка за температуру. В фактически измеренное при температуре t расстояние вводят поправку за температуру, определяемую по формуле

$$\Delta_t = [\alpha(t - t_0) + \beta(t^2 - t_0^2)]D_\phi,$$

где α и β — температурные коэффициенты мерного прибора; t_0 — температура компарирования (обычно $t_0 = 20^\circ$). Для стальных проволок (лент) $\alpha = 125 \cdot 10^{-6}$; $\beta = 0$. Для инварных проволок коэффициенты α и β имеют индивидуальное значение, которое должно быть указано в аттестате.

Если коэффициенты α и β отнесены к длине (номинальной) мерного прибора, то

$$\Delta_t = [\alpha(t - t_0) + \beta(t^2 - t_0^2)]n,$$

где n — число отложений мерного прибора на отрезке линии длиной D_ϕ .

Поправка за компарирование. В результате компарирования (см. с. 74) в аттестате указывают поправку

$$\Delta_{k_0} = l_{\text{факт}} - l_{\text{ном}},$$

где $l_{\text{факт}}$ и $l_{\text{ном}}$ — соответственно длина фактическая и номинальная мерного прибора.

Поправка за компарирование в отрезок линии длиной D будет

$$\Delta_k = \Delta_{k_0} n,$$

где n — число отложений мерного прибора на отрезке D .

Поправка за приведение к поверхности относимости. Если H — средняя высота измеренного горизонтального расстояния d , то поправка Δ_H за приведение измеренного отрезка к уровенной поверхности с отметкой H_0 определится приближенной формулой

$$\Delta_H = d_0 - d = \frac{H_0 - H}{6370} d \text{ км.}$$

Для строительных площадок, в пределах которых разность высот точек не превышает 0,5 км поправки Δ_H учитывать не следует.

Полная поправка в измеренное расстояние. В измеренное наклонное расстояние D полная поправка Δ будет

$$\Delta = \Delta_h + \Delta_t + \Delta_k + \Delta_H,$$

т. е.

$$d_0 = D + \Delta.$$

Если на местности от точки A до точки B , отметки которых H_A и H_B (положение точки B известно приближенно) требуется отложить (построить) отрезок $AB = D$, горизонтальное проложение которого на уровенной поверхности с отметкой H_0 равно d_0 , то фактически откладываемое расстояние D определится формулой

$$D = d_0 - \Delta,$$

где

$$\Delta = \Delta_h + \Delta_t + \Delta_k + \Delta_n .$$

При этом поправка Δ_h вычисляется по превышению $h = H_B - H_A$, поправка Δ_t рассчитывается по средней температуре прибора в процессе измерения, поправка Δ_k — выбирается из аттестата и поправка Δ_n вычисляется по разности $(H_0 - H)$, где

$$H = \frac{1}{2} (H_A + H_B).$$

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Общие сведения

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) — это комплекс регламентированных стандартами взаимовыясненных правил и положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений, результаты которых используются государственными предприятиями и организациями СССР.

Общие требования к организации, порядку и методике проведения работ по обеспечению единства измерений регламентируются основополагающими государственными стандартами: ГОСТ 8.000—72, ГОСТ 8.009—72, ГОСТ 8.002—71, ГОСТ 8.011—72, ГОСТ 8.057—73, ГОСТ 8.001—71, ГОСТ 8.010—72, ГОСТ 8.042—72, ГОСТ 8.061—73 и др.

В развитие ГОСТ 1.0—68 ГСИ предусмотрены дополнительные документы: стандарты поверочных схем, государственных эталонов, методов и средств поверки.

Для соблюдения ГСИ в Советском Союзе существует специальная служба метрологического надзора.

Основные положения системы метрологического надзора за средствами измерений (мерами и измерительными приборами, преобразователями, системами), выпускаемыми промышленностью и выходящими из ремонта, поставляемыми по импорту и находящимися в обращении в стране, регламентируются ГОСТ 8.002—71.

Система метрологического надзора включает комплекс правил, положений и требований технического, экономического и правового характера, определяющих организацию и порядок работ по поверке средств измерений и метрологической экспертизы.

Метрологический надзор осуществляется в целях обеспечения единства и достоверности измерений в стране.

К эксплуатации в народном хозяйстве допускаются средства измерений, признанные по результатам метрологического надзора пригодными к применению.

Средства измерений должны подвергаться поверке:

первичной при выпуске их в обращение из производства и ремонта;

периодической при эксплуатации и хранении через определенные межповерочные интервалы с расчетом обеспечения исправности средств измерений на период между поверками;

внеочередной при эксплуатации (хранении) средств измерений вне зависимости от сроков периодической поверки в случаях, определенных п. 1.2.4 ГОСТ 8.002—71;

инспекционной, выполняемой с целью выявления исправности средств измерений, выпускаемых из производства или ремонта и находящихся в обращении на предприятиях, складах и т. д.

Метрологический надзор осуществляется единой метрологической службой страны — Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР) — и состоящей из Государственной метрологической службы Госстандарта СССР и ведомственных метрологических служб министерств и ведомств.

Структура служб и органов метрологического надзора, их права и обязанности, а также порядок разрешения разногласий изложены в ГОСТ 8.002—71.

Поверяются средства измерений согласно требованиям Государственных стандартов на методы и средства поверки, а также по инструкциям Госстандарта СССР, методическим указаниям его метрологических институтов или методическим указаниям (инструкциям) органов ведомственной метрологической службы, разработанным и применяемым в соответствии с порядком, установленным п. 3.1.6 ГОСТ 8.002—71.

Рабочие и образцовые средства измерений в зависимости от области и цели их применения подлежат обязательной государственной поверке, разновидность которой и межповерочные интервалы (для образцовых средств измерения) определены нормативными документами, утвержденными НТК Госстандарта СССР по метрологии 2 ноября 1971 г.

Поверять средства измерений могут только органы метрологической службы, имеющие соответствующее разрешение, выданное в установленном порядке одним из метрологических институтов Госстандарта СССР (ГОСТ 8.002—71).

Порядок передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим мерам и приборам

Государственный эталон угла. Государственный первичный эталон единицы плоского угла — радиан [38, 39] — предназначен для воспроизведения и хранения единицы и передачи ее размера рабочим эталонам.

В комплекс Государственного первичного эталона входит:

36-гранная кварцевая призма № 1;

угломерная автоколлимационная установка (рис. 32), состоящая из фотоэлектрических автоколлиматоров № 1 и № 2 с электронным цифровым отсчетным устройством и устройства для установки и поворота многогранной призмы. Воспроизведение единицы плоского угла осуществляется с погрешностью порядка $9,6 \cdot 10^{-8}$ раз.

В качестве рабочих эталонов применяются кварцевые многогранные призмы (36-, 24-гранные и др. рис. 31). Рабочие эталоны служат для поверки образцовых мер и угломерных приборов.

Эталон сравнения — кварцевые многогранные призмы (36-, 24-гранные и др.) применяются при международных сличениях и других метрологических работах.

Государственный эталон единицы плоского угла хранится во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Рабочие эталоны хранятся в метрологических институтах Госстандарта СССР, республиканских лабораториях Государственного

надзора за стандартами и измерительной техникой (РЛГН) Госстандарта СССР, а также в органах ведомственных метрологических служб по специальному представлению ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и разрешению Госстандарта СССР.

Обеспечение единства угловых измерений. Единство угловых измерений достигается рациональной передачей размеров единиц плоского угла — радиана от Государственного первичного эталона (ГОСТ 8016—72) образцовым мерам и от них рабочим средствам измерений — теодолитам, гониометрам, автоколлиматорам и т. д.

В соответствии с рекомендациями СЭВ по стандартизации РС

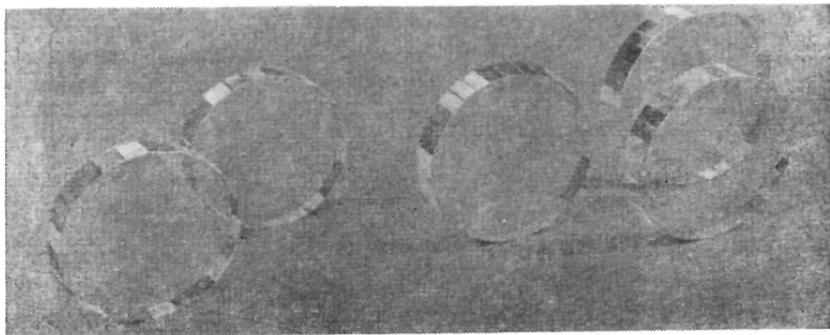


Рис. 31. Кварцевые многогранные призмы

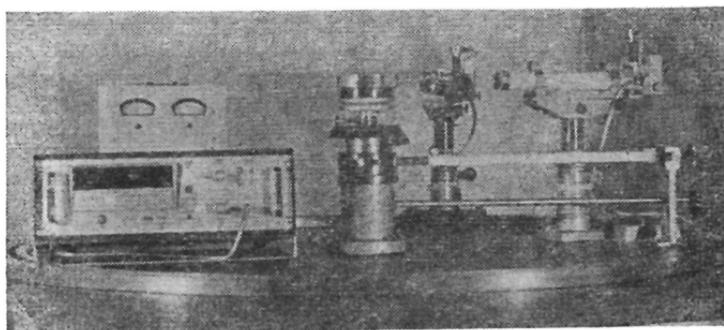


Рис. 32. Угломерная автоколлимационная установка

1922-69 [84], РС 2262-69 [85], а также ГОСТ 8.061—73 поверочная схема для средств измерения плоских углов подразделяется на эталоны, образцовые средства измерений от 1-го до 4-го разрядов и рабочие средства измерений.

Метрологическая аттестация рабочих средств измерения плоских углов производится в метрологических институтах и лабораториях

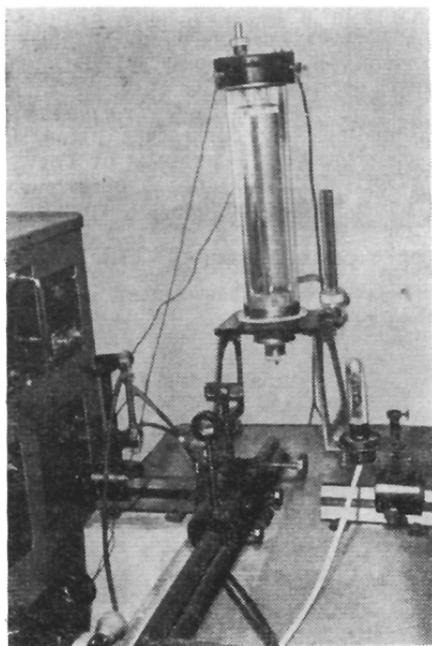


Рис. 33. Эталонная лампа криптона-86

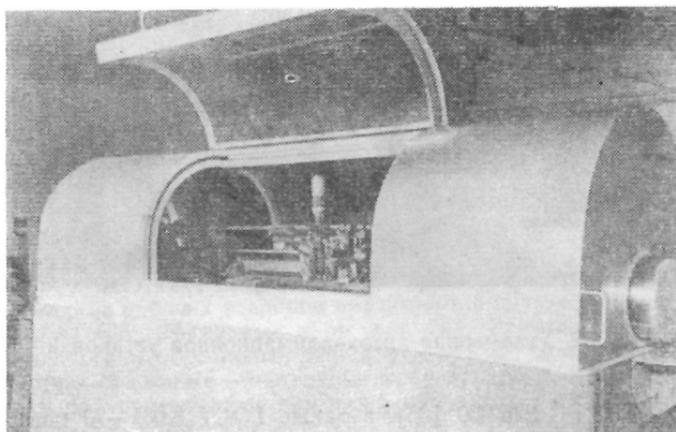


Рис. 34. Эталонный интерферометр (ЭИК-1)

государственного надзора, а также в лабораториях органов ведомственных метрологических служб, предприятий, располагающих необходимыми, в соответствии с поверочной схемой, образцовыми мерами и приборами.

Аттестация средств измерения угла. Поверять теодолиты и другие угломерные приборы допускается кроме методов, указанных в поверочной схеме, также методом калибровки и другими, установленными соответствующими стандартами, например ГОСТ 13424—68.

Государственный эталон длины. Во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева создан и утвержден в качестве Государственного эталона длины комплекс аппаратуры, позволяющий воспроизведение единицы длины — метр интерференционным методом с соблюдением условий спецификации, принятой Международным комитетом мер и весов [11] (рис. 33 и 34).

В состав эталонного комплекса входят: лампа с изотопом криптона-86, разработанная Г. С. Поповым и применяемая в соответствии с требованиями международной спецификации; спектроинтерферометр, служащий для исследования источников эталонного излучения и сравнения длин волн; эталонный интерферометр (ЭИК-1) с фотоэлектрическим микроскопом и рефрактометром; термометрическая аппаратура для измерения температуры мер и воздуха.

Измерения показателя преломления воздуха обеспечиваются с погрешностью не более $2 \cdot 10^{-8}$, а измерения температуры мер с погрешностью $0,002 \div 0,003^\circ \text{K}$.

Перечисленный комплекс аппаратуры обеспечивает воспроизведение единицы длины — метра с относительной погрешностью $2 \cdot 10^{-8}$ и передаче размера единицы вторичным эталонам с погрешностью не более $5 \cdot 10^{-8}$ [12], что удовлетворяет требованиям РС 37-69 [83].

В качестве вторичных эталонов используются платино-иридиевые прототипы — копии международного прототипа метра — штриховые меры М20° и № 11.

Обеспечение единства линейных измерений. Линейные измерения осуществляются штриховыми мерами большой длины. Обеспечение их единства достигается рациональной передачей единицы длины — метра от Государственного первичного эталона к образцовым мерам и от них к рабочим средствам линейных измерений (мерные проволоки, рулетки, землемерные ленты).

В соответствии с рекомендациями по стандартизации СЭВ РС 37-69 [83], а также ГОСТ 8.061—73 поверочная схема для штриховых и концевых мер длины подразделяется на эталоны, образцовые средства измерения от 1-го до 3-го разрядов и рабочие средства измерений.

Аттестуются 24-метровые мерные проволоки и инварные нивелирные рейки во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, в Ленинградском политехническом институте им. М. И. Калинина и в Московском институте инженеров геодезии, аэро съемки и картографии (МИИГАиК). В МИИГАиК определяются также температурные коэффициенты мерных проволок в диапазоне от -10° до $+45^\circ \text{C}$.

Метрологическая аттестация рулеток и землемерных лент проводится во всех лабораториях Государственного надзора Госстандарта СССР.

В табл. 10 приведены краткие справочные сведения о некоторых действующих геодезических компараторах.

Таблица 19

Организация	Геодезический компаратор		Геодезический жезл			
	Тип	Длина, м	Номер	Ранг	Длина, м	Материал
ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (Ленинград)	Оптико-механический	24	1903 Н15	Рабочий эталон То же	4	Инвар
					3	
Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина	То же	24	G14	Образцовый геодезический жезл 1-го разряда	3	Инвар
МИИГАиК (Москва)	*	24	541	Образцовые геодезические жезлы 1-го разряда	3	» Платинит »
			613		3	
			B17		1	

Метрологическая аттестация образцовых мер длины 1-го и 2-го разрядов проводится только во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Аттестация штриховых мер длины. Аттестация 24-метровых проволок. Инварные, суперинварные и стальные мерные проволоки относятся к измерительным приборам подвешенного типа. Рабочей длиной такой проволоки является хорда между определенными штрихами шкал, укрепленных по концам проволоки, находящейся при свободном провесе под натяжением 100 Н.

Для измерения действительной длины таких проволок [76] применяются 24-метровые геодезические компараторы, длина которых определяется с относительной погрешностью порядка $0,4 \cdot 10^{-6}$ посредством образцовых геодезических жезлов (штриховых мер) 1-го разряда (ГОСТ 12069—66) длиной до 4 м. Относительная средняя квадратическая погрешность определения длины 24-метровой проволоки составляет $(0,8 \div 2) \cdot 10^{-6}$.

Аттестация измерительных рулеток. *Металлические рулетки* (ГОСТ 7502—69) поверяются в соответствии с поверочной схемой, приведенной выше, при этом применяются методы метрологической аттестации, изложенные в Инструкции 89-64 [41].

Допускаемые отклонения действительной длины шкал рулеток от номинального значения не должны превышать указанных в табл. 11 (п. 2.21, табл. 12, ГОСТ 7502—69).

Отклонения расстояния между началом шкалы и любым промежуточным штрихом от номинального значения, исключая первый дециметр, не должны превышать отклонений, соответствующих ближайшим размерам шкалы, указанным в табл. 11.

Требования, указанные в табл. 11 (согласно п. 2.22 ГОСТ 7502—69), относятся к температуре 20°C и натяжению ленты, равному 100 Н для лент длиной более 10 м и 50 Н для лент длиной до 10 м. Для рулеток типов РЖ и РГЖ натяжение ленты не устанавливается. Рулетки типа РЛ натягиваются грузом, масса которого равна массе лота (груза).

Таблица 11

Подразделения шкалы	Допускаемые отклонения действительной длины шкал металлических рулеток, (\pm) мм, не более			
	1-го класса	2-го класса	3-го класса	
			все типы рулеток, кроме РГЖ	РГЖ
Общая длина:				
1 м	—	—	0,4	—
2 »	—	0,4	0,8	—
5 »	—	1	2	—
10 »	0,5	1	2,5	—
20 »	1	2	4	10
30 »	—	3	5	15
40 »	—	—	—	20
50 »	2	5	7,5	—
75 »	—	7,5	10	—
100 »	—	10	14	—
Отдельное дециметровое и метровое	0,2	0,3	0,4	2
Отдельное сантиметровое	0,1	0,2	0,3	—
Отдельное миллиметровое	0,05	0,1	0,2	—

Неметаллические рулетки (ГОСТ 11900—66) поверяются путем сличения на горизонтальной плоскости с образцовой рулеткой 3-го разряда.

Допускаемые отклонения действительной длины шкал рулеток от номинального значения не должны превышать величин, указанных в табл. 12 (табл. 6 ГОСТ 11900—66).

Таблица 12

Подразделения шкал	Допускаемые отклонения действительной длины, шкал неметаллических рулеток, мм, не более	
	РТ	РП
Номинальная длина:		
1 м	—	± 1
1,5 »	—	± 3
2 »	—	± 3
3 »	± 3	—
5 »	± 5	—
10 »	± 10	—
20 »	± 15	—
Отдельные сантиметровые, дециметровые и метровые	± 1	± 1

Требования, указанные в табл. 12, относятся к температуре 20°С и натяжению ленты, равному 20 Н для рулеток РТ-20 и для рулеток РТ-3, РТ-5, РТ-10 и рулеток типа РП.

Отклонения расстояний между началом шкалы и любым промежуточным штрихом от номинального значения не должны превышать отклонений, соответствующих ближайшим размерам шкалы, указанных в табл. 12.

Аттестация землемерных лент. Землемерные ленты (ГОСТ 10815—64) поверяются сличением на горизонтальной плоскости с образцовой рулеткой 3-го разряда по методике, изложенной в Инструкции 87-65 [38].

Допускаемые отклонения действительной длины землемерных лент от номинального значения на плоскости при натяжении 98—100 Н и при температуре 20° С не должны превышать величин, указанных в табл. 13 (табл. 2 п. 7 раздела III Инструкции 87-65).

Таблица 13

Подразделения шкалы	Допускаемые отклонения действительной длины шкал землемерных лент, мм	
	ЛЗ	ЛЗШ
Номинальная длина:		
20 м	±2	±1
24 »	±2	±2
50 »	±2	±3
Отдельные дециметровые и метровые	±0,5	±0,3
Отдельные сантиметровые	—	±0,2
Отдельные миллиметровые	—	±0,1

Отклонения действительного значения длины (более 3 м), измеряемой от любого подразделения до ближайшего конца ленты, от ее номинального значения не должно превышать половины допуска на общую длину. Отсчет производится посредством лупы с точностью 0,1 мм.

При обработке результатов измерений учитываются поправки на общую длину ленты и на отдельные подразделения образцовой рулетки.

Действительная длина поверяемой землемерной ленты определяется как сумма длин поверенных отдельных частей ленты. Температура помещения, в котором поверяются землемерные ленты, не должна отличаться от 20° С более чем на ±5°.

Таблица 14

Тип ленты	Условное обозначение лент по ГОСТ 10815—64	Предел измерения, м
ЛЗ	ЛЗ-20	20
ЛЗ	ЛЗ-24	24
ЛЗ	ЛЗ-50	50
ЛЗШ	ЛЗШ-20	20
ЛЗШ	ЛЗШ-24	24
ЛЗШ	ЛЗШ-50	50

В табл. 14 приведены типы землемерных лент, на которые распространяется действие Инструкции 87-65. Инструкция 87-65 распространяется также на землемерные ленты типа ЛЗ, изготовленные до введения в действие ГОСТ 10815—64.

Аттестация нивелирных реек. Для определения метрологических параметров нивелирных реек (ГОСТ 11158—65) сличают их шкалы с соответствующими образцовыми штриховыми мерами. Метод и средства поверки нивелирных реек всех типов, выпускаемых из производства и после ремонта, регламентируются ГОСТ 15096—69.

Аттестация фазовых светодалномеров. Метрологические параметры фазовых светодалномеров. Величина абсолютной погрешности (согласно ГОСТ 16263—70) расстояния измеренного фазовым светодалномером σl зависит от стабильности и воспроизводимости следующих метрологических параметров [50, 51]: длины волны излучения — λ ; частоты модуляции излучения — f ; градуировочной кривой фазовращателя — $\Delta\varphi(\varphi, f, \Phi)$, где φ — фа-

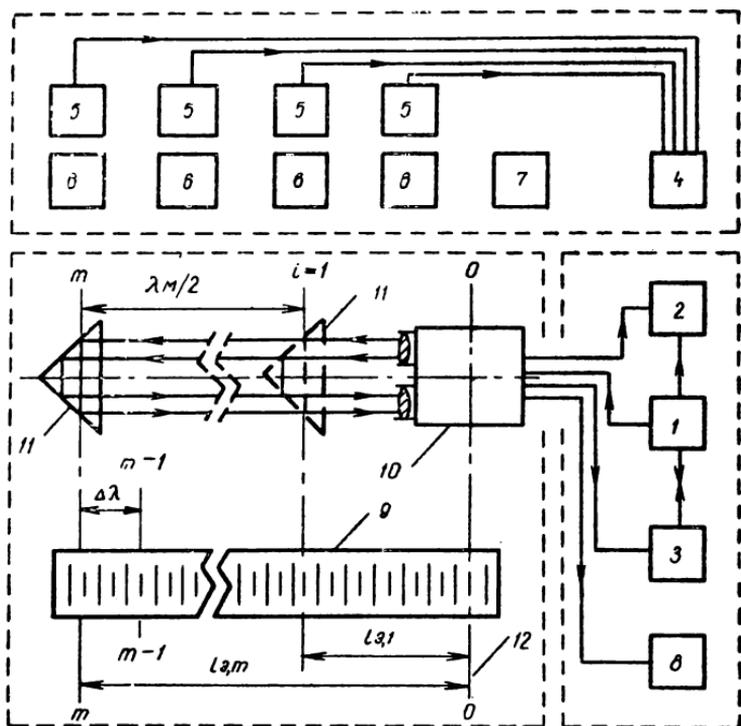


Рис. 35. Функциональная схема макета лабораторного комплекса для проверки светодалномеров

1 — аппаратура стабилизированного энергоспитания; 2 — аппаратура для эталонирования частот модуляции ($\delta_f = 1 \cdot 10^{-7}$); 3 — приборы контроля электрических параметров; 4 — термометрическая установка ($\Delta t = \pm 0,05^\circ \text{C}$); 5 — термодатчики; 6 — ртутные барометры ($\Delta p = \pm 13,3 \text{ Па}$); 7 — аспирационный психрометр ($\Delta e = \pm 133,3 \text{ Па}$); 8 — вспомогательное устройство для точной индикации фазы сигнала поверяемого светодалномера; 9 — калибровочная база макета поверочной установки (образцовая мера 1-го разряда, $\Delta l_3 = \pm 0,05 \text{ мм}$); 10 — светодалномер; 11 — отражатель; 12 — начало отсчета образцовой длины (ось 00)

зовый угол, Φ — величина светового потока на входе фотоприемника; «постоянной» светодальномера — K , зависящий от ряда переменных.

Суммарная погрешность аттестации метрологических параметров светодальномера, придерживаясь п. 2.4 [83], не должна превышать $1/3 \sigma_l$.

В основу аттестации фазовых дальномеров по параметрам K и $\Delta\phi(\phi, f, \Phi)$ положена длина фазового цикла модуляции светового потока — $\lambda_m/2$, при этом $\lambda_m = c_0/(nf)$, где n — показатель преломления воздуха, а c_0 — скорость света в вакууме.

Методы и средства метрологической аттестации светодальномеров, основанные на этом принципе, впервые разработаны канд. техн. наук А. В. Котковым [50, 51, 52, 87, 88, 89] и кратко изложены ниже.

Факультативная (согласно ГОСТ 8.002—71) метрологическая проверка фазовых светодальномеров производится на действующем макете экспериментального лабораторного комплекса [50] во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (рис. 35), начиная с 1970 г.

Метрологическая аттестация длины волны и излучения. Для вычисления группового показателя преломления воздуха с целью определения рабочей скорости света необходимо знать длину волны излучения в вакууме.

В современных светодальномерах применяются два типа источника излучения: когерентные, к которым в рассматриваемом случае относятся газовые квантовые генераторы (ОКГ); некогерентные полупроводниковые излучатели, газоразрядные лампы и лампы накаливания.

В светодальномерах с нестабилизированными газовыми ОКГ значение λ , записанное в паспорт излучателя, обеспечивает измерение длины с относительной погрешностью $\leq 10^{-6}$. В светодальномерах с источниками некогерентного излучения при производстве высокоточных работ ($\leq 10^{-5}$) следует периодически определять эффективную длину излучения $\lambda_{эф}$.

Метрологическая аттестация частоты модуляции. В светодальномерах в зависимости от конструкции и класса их точности блоки частоты можно условно подразделить на две категории: частотомеры электронно-счетного типа; кварцевые генераторы частоты.

Частотомеры электронно-счетного типа, встроенные в светодальномеры, подлежат периодической метрологической аттестации в соответствии с требованиями ГОСТ 13305—67 и ГОСТ 14173—69.

Светодальномеры, имеющие кварцевые генераторы частоты, должны периодически эталонироваться посредством аттестованных

Т а б л и ц а 15

Тип прибора	Диапазон частот	Погрешность измерений	Нестабильность частоты кварцевого генератора	Величина входного сигнала
ЧЗ-12	10 Гц—10 МГц	$\pm 1 \cdot 10^{-7} \pm 1$ ед. счета	$\pm 3 \cdot 10^{-8}$ за 24 ч	0,1—100
ЧЗ-30	10 Гц—540 МГц	$\pm 1 \cdot 10^{-7} \pm 1$ ед. счета	$\pm 4 \cdot 10^{-7}$ > 6 мес.	0,1—100
ЧЗ-34	10 Гц—120 МГц	$\pm 2 \cdot 10^{-7} \pm 1$ ед. счета	$\pm 2 \cdot 10^{-7}$ > 24 ч	0,1—100

(см. ГОСТ 13305—67, ГОСТ 14173—69) частотомеров. В табл. 15 приведены краткие технические характеристики некоторых типов электронно-счетных частотомеров, которые могут быть рекомендованы в качестве образцовых приборов при аттестации кварцевых генераторов частоты светодальномеров.

Частота кварцевых генераторов аттестуется в соответствии с требованиями технических условий (ТУ) на поверяемые светодальномеры.

Метрологическая аттестация фазовращателей светодальномеров. Погрешность i -го деления шкалы фазовращателя находится из уравнения [52]

$$\Delta\varphi_i = \frac{C_0}{720^\circ n f} \left[(\varphi_i - \varphi_0) - \frac{360^\circ}{m} i \right], \quad (13)$$

где φ_0 — значение фазового угла, соответствующее положению нулевого деления фазовращателя на калибровочной базе;

φ_i — значение фазового угла, соответствующее положению i -го аттестуемого деления на калибровочной базе;

m — число делений шкалы аттестуемого фазовращателя;

i — порядковый номер аттестуемого деления.

Деления шкалы фазовращателя аттестуются при постоянном значении Φ для каждой модулирующей частоты f_i . По результатам аттестации (относительно среднего значения функции $\bar{\Delta\varphi}$) строится график поправок $\Delta\varphi(\varphi, f)$. Величина $\bar{\Delta\varphi}$ при постоянном шаге квантования в пределах шкалы фазовращателя (в пределах $\lambda_m/2$) вычисляется по формуле

$$\bar{\Delta\varphi} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta\varphi_i. \quad (14)$$

Погрешность аттестации фазовращателя на упомянутом макете поверочной установки обеспечивается в пределах $\sigma\Delta\varphi = \pm(0,1 \div 0,05)\sigma$ (в мм) в зависимости от типа светодальномера.

В качестве примера на рис. 36 приведен график поправок $\Delta\varphi(\varphi, f)$ фазовращателя светодальномера типа ЕОК-2000. График прилагается к свидетельству о метрологической аттестации светодальномера (с. 84).

Поскольку аттестация делений шкалы фазовращателей возможна только на специализированной поверочной установке, ее методика не приводится в настоящем разделе.

Определение «постоянной» поправки K фазового светодальномера. Значение K находится равноточными измерениями в m точках фазового цикла $\lambda_m/2$, распределенных с постоянным шагом квантования

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_m}{2(m-1)}.$$

Величина K вычисляется по формуле

$$K = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{K}_i, \quad (15)$$

где \bar{K}_i — осредненное значение «постоянной» поправки светодальномера для i -й точки фазового цикла при некотором постоянном значении светового потока Φ на входе фотоприемника. Значение \bar{K}_i определяется по формуле

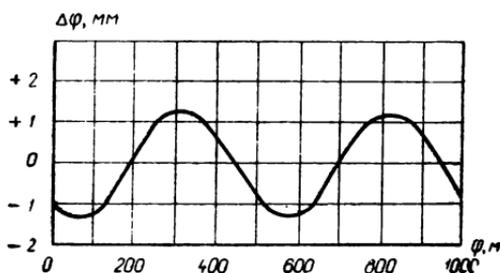


Рис. 36. График кривой градуировки фазовращателя светодальномера

$$\bar{K}_i = l_{\varepsilon_i} - \frac{1}{n'} \sum_1^{n'} l_{i_{\text{пзм}}},$$

где l_{ε_i} — i -е образцовое расстояние, воспроизведенное независимым способом на калибровочной базе макета поверочной установки (см. рис. 35) с погрешностью $\Delta l_{\varepsilon} = \pm 0,05$ мм;

$l_{i_{\text{пзм}}}$ — значение i -го образцового расстояния, найденное в результате n' равноотстоящих светодальномерных измерений.

Ориентировочное число измерений n' разностей фаз регламентируется величиной допустимой погрешности аттестации $\sigma K_{\text{доп}} \leq r\sigma l$, где $r = 0,05 \div 0,1$ в зависимости от методики измерений. Значение

$$n' \approx \left(\frac{\Delta \varphi_n}{\sigma K_{\text{доп}}} \right)^2,$$

где $\Delta \varphi_n$ — погрешность однократной индикации разности фаз сигналов, величина которой соответствует выбранному методу индикации и типу светодальномера.

В табл. 16 приведены ориентировочные значения n' для некоторых типов светодальномеров, эталонирование которых осуществляется на макете упомянутой установки.

Тип прибора	σl , мм	$\sigma K_{\text{доп}}$, мм	$\Delta \varphi_n$		n'
			градусы	мм	
ЕОК-2000	10	$\pm 0,5$	$\pm 0,03$	$\pm 0,4$	1
ДНК-02	14	$\pm 0,7$	$\pm 0,06$	$\pm 0,7$	1
КДГ-3 (СМ-3)	11	$\pm 0,6$	$\pm 0,31$	$\pm 4,3$	50

Общее число l_{ε_i} в пределах $\lambda_m/2$ равно m . При этом каждое следующее образцовое расстояние начиная от l_{ε_1} , т. е. l_{ε_2} ; ...; $l_{\varepsilon_{m-1}}$; l_{ε_m} , отличается на величину, кратную $\Delta\lambda = \text{const}$. Так $l_{\varepsilon_2} = l_{\varepsilon_1} + \Delta\lambda$;

$l_{\varepsilon_3} = l_{\varepsilon_1} + 2\Delta\lambda$; ...; $l_{\varepsilon_m} = l_{\varepsilon_1} + (m-1)\Delta\lambda$. Здесь обязательным является выполнение условия

$$(m-1) \Delta\lambda = \frac{\lambda_m}{2}.$$

Рекомендуемая величина $\Delta\lambda = 36^\circ$. Следует иметь в виду, что l_{ε_1} — это образцовое расстояние от аттестуемого светодалномера до первой точки фазового цикла модуляции, воспроизведенное на калибровочной базе (см. рис. 35).

При метрологическом обеспечении высокоточных линейных измерений следует определять «постоянную» светодалномера для различных дискретных значений светового потока Φ_j на входе фотоприемника в рабочем диапазоне $\Phi_{\text{мин}} \div \Phi_{\text{макс}}$. Для светодалномеров типа КДГ-3 (СМ-3) и ДНК-02 определяется K для порогового значения сигнала светового потока.

При измерениях в пределах $\lambda_m/2$ при некотором дискретном значении Φ_j обязательным условием правильного определения величины K является:

строгое соблюдение взаимного равенства сигналов с дистанции $\Phi_{i_{c,d}}$ и с призмы нулевого отсчета $\Phi_{i_{c,n}}$, т. е. $\Phi_{i_{c,d}} = \Phi_{i_{c,n}} = \text{const}$; постоянство избранного уровня Φ_j при измерениях во всех i -х точках фазового цикла, т. е. $\Phi_{i_1} = \Phi_{i_2} = \dots = \Phi_{i_m} = \text{const}$.

Погрешность аттестации параметра «постоянной» поправки фазового светодалномера с фиксированными частотами модуляции на упомянутом выше макете поверочной установки обеспечивается в пределах $\sigma K \leq \pm 0,1 \sigma l$ мм.

Величина «постоянной» K светодалномера записывается в свидетельстве о его метрологической аттестации.

Определение «постоянной» светодалномера в полевых условиях. Изложенная выше методика может быть применена для оперативного контроля параметра K в условиях производства полевых работ [51]. В этом случае воспроизведение фазового цикла модуляции $\lambda_m/2$, в пределах которого производятся измерения величин K_i , осуществляется посредством штриховой

аттестованной рулетки (рекомендуется применять образцовую рулетку не ниже 3-го разряда, $\delta l_s = \pm(10+10^{-6} l)$ мкм), удаленной от поверяемого светодалномера на величину образцового расстояния $l_{э, м} = l_{э, м, доп}$.

При определении K в полевых условиях следует ограничить действие суммарной относительной погрешности $\delta_{\Sigma}^2 = \delta_{c_0}^2 + \delta_n^2 + \delta_f^2$ (где δ_{c_0} , δ_n , δ_f — относительные погрешности вследствие неточного определения соответственно скорости света в вакууме, показателя преломления воздуха и частоты модуляции) путем нормирования величины $l_{э, м, доп} = \sigma l_{доп} / \delta_{\Sigma}$, на которую удаляется от поверяемого дальномера точка m фазового цикла (см. рис. 35). В табл. 17 для

Таблица 17

Тип свето- дальномера	δ_{c_0}	При δ_n		δ_f (согласно ТУ)	δ_{Σ}	$\sigma l, \text{ мм}$	$\sigma l_{доп} \equiv$ $0,01 \sigma l, \text{ мм}$	$l_{э, м, доп} \leq$ $\sigma l_{доп} / \delta_{\Sigma},$ м
		$\Delta t = \pm$ $\pm 1^{\circ} \text{ C}$	$\Delta p = \pm$ $\pm 133,3 \text{ Па}$					
КДГ-3(СМ-3)	$0,004 \cdot 10^{-6}$	$1,005 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-6}$	11	0,11	≤ 78	
ДНК-02	$0,004 \cdot 10^{-6}$	$1,005 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,33 \cdot 10^{-6}$	14	0,14	≤ 42	
МСД-1М	$0,004 \cdot 10^{-6}$	$1,005 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$4,81 \cdot 10^{-6}$	2	0,02	≤ 4	
ЕОК-2000	$0,004 \cdot 10^{-6}$	$1,005 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-6}$	10	0,1	≤ 90	
Д1-10	$0,004 \cdot 10^{-6}$	$1,005 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-6}$	10	0,1	≤ 90	

некоторых типов светодалномеров и $\sigma l_{доп} = 0,01 \sigma l$ приведены ориентировочные значения $l_{э, м, доп}$, в пределах которых $\delta_{э} l_{э, м, доп} \leq \sigma l_{доп}$. Воспроизведение образцовой длины $l_{э, м, доп}$ должно быть обеспечено с относительной погрешностью порядка $\delta_l \leq 2,5 \cdot 10^{-6}$.

Значения образцовых расстояний $l_{э1}; l_{э2}; \dots; l_{эm-1}; l_{эm-2}$ определяются относительно точки m (т. е. $l_{э, м, доп}$) посредством упомянутой образцовой штриховой меры, предназначенной для воспроизведения фазового цикла модуляции $\lambda_m/2$, т. е. $l_{эm-1} = l_{э, м, доп} - \Delta\lambda$; $l_{эm-2} = l_{э, м, доп} - 2\Delta\lambda$ и т. д. вплоть до $l_{э1} = l_{э, м, доп} - (m-1)\Delta\lambda$.

При проведении измерений, в дополнение к рекомендациям предыдущего раздела, строго соблюдаются следующие общие условия: электрические параметры светодалномера должны соответствовать требованиям ТУ; приемопередатчик и комплектный отражатель тщательно центрируются и взаимно ориентируются (последнее по максимуму принятого сигнала);

ориентировочное число измерений n' определяется согласно табл. 18, а также по формуле (15)*.

Одним из приемов контроля правильности определения K является совпадение величин \bar{K}_i в точках фазового цикла $i=1$ и $i=m$, т. е. $\bar{K}_1 \approx \bar{K}_m$. Величина допустимого расхождения $\Delta_K = |\bar{K}_m - \bar{K}_1| \approx \approx 0,1 \sigma l$.

Тип прибора	σl , мм	$\sigma k_{\text{доп}}$, мм	$\Delta \varphi_n$		n'
			градусы	мм	
ЕОК-2000	10	± 1	$\pm 0,1$	$\pm 1,4$	≥ 2
ДНК-02	14	$\pm 1,4$	$\pm 0,9$	$\pm 12,5$	≥ 81
КДГ-3 (СМ-3)	11	$\pm 1,1$	$\pm 1,5$	$\pm 20,1$	≥ 330
Д1-10	10	± 1	$\pm 0,1$	$\pm 2,8$	≥ 8
МСД-1, МСД-1М	2	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,9$	≥ 20

Стабильность и воспроизводимость метрологических параметров светодалномера. В процессе эксплуатации светодалномеров, вследствие разъюстирования или замены вышедших из строя отдельных узлов и деталей происходит уход метрологических параметров от номинала, что влияет на абсолютное значение K , а следовательно, на стабильность ΔK_S и воспроизводимость ΔK_W «постоянной» поправки K .

Стабильность выражается уравнением

$$\Delta K_S = |K_{\tau_1} - K_{\tau_0}|,$$

где K_{τ_1} и K_{τ_0} — значения «постоянных» поправок, определенные по стандартной методике в моменты времени τ_1 и τ_0 .
Величина воспроизводимости

$$\Delta K_W = |K_2 - K_1|,$$

где K_2 и K_1 — «постоянные», абсолютные значения которых были определены в различных аттестационных условиях при нарушении комплектности светодалномера, после ремонта или после замены его отдельных узлов и деталей.

Стабильность и воспроизводимость «постоянных»* светодалномеров хорошо исследованы [51], что позволяет отметить следующее:

1. При условии неизменности состава комплектных отражателей и содержания в номинале энергетических, оптико-механических и электрических параметров светодалномера абсолютная величина стабильности ΔK_S значения K соизмерима с погрешностью метода ее определения.

2. В процессе эксплуатации светодалномера происходит уход параметров его узлов и деталей от номинала, вследствие чего абсолютная величина стабильности «постоянной» поправки нели-

* Определение значений «постоянных» светодалномеров с плавным генератором модулирующих частот (типа ТД-2, СТ-62 и т. п.) производится по методикам, приведенным в технических описаниях этих приборов.

пейно и систематически увеличивается и может превысить абсолютное значение погрешности метода определения K . Для предотвращения такого положения светодалнономер должен подвергаться периодической метрологической аттестации.

3. После ремонта или замены каких-либо узлов, деталей или комплектных отражателей изменяется абсолютное значение K , в связи с чем абсолютная величина воспроизводимости ΔK_w может *значительно превысить* величину погрешности определения K .

Таким образом, во всех перечисленных случаях светодалнономерный комплект (приемопередатчик и его комплектные отражатели) должен подвергаться внеочередной метрологической аттестации.

Ниже приведен образец свидетельства о метрологической аттестации светодалномера.

**Свидетельство
о факультативной метрологической аттестации
светодалномера ЕОК-2000 № 059646**

1. Длина волны излучения люминесцентного диода № 1325; $\lambda=0,91$ мкм.

2. Частоты модуляции, Гц:

при $t=+15^\circ\text{C}$ $f_1=29971141$; $f_2=32968255$; $f_3=30270852$;

при $t=+22^\circ\text{C}$ $f_1=29971116$; $f_2=32968211$; $f_3=30270824$.

3. График градуировочной кривой фазовращателя светодалномера дан (см. рис. 36) для $f_1=29971116$ Гц; $t=+22^\circ\text{C}$; $p=10,15$ кПа; $e=0,15$ кПа.

4. «Постоянные» светодалномера для $t=+22^\circ\text{C}$; $p=10,15$ кПа; $e=0,15$ кПа

Номер комплектного отражателя	Световой поток, %	$K \pm \sigma K$, мм
3128	30	$+160,7 \pm 0,1$
	40	$+156,5 \pm 0,1$
	50	$+152,9 \pm 0,1$
	60	$+150,4 \pm 0,1$
	70	$+148,5 \pm 0,1$
	80	$+147,3 \pm 0,1$
	90	$+146,6 \pm 0,1$

5. Отсчет по фазовращателю при измерениях сигнала с призмы нулевого отсчета при $t=+22^\circ\text{C}$:

$\varphi_1=75$ на частоте f_1 ; $\varphi_2=73$ на частоте f_2 ; $\varphi_3=73$ на частоте f_3 .

6. Общие условия аттестации светодалномера:

а) напряжение источника питания $u=12\text{ В} \pm 0,1\text{ В}$;

б) положение регулятора напряжения на ФЭУ-тип — положение «1».

12 июня 1973 г.
Гербовая печать

Подписи руководителя метрологического подразделения и Госповерителя, производившего поверку светодалномера

5. РАБОЧИЕ ПОВЕРКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Рабочие поверки нивелиров

Для обеспечения единства и достоверности измерений, производимых нивелирами (ГОСТ 10528—69) необходимо, чтобы соблюдались следующие условия. ось LL'' цилиндрического уровня была перпендикулярна, а ось L_1L_1' круглого уровня параллельна вертикальной оси VV' прибора ($LL' \perp VV'$; $L_1L_1' \parallel VV'$); горизонтальная нить aa' сетки была перпендикулярна оси VV' ($aa' \perp VV'$); визирная ось трубы ZZ' была параллельна оси LL' ($ZZ' \parallel LL'$).

Методика рабочих поверок нивелиров и основных их узлов широко известна [30, 44].

Рассмотрим поверку нивелира глухого типа:

1. Поверка условия $LL' \perp VV'$. Устанавливают ось LL' параллельно двум подъемным винтам, вращая винты в противоположные направления, выводят пузырек уровня на середину; поворачивают подставку с уровнем вокруг оси VV' на 90° и третьим подъемным винтом снова выводят пузырек уровня на середину. Далее поворачивают трубу вокруг оси VV' на 180° и, в случае ухода пузырька от нуля-пункта, возвращают его на половину отклонения с помощью вертикального исправительного винта при уровне. Окончательная установка пузырька уровня на середину (вторая половина отклонения) осуществляется посредством подъемного винта.

Для нивелира с элевационным винтом поверка условия $LL' \perp VV'$ не обязательна.

2. Поверка условия $L_1L_1' \parallel VV'$. По исправленному цилиндрическому уровню нивелируют инструмент и исправительными винтами при сферическом уровне пузырек его приводят на середину.

3. Поверка условия $aa_1 \perp VV'$. На рейку, находящуюся на расстоянии 20—30 м от нивелира, наводят зрительную трубу так, чтобы изображение рейки вначале было слева (справа), а потом справа (слева) поля зрения, затем после каждого наведения берут отсчет по рейке. Отсчеты должны быть одинаковыми. В случае их неравенства производят исправление, для чего путем ослабления винтов, соединяющих окуляр с трубой, и последующего вращения окулярного патрубка устанавливают перекрестие сетки нитей на средней отсчет. После исправления винты закрепляют.

4. Поверка условия $ZZ' \parallel LL'$. Производят двойное нивелирование между точками A и B , расположенными на расстоянии 70—80 м. В точке A устанавливают в рабочее положение нивелир, измеряют его высоту i_A , берут отсчет b по рейке, находящейся в точке B . Меняя места нивелир и рейку, соответственно определяют величины i_B и a (отсчет по рейке). Затем вычисляют разность X по формуле

$$X = \left[\frac{a+b}{2} \right] - \left[\frac{i_A + i_B}{2} \right],$$

которая для нивелиров технической точности не должна быть более 4 мм. При $X > 4$ мм необходимо горизонтальную нить сетки установить на отсчет по рейке в точке A , равный $a - X$. У нивелира с элевационным винтом такую операцию выполняют при помощи элевационного винта, а затем сместившийся пузырек цилиндрического уровня возвращают на середину вертикальным исправительным винтом при уровне. У нивелира без элевационного винта исправление производят при помощи исправительных винтов при сетке нитей.

Высокоточные нивелиры поверяют тремя приемами. Для каждого приема получают прямое и обратное превышения, которые позволяют определить угол i между визирной осью трубы и осью уровня:

$$i = \frac{[(i_A + i_B) - (a + b)] \rho''}{2d},$$

где d — расстояние между точками A и B , равное примерно 50 м.

Расхождение между углами i , полученными для каждого приема, не должно превышать $4''$. При $i > 20''$, элевационным винтом устанавливают горизонтальную нить сетки на отсчет по рейке, установленной в точке A , равный $(a + d)i''/\rho''$, а затем вертикальными исправительными винтами при уровне выводят пузырек цилиндрического уровня на середину.

Рабочие поверки теодолитов

Единство и достоверность угловых измерений, выполняемых теодолитами (ГОСТ 10529—70), достигается, если соблюдать следующие условия:

1. Плоскость горизонтального лимба перпендикулярна вертикальной оси инструмента, а плоскость вертикального лимба — оси вращения трубы.

2. Ось цилиндрического уровня LL' на алидаде горизонтально круга перпендикулярна, а ось L_1L_1' сферического уровня — параллельна вертикальной оси VV' прибора ($LL' \perp VV'$ и $L_1L_1' \parallel VV'$).

3. Вертикальная визирная нить bb' перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы HH' ($bb' \perp HH'$).

4. Визирная ось трубы ZZ' перпендикулярна ее горизонтальной оси вращения HH' ($ZZ' \perp HH'$).

5. Ось вращения HH' трубы перпендикулярна вертикальной оси VV' инструмента ($HH' \perp VV'$).

6. Ось вращения алидады горизонтального и вертикального кругов проходит соответственно через центры горизонтального и вертикального лимбов.

7. Окулярное или объективное фокусирующее колено или патрубк с фокусирующей линзой имеют правильный ход.

8. Место нуля (М0) или место зенита (МЗ) равно или близко к нулю.

Необходимо отметить также, что при выполнении точных угловых измерений следует определять полные погрешности диаметров горизонтальных кругов (лимбов) теодолитов, методика исследования которых регламентируется ГОСТ 13424—68.

Специальные теодолиты, например ТБ-3, поверяются согласно методике, приведенной в их технических описаниях.

Поверка по способу Г. Ф. Лысова оси цилиндрического уровня (см. п. 2) выполняется в следующем порядке: угломерный прибор устанавливают так, чтобы плоскость лимба была наклонена к горизонту не более чем на 2° ; затем вращают алидаду с уровнем до выхода пузырька на середину и берут отсчет по горизонтальному кругу ($36^\circ 18'$). Продолжают вращать алидаду до второго выхода пузырька уровня на середину и делают второй отсчет ($218^\circ 02'$); устанавливают алидаду на средний отсчет $\pm 90^\circ (37^\circ 10')$ и приводят исправительным винтом пузырек уровня на середину. Способ этот не требует последовательных приближений, не зависит от хода подъемных винтов, неравенства расстояний между ними и непараллельности оси уровня направлению соединяющей их прямой.

Выполнение проверок теодолита

Поверка условия 1. В случае перпендикулярности плоскости лимба и вертикальной оси VV' может образоваться при вращении алидады вокруг ее оси между лимбом и верньером вертикальный зазор, влекущий за собой параллакс в отсчитывании по верньеру. В приборах с микроскопами при вращении алидады будет происходить расфокусировка и изменение цены деления шкалы отсчетного приспособления.

Определение цены делений шкалы отсчетного приспособления осуществляется по специальной методике только у прецизионных теодолитов.

Поверка условия 2 ($LL' \perp VV'$ и $L_1L_1' \perp VV'$) производится аналогично соответствующим проверкам глухого нивелира, см. с. 85.

Поверка условия 3 ($bb' \perp HH'$). Перекрестие сетки нитей зрительной трубы наводят на точку, а затем наклоняют трубу вокруг оси VV' так, чтобы изображение точки оказалось на краю поля зрения. Изображение точки не должно сходить с нити bb' сетки. В случае невыполнения этого условия ослабляют винты, соединяющие окулярный патрубок с корпусом трубы и поворачивают его так, чтобы изображение точки оказалось на нити bb' сетки.

Поверка условия 4 ($ZZ' \perp HH'$). Неперпендикулярность осей ZZ' и HH' вызывает коллимационную погрешность C , величина которой обратно пропорциональна косинусу вертикального угла. При горизонтальном положении трубы погрешность $C=0$, и погрешность i вследствие перпендикулярности осей HH' и VV' равна нулю — условие, при котором следует определять погрешность C .

Визирную ось трубы при обоих положениях вертикального круга наводят на удаленную и расположенную на линии горизонта точку и берут соответствующие отсчеты. Разность этих отсчетов должна быть не более допустимой величины $2C$, которая устанавливается соответствующими инструкциями по производству угломерных работ. Например, для теодолита, точность которого $30''$, не должна превышать двойной точности верньера ($2C$).

Если C превышает допустимую величину, то делают исправление, для чего алидаду горизонтального круга устанавливают на средний отсчет, свободный от погрешности, и боковыми исправительными винтами при сетке нитей смещают ее так, чтобы точка визирования оказалась на нити bb' .

Проверка условия 5 ($HH' \perp VV'$). Погрешность в отсчете по лимбу от неперпендикулярности осей HH' и VV' при горизонтальном положении трубы равна нулю, при наклонном — пропорциональна тангенсу угла наклона.

Визирную ось трубы наводят на близкую и высокую точку и при двух положениях вертикального круга проектируют ее на горизонтально расположенную на высоте прибора рейку. При $HH' \perp VV'$ обе проекции должны совпадать. В противном случае центр сетки нитей перемещают посредством исправительных винтов при одной из подставок трубы до совмещения сетки со средней точкой, находящейся между двумя упомянутыми проекциями. У теодолита типа ТТ-5 исправительные винты отсутствуют. Исправления в этом случае достигают, подкладывая под подставку трубы лист бумаги или какой-либо другой материал, после чего винты подставки затягивают.

Проверка условия 6 (эксцентриситет алидады). Методы проверки широко известны [79] в связи с чем в настоящем разделе не приводятся.

Проверка условия 7. Визирную ось трубы при двух положениях вертикального круга наводят на удаленную, находящуюся на горизонте точку и берут отсчеты по лимбу. Полученная разность отсчетов составляет двойную коллимационную погрешность $2C_1$. Аналогично производят наблюдения на точку, находящуюся вблизи инструмента — полученная разность отсчетов составляет погрешность $2C_2$. При этом должно быть $2C_1 \approx 2C_2$.

Для оптических теодолитов ТБ-1 (Т2) проверку этого условия рекомендуется производить при расстояниях 20, 40, 100, 200, 400 и 1000 м. Колебания между значениями $2C$ не должны быть более $10''$ [79].

Проверка условия 8 (M_0). Из измерений вертикального угла при двух положениях круга (КП и КЛ) вычисляют M_0 по формуле

$$M_0 = \frac{КП + КЛ \pm 360^\circ}{2}.$$

При $M_0 \neq 0$ производят исправление. Для чего вычисляют вертикальный угол $\alpha = КП - M_0 = M_0 - КЛ$. Не нарушая положения трубы, наведенной на визируемую точку, микрометренным винтом алидады вертикального круга устанавливают отсчет, равный α , после чего исправительным винтом при уровне алидады выводят пузырек уровня на середину.

В приборах с компенсатором вместо уровня при $M_0 > 4' - 5'$ исправление производится следующим образом: алидаду вертикального круга устанавливают на отсчет, равный α , после чего изображение точки визирования посредством вертикальных исправительных винтов сетки нитей совмещают с горизонтальной нитью aa' .

Рабочие поверки оптических отвесов

Оптические отвесы (двусторонние, односторонние, с самоустанавливающей линией визирования) измерительных приборов или инструментов (теодолитов, тахеометров, светодальномеров, оптико-механических дальномеров, лот-аппаратов и т. п.) должны удовлетворять следующим общим условиям:

1. Визирная ось оптической системы VV' отвеса должна быть перпендикулярна оси LL' установочного уровня ($VV' \perp LL'$).

2. Ось VV' отвеса должна совпадать с осью посадочной втулки подставки (ГОСТ 16740—71) измерительного прибора или инструмента, а прикрепленного отвеса — с вертикальной осью инструмента.

Рассмотрим способы поверки отвеса с уровнем при корпусе оптической системы.

Поверка условия 1 ($VV' \perp LL'$). Эта поверка выполняется аналогично соответствующей поверке глухого нивелира (с. 85).

Поверка условия 2. Под отвесом, установленным на штативе в рабочее положение, закрепляется горизонтально планшет, на котором отмечается проекция перекрестия сетки нитей отвеса. Поворачивают оптическую систему отвеса на 180° и отмечают второе спроектированное положение перекрестия сетки нитей. В случае несовпадения точек исправительными винтами совмещают перекрестие сетки нитей с точкой, находящейся в середине прямой, соединяющей точки проекции.

Рабочие поверки и исследование дальномеров геометрического типа, тахеометров, кипрегелей и мензул выполняются в соответствии с определенными ГОСТ.

Дальномеры оптические [28] двойного изображения ДН-04, ДН-06, ДН-08, ДН-10, ДВ-20, ДНР-06 (ГОСТ 11356—65) проверяются в соответствии с требованиями (ГОСТ 13627—68), а также по методикам, изложенным в соответствующих технических описаниях и руководствах [30, 78].

Методики рабочих поверок следующих измерительных приборов: угломеров-тахеометров (ГОСТ 11898—66) авторедукционных тахеометров (ГОСТ 10812—64), тахеометров ТТМ (ПВД) [27], кипрегелей (ГОСТ 10813—64), мензул (ГОСТ 10814—64), а также прецизионных судостроительных дальномеров типа ДПС-1 приведены в соответствующих технических описаниях и руководствах по эксплуатации [30, 79].

6. ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Общие сведения

Результаты измерений в той или иной мере, зависящей от их качества, отклоняются от истинных значений измеряемых величин — это подтверждают теория и практика.

Отклонение результата измерений X_i от истинного значения X измеряемой физической величины называют погрешностью измерений Δ_{Σ} , определяемой по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = X_i - X. \quad (17)$$

Свойства погрешностей измерений изучаются в разделе математической статистики, получившем в начале XIX в. название «Теории ошибок измерений» (термин «ошибка» не рекомендуется ГОСТ 16263—70).

В теории погрешностей допускают, что результаты наблюдений свободны от грубых погрешностей, резко отклоняющих их от истинных значений измеряемых физических величин, а также от систематических погрешностей, входящих в результаты измерений по определенному закону. Это допущение обосновано тем, что при составлении программы наблюдений предусматривают такую их постановку, которая способствует достаточно полной компенсации влияния систематических погрешностей (например, перестановка лимба между приемами ослабляет влияние погрешностей его делений, с. 67). Далее, приступая к обработке результатов измерений, во-первых, аннулируют результаты, содержащие грубые погрешности (отсчеты, вызывающие по ходу измерений у наблюдателя сомнение, должны иметь соответствующие примечания в журнале измерений); во-вторых, — в результате измерений вводят поправки, ослабляющие влияние известных систематических погрешностей (например, поправка в направление за замыкание горизонта, с. 66).

Классификация погрешностей измерений

Погрешности измерений неизбежны и порождаются условиями измерений (с. 6). Изменение факторов, из которых складываются условия измерений, вызывает варьирование результатов измерений. При этом каждая из установленных (с. 6) пяти групп факторов порождает свою группу элементарных погрешностей. В соответствии с этим различают погрешности:

объекта, обусловленные преимущественно его изменением во времени;

личные, вызванные недостаточной восприимчивостью органов чувств наблюдателя;

инструментальные, возникающие вследствие несовершенства конструкции средств измерений (инструментов);

методические, т. е. погрешности метода измерений. (Например, при многократном отложении мерной ленты вдоль измеряемой линии концы ленты отклоняются от створа, т. е. измерение прямой линии заменяется измерением ломаной линии);

внешние, обусловленные влиянием внешней среды. (Например, ветер вызывает колебание инструмента; неравномерно нагретый воздух отклоняет визирный луч от прямого направления и т. д.).

Таким образом, погрешность измерения Δ_{Σ} представляет собой сумму большого числа элементарных погрешностей, каждое из которых по абсолютной величине существенно меньше модуля самой суммы.

Элементарные погрешности по их характеру делят на случайные и систематические, т. е. погрешность измерения представляется суммой:

$$\Delta_{\Sigma} = \theta + \Delta, \quad (18)$$

где θ и Δ — соответственно систематическая и случайная составляющие погрешности измерений.

Элементарная систематическая погрешность измерения есть составляющая погрешности измерений, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины (в одинаковых условиях). При этом в соответствии с изложенным выше под систематической составляющей θ погрешности Δ_{Σ} измерений понимается лишь та ее часть, которая не может быть исключена из результатов измерений введением поправок или соответствующей постановкой измерений (их программой).

Случайная погрешность измерений — составляющая погрешности измерений, которая изменяется случайным образом при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Строгая обработка результатов измерений, предусматривающая самостоятельную оценку влияния случайной и систематической составляющих погрешности измерений выходит за рамки справочного руководства. Поэтому будем считать, что систематические погрешности исключены столь полно, что Δ_{Σ} можно рассматривать как сумму большого числа элементарных случайных погрешностей, примерно одинаковых по абсолютной величине. При таком допущении оказывается возможным построить математическую модель результатов измерений, отождествляя их со значениями случайной величины, распределенной по нормальному закону.

Закон распределения случайных погрешностей

Всякая случайная величина ξ с математической точки зрения определяется своим законом распределения. Последний позволяет ответить (до опыта) на такой вопрос: чему равна вероятность $P\{\xi < x\}$ того, что полученное из опыта значение X_i случайной величины ξ будет меньше некоторого заданного действительного числа x ? Ответ на этот вопрос дает уравнение

$$P\{\xi < x\} = F(x),$$

где $P\{\xi < x\}$ — вероятность события $\xi < x$; $F(x)$ — некоторая функция от x .

Функция $F(x)$ называется функцией распределения, она полностью определяет собой закон распределения данной случайной величины ξ . Про случайную величину ξ говорят, что она распределена по закону $F(x)$.

Функция распределения $F(x)$ нормально распределенной случайной величины ξ имеет вид

$$P\{\xi < x\} = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \cdot dX = F(x). \quad (19)$$

В это уравнение входят два параметра: m_x — математическое ожидание; σ_x — стандарт или среднее квадратическое отклонение,

которые являются основными числовыми характеристиками распределения.

Математическое ожидание представляет собой центр группирования значений случайной величины, т. е. их идеальное среднее значение (среднее арифметическое). Математическое ожидание $M\Delta$ случайной погрешности Δ тождественно равно нулю, а математическое ожидание M_x значений X_i измеряемой физической величины равно истинному ее значению (при отсутствии систематических погрешностей):

$$M\Delta = 0; \quad MX_i = X.$$

Стандарт случайной величины характеризует степень разброса (рассеивания) отдельных значений случайной величины около их центра группирования. При наличии только случайных погрешностей стандарт σ_x измеренных значений X_i равен стандарту σ_Δ случайных погрешностей измерения $\sigma_\Delta = \sigma_x = \sigma$.

Стандарт измерений σ характеризует их точность: чем меньше стандарт, тем больше (выше) точность измерений. Между весом p измерения и стандартом σ_p этого же измерения существует зависимость

$$\sigma_p = \frac{\sigma}{\sqrt{p}}, \quad (20)$$

где σ — стандарт, соответствующий измерению, имеющему вес, равный единице. Таким образом, стандарт обратно пропорционален корню квадратному из веса.

Распределение нормированной случайной погрешности

Центрированной случайной величиной $\overset{\circ}{\xi}$, соответствующей случайной величине ξ , называют отклонение случайной величины ξ от ее математического ожидания M_x : $\overset{\circ}{\xi} = \xi - M_x$. Иначе говоря, значения $\overset{\circ}{X}_i$ центрированной случайной величины связано с соответствующим значением X_i случайной величины ξ уравнением $\overset{\circ}{X}_i = X_i - M_x$. Применительно к случайной величине ξ , представляющей собой результаты измерений, не содержащие систематических погрешностей, имеем $\overset{\circ}{X}_i = \Delta_i$ и $\overset{\circ}{\xi} = \Delta$.

Нормированной случайной величиной называют отношение случайной величины к ее стандарту. Это определение распространяется и на центрированные случайные величины.

Применительно к нормированной случайной погрешности измерений $\frac{\Delta}{\sigma}$ уравнение (19) принимает вид

$$P\left\{\frac{\Delta}{\sigma} < x\right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}x^2} dx = \int_{-\infty}^x \varphi(x) dx = \Phi(x), \quad (21)$$

$$\varphi(x) = e^{-\frac{1}{2}x^2} = \Phi'(x),$$

где $\frac{\Delta}{\sigma}$ — нормированная случайная погрешность измерений;

$\Phi(x)$ — нормальная функция распределения;

$\varphi(x)$ — нормальная плотность вероятности (первая производная от функции распределения);

$\varphi(x) dx$ — элемент нормальной вероятности.

Вероятность попадания случайной погрешности Δ на участок от α до β выражается приращением нормальной функции распределения на соответствующем участке

$$P\{\alpha \leq \Delta < \beta\} = \Phi\left(\frac{\beta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha}{\sigma}\right) = \Delta\Phi. \quad (22)$$

Для относительно небольшого участка имеет место соотношение

$$\Delta\Phi \approx h\varphi(\gamma) \left[1 - \frac{h^2}{24}(1 - \gamma^2)\right], \quad (23)$$

где

$$\gamma = \frac{1}{2\sigma}(\alpha + \beta); \quad h = \frac{1}{\sigma}(\beta - \alpha).$$

В табл. 19 приведены значения $100\Delta\Phi$ и $100\varphi(\gamma)$ для интервала $I = [-3,5; +3,5]$ нормированной случайной погрешности при $h=1$ и $-3 \leq \gamma \leq 3$.

Используя данные табл. 19, можно выразить закон распределения графически: по оси абсцисс откладывают числа γ , а по оси ординат — соответствующие им плотности вероятности $\varphi(\gamma)$ (рис. 37).

Т а б л и ц а 19

Средины участков γ	100 $\Delta\Phi$	100 $\varphi(\gamma)$
-3	0,62	0,45
-2	6,06	5,4
-1	24,17	24,2
0	38,3	39,9
1	24,17	24,2
2	6,06	5,4
3	0,62	0,45
Σ	100	100

Если площадь, ограниченную кривой (проведенной через точки, построенные указанным выше способом) и осью абсцисс, принять за 100, то величины $100\Delta\Phi$ будут представлять собой площади соответствующих участков. Так, величине 6,06 соответствуют площади, заштрихованные на рис. 37, составляющие в сумме 12,12% общей площади.

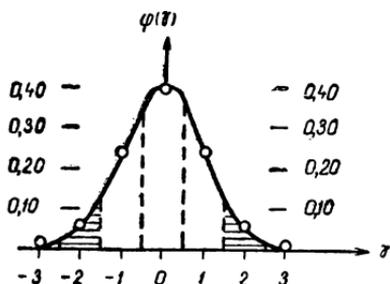


Рис. 37. Нормальный закон распределения: по оси абсцисс отложены величины x ; по оси ординат — соответствующие им плотности вероятности $\varphi(x)$

Для величин $\Phi(x)$ и $\varphi(x)$ составлены подробные таблицы, например [6].

В геодезической практике часто возникает необходимость определения вероятности события $\frac{|\Delta|}{\sigma} \leq t$, т. е. что нормированная случайная погрешность $\frac{\Delta}{\sigma}$ по своему модулю будет не больше положительного числа t . Для этой вероятности имеем

$$P\left\{\frac{|\Delta|}{\sigma} \leq t\right\} = 2\Phi(t) - 1 = P(t). \quad (24)$$

В табл. 20 даны значения $P(t)$.

Таблица 20

t	$P(t)$	t	$P(t)$	t	$P(t)$
1	0,68269	1,9	0,91257	2,8	0,99189
1,1	0,72867	2	0,9545	2,9	0,99627
1,2	0,76986	2,1	0,96427	3	0,9973
1,25	0,7887	2,2	0,97219	3,25	0,99885
1,3	0,8064	2,25	0,97555	3,5	0,99953
1,4	0,83849	2,3	0,97855	3,75	0,99982
1,5	0,86639	2,4	0,9836	4	0,99994
1,6	0,8904	2,5	0,98758	4,25	0,99998
1,7	0,91087	2,6	0,99068	4,5	0,99999
1,75	0,91988	2,7	0,99307	4,75	0,999993
1,8	0,92814	2,75	0,99404	5	0,999999

Условие, что $\frac{\Delta}{\sigma}$ — нормированная случайная величина, подчиненная нормальному закону распределения с математическим ожиданием, равным нулю, символически записывают выражением $\frac{\Delta}{\sigma} \in N(0,1)$.

Для $t=1,5$ находим $P(t)=0,8664$, т.е. с такой вероятностью случайная погрешность измерения не будет превышать по абсолютной величине 1,5 значения стандарта. На рис. 37 этой вероятности соответствует площадь трех средних участков, расположенных между двумя заштрихованными.

Уравнение (24) можно переписать следующим образом:

$$P\{-t\sigma < \Delta \leq t\sigma\} = P(t) \quad (25)$$

или

$$P\{X_i - t\sigma_x < X \leq X_i + t\sigma_x\} = P(t), \quad (26)$$

где Δ — случайная погрешность измерения;

X — истинное значение измеренной величины;

X_i — значение, полученное в результате измерения;

σ — стандарт измерения;

t — положительное число;

$P(t)$ — вероятность, соответствующая данному числу t .

Про параметр X , определяемый уравнением (26) говорят: параметр X «накрывается» интервалом $I=[X_i-t\sigma, X_i+t\sigma]$, с вероятностью $P(t)$.

Формула (25) наглядно показывает, что стандарт σ действительно является мерой точности.

Доверительная вероятность

В основе приложения теории вероятностей к решению различных вопросов лежит принцип, согласно которому маловероятные события считаются практически невозможными и, наоборот, те события, вероятность P которых близка к единице, принимаются за достоверные. Такую вероятность называют доверительной, а разность $1-P$ — уровнем значимости.

Таким образом, принимая доверительную вероятность P , считаем, что вероятность $1-P$ практически равна нулю. Так, в геодезической практике при анализе результатов ответственных измерений часто принимают за доверительную вероятность 0,9545, а измерения, имеющие случайную погрешность больше 2σ (удвоенного стандарта) бракуют.

Следует подчеркнуть, что теоретически нельзя указать для вероятности границу, меньше которой при всех случаях практики события нужно считать невозможными. Ограничиваясь той или иной доверительной вероятностью, сознательно идут на определенный риск. Например, принимая 0,9545 за доверительную вероятность при отбраковке измерений, можно «незаконно» забраковать из 100 измерений в среднем 5, которые, по сути дела, отвечают условиям измерений.

Доверительный интервал

Интервал, покрывающий оцениваемый параметр с заданной доверительной вероятностью, называют доверительным. Так, для доверительной вероятности 0,6827 доверительный интервал случайной погрешности измерений $I = [-\sigma, \sigma]$.

В геодезической практике часто применяют две доверительные вероятности 0,9545 и 0,9973, которым для случайной погрешности соответствуют интервалы $I = [-2\sigma, 2\sigma]$ и $I = [-3\sigma, 3\sigma]$.

При выборе доверительной вероятности нужно учесть, что более строгой (осторожной) оценкой при отбраковке результатов измерений будет меньшая доверительная вероятность, в данном случае 0,9545, а при интервальной оценке параметра — более надежным (строгим) — интервал, соответствующий большей доверительной вероятности.

Два способа оценки измерений

На основании изложенного можно указать два способа оценки значения измеренной физической величины. Во-первых, можно указать непосредственно полученное в результате измерений приближенное значение X_i этой величины; во-вторых, можно привести доверительный интервал I , покрывающий истинное значение X измеренной физической величины с доверительной вероятностью P . Первый способ называется точечной оценкой параметра, а второй — оценкой с помощью доверительного интервала.

Пример. Из измерений получено для угла X значение $X_i = 18^\circ 21' 26''$; стандарт, соответствующий условиям измерений (по многочисленным предшествующим измерениям) $\sigma = 7''$. Определить интервал, покрывающий истинное значение угла X с доверительной вероятностью 0,9545.

Так как доверительной вероятности $P(t) = 0,9545$ соответствует число $t = 2$, то $X = 18^\circ 23' 26'' \pm 14''$ с доверительной вероятностью 0,9545.

Значение стандарта, как правило, неизвестно, поэтому оценивать приходится не только математическое ожидание, которое при отсутствии случайных погрешностей совпадает с истинным значением измеряемой физической величины, но и стандарт. Кроме того, часто оказывается необходимым оценить значения некоторых функций измеренных величин. При этом обычно требуется получить не только соответствующую оценку, но и характеристику ее точности. Иначе говоря, нужно иметь также и оценку точности самой оценки.

В соответствии с теорией вероятностей каждая из этих оценок будет в некотором смысле оптимальной, если она является:

состоятельной, т. е. при увеличении числа измерений она приближается (сходится по вероятности) к значению оцениваемого параметра;

несмещенной — ее математическое ожидание равно оцениваемому параметру;

эффективной — ее квадрат стандарта (дисперсия) меньше квадрата стандарта (дисперсии) любой другой оценки данного параметра.

Последнее условие соблюдается при обработке результатов измерений по способу наименьших квадратов.

Основные задачи теории погрешностей измерений

Математическая обработка результатов измерений, выполняемая в соответствии с принципами теории вероятностей, направлена на решение двух основных задач:

отыскание «наиболее точных» оценок (оптимальных приближенных значений) измеренных величин и заданных их функций;

оценку точности полученных результатов измерений найденных оптимальных значений искомых величин и их функций.

Указанные оценки получают из обработки результатов, содержащих избыточные измерения.

Третья основная задача теории погрешностей измерений — разработка рекомендаций по составлению программы измерений, обеспечивающей требуемую точность результата при минимальных затратах средств и времени.

7. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Многократные прямые измерения

Выборка. Цель обработки результатов измерений. В терминах математической статистики ряд значений x_1, x_2, \dots, x_n физической величины χ , полученный из равноточных измерений, является случайной выборкой из генеральной совокупности всех возможных значений этой величины — бесконечного их множества.

Проблема обработки выборки может быть сформулирована так: дана выборка из некоторой генеральной совокупности; определить по ней с определенной доверительной вероятностью качества (свойства) этой генеральной совокупности.

Если генеральную совокупность можно считать подчиненной нормальному закону, то для ее описания достаточно знать два параметра (две математические характеристики): меру расположения, за которую обычно принимают математическое ожидание, и меру рассеивания — стандарт (иначе — среднее квадратическое отклонение) или квадрат стандарта — дисперсию.

Равноточные и неравноточные результаты измерений. Если число n велико, т. е. объем выборки значителен, то полученные значения (варианты) обычно разбивают на группы.

Пусть $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i}$ — значения, входящие в i -ю группу, где $i = 1, 2, \dots, k$; n_i — число значений, входящих в группу с номером i ; k — число всех групп; $n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$. Достаточно часто можно считать, что деление на группы носит случайный характер, например, если группы представляют собой результаты наблюдений, выполненные в одинаковых условиях несколькими наблюдателями, имеющими одну и ту же квалификацию, или одним и тем же наблюдателем, но в разное время, при прочих равных условиях измерений.

В таких случаях для каждой группы измерений вычисляют среднее значение \bar{x}_i по формуле $\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} (x_{i1} + \dots + x_{in_i})$ и считают его полученным как бы непосредственно из измерений с весом $p_i = n_i$.

$i=1, 2, \dots, k$ (см. с. 7). Таким образом, от обработки большого числа n равноточных измерений можно перейти к обработке значительно меньшего числа k неравноточных измерений. В этом случае выборка представляется значениями физической величины x_1, \dots, x_k и их весами p_1, \dots, p_k . Очевидно, равноточные измерения являются частным случаем неравноточных при условии $p_1 = \dots = p_k = 1$. В этой связи ниже будут приведены формулы, относящиеся к обработке неравноточных измерений.

Точечная оценка измерений. За приближенное значение неизвестной величины X следует принять выборочное среднее (среднее взвешенное):

$$\bar{x} = \frac{p_1 x_1 + \dots + p_k x_k}{\bar{p}}, \quad (27)$$

где $\bar{p} = p_1 + \dots + p_k$.

Эта оценка будет оптимальной в том смысле, что если \tilde{x} — некоторое иное приближенное значение параметра X , то при заданном сколь угодно малом $\varepsilon > 0$

$$P \{ |\bar{x} - X| > \varepsilon \} \ll P \{ |\tilde{x} - X| > \varepsilon \}. \quad (28)$$

Стандарт σ измерения, вес которого равен единице, оценивается соответствующим выборочным (эмпирическим) стандартом

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k p_i (x_i - \bar{x})^2}{k-1}}. \quad (29)$$

Выборочный стандарт $\bar{\sigma}_x$ оценки \bar{x} будет

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{\bar{p}}}. \quad (30)$$

Для приближенной оценки точности эмпирического стандарта $\bar{\sigma}$ служит формула

$$\bar{\sigma}_{\bar{\sigma}} = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{2\nu}}, \quad (31)$$

где $\bar{\sigma}_{\bar{\sigma}}$ — выборочный стандарт самого выборочного стандарта;

ν — число степеней свободы (в данном случае $\nu = k-1$).

Для равноточных измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i;$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k(k-1)}}; \quad \bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{k}},$$

где x_i — значение случайной величины $x \in N(X, \sigma)$.

Оценка измерений с помощью интервалов. Истинное значение X накрывается доверительным интервалом

$$I = [\bar{x} - t\bar{\sigma}_x, \bar{x} + t\bar{\sigma}_x] \quad (32)$$

с доверительной вероятностью

$$P \{ \bar{x} - t\bar{\sigma}_x < X < \bar{x} + t\bar{\sigma}_x \} = P(t), \quad (33)$$

где числа t и $P(t)$ связаны уравнением

$$P(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi\nu}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \int_0^t \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}} dx = 2S_\nu(t) - 1, \quad (34)$$

где $\Gamma(x)$ — гамма-функция;

$S_\nu(t)$ — функция распределения Стьюдента с ν степенями свободы.

Для функции $S_\nu(t)$ составлены достаточно полные таблицы. Выдержка из них дана в табл. 21. При помощи этих таблиц можно решить две задачи: во-первых, по данным числам t и ν определить доверительную вероятность $P(t)$; во-вторых, по заданным ν и $P(t)$ найти число t .

Таблица 21

ν	Значения t при $P(t)$			
	0,95	0,9545	0,99	0,9973
1	12,7	13,9	63,7	235
2	4,3	4,52	9,92	18,5
3	3,18	3,31	5,84	9,2
4	2,78	2,87	4,61	6,63
5	2,57	2,65	4,04	5,5
6	2,45	2,52	3,71	4,91
7	2,37	2,43	3,5	4,53
8	2,31	2,36	3,36	4,28
9	2,26	2,32	3,25	4,09
10	2,23	2,28	3,17	3,96
12	2,18	2,23	3,06	3,76
14	2,15	2,2	2,98	3,64
16	2,12	2,17	2,92	3,55
18	2,1	2,15	2,88	3,48
20	2,03	2,13	2,85	3,42
∞		2		3

Результат, представленный доверительным интервалом (32), часто записывают символическим равенством

$$X = \bar{x} \pm t\bar{\sigma}_x; \text{ с доверительной вероятностью } P(t). \quad (35)$$

Так, при $\nu=3$ и $P=0,9545$ имеем:

$$t = 3,31; \quad X = \bar{x} \pm 3,31\bar{\sigma}_x; \quad P(t) = 0,9545.$$

Что касается стандарта σ , то он с доверительной вероятностью $p(\gamma)$ накрывается интервалом

$$I = [\gamma_1\bar{\sigma}, \gamma_2\bar{\sigma}], \quad (36)$$

т. е.

$$P\{\gamma_1\bar{\sigma} < \sigma < \gamma_2\bar{\sigma}\} = P(\gamma), \quad (37)$$

где величины $\gamma_i = \sqrt{\frac{\nu}{2z_i}}$ ($i=1,2$) связаны с доверительной вероятностью $p(\gamma)$ и числом степеней свободы ν только одним уравнением $I(z_1, \nu) - I(z_2, \nu) = p$, где

$$I(z, \nu) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \int_0^z t^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-t} dt -$$

неполная гамма-функция. Таким образом, возможны различные решения. Наиболее узкий интервал (32) обеспечивается, дополнительным условием [20]:

$$e^{-z} z_1^{\frac{\nu+1}{2}} = e^{-z_2} z_2^{\frac{\nu+1}{2}}.$$

В табл. 22 приведены значения γ_1 и γ_2 для доверительных вероятностей 0,95; 0,9545; 0,99; 0,9973 ($\gamma_2 - \gamma_1 = \min$). Так, при $\nu=4$ и $p(\gamma)=0,9545$ для σ найдем следующий доверительный интервал

$$I = [0,4866\bar{\sigma} < \sigma < 2,4675\bar{\sigma}].$$

Пример. Нивелировкой III класса с реперов 1, 2 и 3 передана отметка на репер А. Исходные и полученные данные сведены в табл. 23. Требуется определить H_A , оценить точность результата и погрешность измерения, имеющего вес, равный единице (одного штатива) при доверительной вероятности 0,9545.

По формуле (27) найдено $\bar{H}_A = 14,323$. Вес узловой точки равен сумме весов всех ходов $p_A = 0,517$. Далее вычислены:

$$\text{сумма произведений квадратов невязок на вес } \sum p\delta^2 = 8,6;$$

$$\text{эмпирический стандарт единицы веса } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{8,6}{2}} \approx 2,1 \text{ мм};$$

Таблица 22

v	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
	при доверительной вероятности p							
	0,95		0,9545		0,99		0,9973	
1	0,2446	15,9615	0,2415	17,5393	0,2047	79,7920	0,1840	295,5163
2	0,3638	4,4393	0,3597	4,6572	0,3096	9,9895	0,2808	19,2407
3	0,4386	2,9493	0,4346	3,0484	0,3782	5,1300	0,3453	7,9760
4	0,4913	2,4046	0,4866	2,4675	0,4280	3,6904	0,3928	5,1686
5	0,5308	2,1232	0,5262	2,1693	0,4664	3,0260	0,4301	3,9858
6	0,5620	1,9502	0,5573	1,9369	0,4973	2,6465	0,4603	3,3478
7	0,5873	1,8302	0,5828	1,8629	0,5229	2,4009	0,4856	2,9516
8	0,6086	1,7462	0,6041	1,7727	0,5445	2,2286	0,5073	2,6821
9	0,6267	1,6804	0,6222	1,7037	0,5632	2,1007	0,5261	2,4864
10	0,6424	1,6280	0,6380	1,6490	0,5796	2,0017	0,5426	2,3379
11	0,6562	1,5854	0,6518	1,6044	0,5942	1,9225	0,5574	2,2211
12	0,6684	1,5497	0,6641	1,5673	0,6071	1,8577	0,5705	2,1266
13	0,6793	1,5194	0,6751	1,5358	0,6188	1,8035	0,5826	2,0485
14	0,6892	1,4934	0,6850	1,5086	0,6295	1,7574	0,5934	1,9828
15	0,6981	1,4706	0,6940	1,4849	0,6392	1,7177	0,6035	1,9266
16	0,7063	1,4506	0,7022	1,4641	0,6481	1,6830	0,6127	1,8780
17	0,7138	1,4327	0,7098	1,4456	0,6563	1,6525	0,6213	1,8354
18	0,7208	1,4167	0,7168	1,4290	0,6639	1,6253	0,6292	1,7978
19	0,7273	1,4022	0,7233	1,4140	0,6710	1,6010	0,6366	1,7644
20	0,7333	1,3891	0,7294	1,4003	0,6776	1,5791	0,6436	1,7344
21	0,7388	1,3771	0,7350	1,3879	0,6839	1,5592	0,6501	1,7073
22	0,7441	1,3661	0,7403	1,3765	0,6897	1,5410	0,6563	1,6827
23	0,7490	1,3560	0,7453	1,3660	0,6952	1,5244	0,6621	1,6602
24	0,7536	1,3466	0,7500	1,3563	0,7004	1,5091	0,6676	1,6396
25	0,7580	1,3378	0,7544	1,3473	0,7053	1,4949	0,6728	1,6206
26	0,7622	1,3297	0,7586	1,3389	0,7100	1,4818	0,6777	1,6031
27	0,7661	1,3221	0,7625	1,3310	0,7144	1,4696	0,6824	1,5868
28	0,7698	1,3150	0,7663	1,3236	0,7186	1,4582	0,6869	1,5717
29	0,7734	1,3083	0,7699	1,3167	0,7227	1,4476	0,6912	1,5575
30	0,7768	1,3020	0,7733	1,3103	0,7266	1,4376	0,6953	1,5442
40	0,8038	1,2543	0,8006	1,2610	0,7576	1,3629	0,7285	1,4467
50	0,8226	1,2234	0,8197	1,2290	0,7796	1,3156	0,7523	1,3858
60	0,8368	1,2012	0,8340	1,2063	0,7964	1,2824	0,7704	1,3435

Таблица 23

Номер гепера	Отмет- ки ре- перов	Превы- шение, м	Отметка, м	Число шта- тивов	Вес, p	Невязка, д, мм	$p\delta$
1	13,94	+0,379	14,319	10	0,1	-4	-0,4
2	14,271	+0,05	14,321	4	0,25	-2	-0,5
3	14,417	-0,088	14,329	6	0,167	+6	+1
A							
			Ср.=14,323		$\Sigma=0,517$		$\Sigma=-1,01$

эмпирический стандарт отметки \bar{H}_A

$$\bar{\sigma}_{H_A} = \sqrt{\frac{8,6}{2 \cdot 0,517}} = \sqrt{8,31} \approx 2,9 \text{ мм.}$$

Затем из табл. 21 по $\nu=2$ и $p=0,9545$ находим $t=4,52$ и $i\bar{\sigma}_{H_A}=4,52 \cdot 2,9=13,1$ мм. Таким образом, $H_A=14,323 \pm 0,013$ м.

Для интервальной оценки стандарта из табл. 22 по аргументам $p=0,9545$ и $\nu=2$, находим $\gamma_1=0,3597$ и $\gamma_2=4,6572$. Затем вычисляем $\sigma\gamma_1=0,76$ и $\sigma\gamma_2=9,78$.

Следовательно, $0,76 \text{ мм} < \sigma < 9,78 \text{ мм}$, т. е. теоретическое значение средней квадратической погрешности (стандарта) единицы веса (одного штатива) имеет величину порядка 1—10 мм.

Оценка веса результата измерений. В соответствии с формулами (20) и (30) вес результата измерений обратно пропорционален квадрату его стандарта, т. е. $p = \frac{c}{\sigma^2}$, где c — произвольная постоянная, имеющая ту же размерность, что и квадрат стандарта σ^2 .

В [67] доказано, что оптимальная оценка \bar{p} веса p определяется формулой

$$\bar{p} = \frac{\nu - 2}{\nu} \frac{c}{\sigma^2}, \quad (38)$$

где $\bar{\sigma}$ — оптимальная оценка стандарта [в данном случае определяемая по формуле (30)];

ν — число степеней свободы (в данном случае $\nu = k - 1$).

Моменты. В качестве математических характеристик генеральной совокупности часто применяют моменты, которые подразделяются на начальные α_r и центральные μ_r , где индекс r — показатель порядка момента:

$$\alpha_r = M [\rho X^r]; \quad (39)$$

$$\mu_r = M [\rho (X - \alpha_1)^r], \quad r = 1, 2, 3, \dots \quad (40)$$

Центральные и начальные моменты связаны формулой

$$\mu_r = \sum_{i=0}^r \binom{r}{i} \alpha_{r-i} (-\alpha_1)^i \quad (41)$$

Важность моментов, как математических характеристик генеральной совокупности, заключается в том, что почти для всех распределений, встречающихся в статистике и имеющих моменты любого порядка, знание их значений позволяет теоретически выразить все свойства распределения в терминах моментов. В этом смысле задание моментов всех порядков равносильно заданию функции распределения.

Отсюда делается вывод, что если два распределения имеют некоторое число одинаковых моментов, то они имеют какие-то общие свойства, т. е. в какой-то степени схожи между собой.

На практике для статистических распределений моменты порядка, больше четвертого, используются редко. Они очень чувствительны к отклонениям отдельных вариантов от среднего варианта (выборочным флюктуациям) и вычисленные по небольшому числу наблюдений могут нести в себе значительные погрешности [46].

Теоретические значения моментов α_r и μ_r для генеральной статистической совокупности оцениваются с помощью соответствующих выборочных моментов $\tilde{\alpha}_r$ и $\tilde{\mu}_r$:

$$\tilde{\alpha}_r = \frac{1}{S_0} \sum_{i=1}^n p_i x_i^{r*}; \quad (42)$$

$$\tilde{\mu}_r = \frac{1}{S_0} \sum_{i=1}^n p_i (x_i - \tilde{\alpha}_1)^r, \quad (43)$$

где $S_0 = \sum_{i=1}^n p_i$.

Первый начальный момент $\alpha_1(\tilde{\alpha}_1)$ генеральной совокупности (выборки) является математическим ожиданием (средним выборочным) ее значений, а второй (центральный) момент $\mu_2(\tilde{\mu}_2)$ представляет собой квадрат стандарта генеральной совокупности (выборки) — иначе говоря, дисперсию генеральной совокупности (выборки).

Первый центральный момент $\mu_1(\tilde{\mu}_1)$ тождествен нулю. Таким образом

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 = 0; \quad \mu_2 = \sigma^2; \quad \alpha_1 = MX; \\ \tilde{\mu}_1 = 0; \quad \tilde{\mu}_2 = \tilde{\sigma}^2; \quad \tilde{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Третий центральный момент характеризует асимметрию A генеральной совокупности, которая вычисляется по формуле

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (45)$$

Четвертый момент необходим для определения эксцесса E

$$E = \frac{\mu^4}{\sigma^4} - 3. \quad (46)$$

Для нормального распределения $A=0$ и $E=0$. Следовательно, если для некоторой выборки получены приближенные значения A и E , существенно отличные от нуля, то данная генеральная совокупность не может быть описана нормальным законом распределе-

* Обычно ограничиваются случаем: $p_i = 1$ и $S_0 = n$.

ния. В этом выводе и заключается основной смысл вычисления значений A и E .

Обычно асимметрию A и эксцесс E генеральной совокупности оценивают с помощью соответствующей выборочной асимметрии \tilde{A} и выборочного эксцесса \tilde{E} :

$$\tilde{A} = \tilde{\mu}_3 / \tilde{\sigma}^3; \quad \tilde{E} = \tilde{\mu}_4 / \tilde{\sigma}^4 - 3.$$

Дисперсии $D(A) \equiv \sigma_A^2$ и $D(E) \equiv \sigma_E^2$ для распределений асимметрии и эксцесса определяются формулами

$$\sigma_A^2 = \frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}; \quad \sigma_E^2 = \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)},$$

где n — число наблюдений. При больших значениях n применяют приближенные формулы:

$$\tilde{\sigma}_A^2 = \frac{6}{n}; \quad \tilde{\sigma}_E^2 = \frac{24}{n} = 4\tilde{\sigma}_A^2.$$

Надлежит учесть, что выборочные центральные моменты $\tilde{\mu}_2$, $\tilde{\mu}_3$ и $\tilde{\mu}_4$ являются лишь смещенными оценками моментов μ_2 , μ_3 и μ_4 . Несмещенные оценки $\bar{\mu}_2$, $\bar{\mu}_3$ и $\bar{\mu}_4$ этих параметров будут

$$\bar{\mu}_2 = \frac{S_0}{n-1} \tilde{\mu}_2; \tag{47}$$

$$\bar{\mu}_3 = \frac{S_0^2 \tilde{\mu}_3}{S_0 S_1 - 3n + 2}; \tag{48}$$

$$\bar{\mu}_4 = \frac{(S_0 \alpha - 3\beta) \tilde{\mu}_4 - 3(S_0 \beta - \gamma) \tilde{\mu}_2^2}{(\alpha\gamma - 3\beta^2)} S_0^2, \tag{49}$$

где

$$\alpha = n^2 - 1; \quad \beta = S_0 S_1 - 2n + 1; \quad \gamma = S_0^2 S_2 -$$

$$- 4S_0 S_1 + 6n - 3; \quad S_0 = \sum_{i=1}^n p_i;$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_i}; \quad S_2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_i^2}.$$

Для частного случая $p_i \equiv 1$, т. е. для равноточных наблюдений,

$$\bar{\mu}_2 = \frac{n}{n-1} \tilde{\mu}_2; \tag{50}$$

$$\bar{\mu}_3 = \frac{n^2 \tilde{\mu}_3}{(n-1)(n-2)}; \quad (51)$$

$$\bar{\mu}_4 = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} \left[\frac{n^2 - 2n + 3}{n^2} \tilde{\mu}_4 + \frac{3(-2n+3)}{n^2} \tilde{\mu}_2^2 \right]. \quad (52)$$

Оценки (47)–(52) являются несмещенными:

$$M[\bar{\mu}_2] = \mu_2; \quad M[\bar{\mu}_3] = \mu_3; \\ M[\bar{\mu}_4] = \mu_4. \quad (53)$$

Пример. В табл. 24 приведены отклонения δS_i значений S_i длины линии, измеренной многократно светодальномером, от их арифметической среды, а также значения δS_i^2 и δS_i^3 . Требуется определить асимметрию A и эксцесс E .

Таблица 24

δS_i	δS_i^2	δS_i^3	δS_i	δS_i^2	δS_i^3
+17,8	316,84	+5639,8	+8,8	77,44	+681,5
-3,2	10,24	-32,8	+7,8	60,84	+474,6
-14,2	201,64	-2863,3	+1,8	3,24	+5,8
+1,8	3,24	+5,8	+0,8	0,64	+0,5
-11,8	125,44	-1404,9	+2,8	7,84	+22
+4,8	23,04	+110,6	-10,2	104,04	-1061,2
-8,2	67,24	-551,4	+1,8	3,24	+5,8
-10,2	104,04	-1061,2	+8,8	77,44	+681,5
—	—	—	$\Sigma = -0,2$	$\Sigma = 1186,4$	$\Sigma = +653,1$

Вычисления, соответствующие формулам (42), (43) и (50)–(52), сведены в табл. 25 [25]. По полученным значениям оптимальных оценок μ_2 , μ_3 и μ_4 вычисляем: оценки асимметрии

$$\tilde{A} = 40,82 : 638,5 = 0,064;$$

$$\bar{A} = 0,071;$$

оценки эксцесса

$$\tilde{E} = 2,27 - 3 = -0,73;$$

$$\bar{E} = 2,2 - 3 = -0,8.$$

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
(1) $= \frac{n}{n-1}$	1,0667	\sim μ_1	-0,0125	$\bar{\mu}_2$	79,1
(2) $= (1) \frac{n}{n-2}$	1,2190	\sim μ_2	74,15	$\bar{\mu}_3$	49,8
(3) $= (2) \frac{n}{n-3}$	1,5004	\sim μ_3	40,82	$\bar{\mu}_4$	13 775
(4) $= \frac{(n^2 - 2n + 3)}{n^2}$	0,8867	\sim μ_4	12 461	$\bar{\sigma}$	8,89
(5) $= \frac{3(-2n+3)}{n^2}$	-0,3398	\sim σ	8,61	$\bar{\mu}_2^{-2}$	6257
(4) · (3)	1,3304	\sim μ_2^2	5498	$\bar{\mu}_2^{-3/2}$	703,5
(5) · (3)	-0,5098	\sim $\mu_2^{3/2}$	638,5		

Затем находим значения стандартов асимметрии и эксцесса:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6 \cdot 15}{17 \cdot 19}} = 0,53; \quad \sigma_E = \sqrt{\frac{24 \cdot 16 \cdot 14 \cdot 13}{17^2 \cdot 19 \cdot 21}} = 0,78.$$

Асимметрию и эксцесс можно считать несущественными, т. е. полученные значения \bar{A} и \bar{E} не противоречат гипотезе о подчинении генеральной совокупности нормальному закону.

Частота, частость (статистическая вероятность). Как уже отмечалось, многократные повторные измерения одной и той же величины X , выполненные при неизменном комплексе условий, и освобожденные от влияния систематических погрешностей, приводят к ряду результатов измерений, подчиненному устойчивой закономерности — нормальному закону. В связи с этим число n_i результатов измерений, попадающих по своей величине в интервал $I = \left[x_i - \frac{1}{2} h, x_i + \frac{1}{2} h \right]$, деленное на общее число n всех измерений, при достаточно больших n , сохраняет почти постоянную величину, а именно:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_i}{n} = p \left\{ x_i - \frac{1}{2} h < X < x_i + \frac{1}{2} h \right\} \approx h \varphi \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right),$$

где σ — стандарт измерения; $\varphi(z)$ — плотность вероятности (см. стр. 93). Число n_i называют частотой, а отношение $\frac{n_i}{n}$ — частостью, которую можно рассматривать как статистическую вероятность.

Метод сгруппированных данных. При большом числе n результатов равноточных наблюдений их часто делят на k групп по прин-

ципу, чтобы все варианты $x_{ij} (j=1, \dots, n_i)$ оказались внутри одного интервала, длиной h :

$$x_i - \frac{1}{2}h < x_{ij} < x_i + \frac{1}{2}h.$$

При этом середины интервалов x_i подчинены условию

$$x_i = x_0 + ih \quad (i = 1, \dots, k).$$

Теоретически предполагают, что $x_0 + \frac{1}{2}h = x_{\text{мин}}$ и $x_k + \frac{1}{2}h = x_{\text{макс}}$, где $x_{\text{мин}}$ и $x_{\text{макс}}$ соответственно минимальное и максимальное значения варианты x_{ij} . Однако практически величины x_0 и x_k выбираются так, что экстремальные значения могут оказаться за границами участка, но их условно включают внутрь интервала. Середины интервалов x_i обычно принимаются за средние арифметические значения \bar{x}_i соответствующих групп, т. е. допускают $x_i \approx \bar{x}_i$ и для оценки математического ожидания применяют формулу

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i,$$

которую для симметричных распределений можно принять за строгую (несмещенную) оценку.

Стандарт σ результата измерения, вес которого равен единице, оценивают по формуле

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x})^2 - \frac{h^2}{12}, \quad (54)$$

где $\frac{h^2}{12}$ — так называемая, поправка Шеппарда, введение которой для распределений, близких к нормальному, вполне обосновано.

При методе группированных данных часто используют выражения центральных моментов через начальные, избегая перехода от непосредственно полученных результатов измерений к их центрированным значениям. Используя формулу (41), находят

$$\tilde{\mu}_2 = \tilde{\alpha}_2 - \tilde{\alpha}_1^2;$$

$$\tilde{\mu}_3 = \tilde{\alpha}_3 - 3\tilde{\alpha}_1\tilde{\alpha}_2 + 2\tilde{\alpha}_1^3;$$

$$\tilde{\mu}_4 = \tilde{\alpha}_4 - 4\tilde{\alpha}_1\tilde{\alpha}_3 + 6\tilde{\alpha}_1^2\tilde{\alpha}_2 - 3\tilde{\alpha}_1^4;$$

где

$$\tilde{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i; \quad \tilde{\alpha}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i^2;$$

$$\tilde{\alpha}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i^3, \quad \tilde{\alpha}_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i^4.$$

Пример. В табл. 26 сведены значения $x_i, n_i, nx_i, nx_i^2, nx_i^3$ и nx_i^4 , заимствованные из [25]. Требуется вычислить оптимальные значения математического ожидания, первых четырех центральных моментов, асимметрии и эксцесса.

Т а б л и ц а 26

i	x_i	n_i	$n_i x_i$	$n_i x_i^2$	$n_i x_i^3$	$n_i x_i^4$
1	3,2	1	3,2	10,24	32,77	104,3
2	3,4	5	17	57,8	196,52	668,2
3	3,6	4	14,4	51,84	186,62	671,8
4	3,8	18	68,4	259,92	987,7	3753,2
5	4	86	344	1376	5504	22016
6	4,2	62	260,4	1093,68	4593,46	19292,5
7	4,4	14	61,6	271,04	1192,58	5247,3
8	4,6	6	27,6	126,96	584,02	2686,5
9	4,8	3	14,4	69,12	331,78	1592,5
10	5	1	5	25	125	625
Суммы		200	816	3341,6	13734,45	56657,8

В табл. 27 приведены полученные значения первых четырех центральных моментов и некоторые промежуточные результаты.

Т а б л и ц а 27

ν	$\tilde{\alpha}_\nu$	$\tilde{\mu}_\nu$	$\bar{\mu}_\nu$	$\bar{\sigma}^\nu$
1	4,03	0,00000	0,0000	0,2421
2	16,708	0,0516	0,0586	0,0586
3	68,67225	0,00095	0,001	0,0142
4	283,289	0,01829	0,0186	0,0034

В $\bar{\mu}_2$ введена поправка Шеппарда, равная 0,0033. $A=0,07$; $\sigma_A=0,17$; $E=2,4$; $\sigma_E=0,334$.

Прямые совместные многочисленные измерения

В результате прямых совместных измерений n величин χ_ν ($\nu=1, \dots, n$) m приемами (стр. 66) получено для приема с номе-

Тогда

$$\bar{x}_i = \frac{L_i}{p_i + r_{ii}}; \quad i = 1, \dots, n. \quad (58)$$

В этом случае величины \bar{x}_i , $i = 1, \dots, n$ можно рассматривать [18] как полученные из одного приема, соответственно с весом $(p_i + r_{ii}) = P$, $i = 1, \dots, n$. Отсюда следует, что в общем случае числа p_{v0} следует выбирать так, чтобы разности $r_{v,k}$ были числами малыми.

Оптимизация программы измерений. Выше отменялось, что одной из основных задач теории ошибок (погрешностей) является разработка рекомендаций по составлению программы измерений.

Применительно к измерению углов на пунктах опорной геодезической сети наиболее важными будут программы, приемы которых состоят из равного числа равногочно измеренных направлений, т. е. в каждом приеме наблюдается по S направлений с весом, равным единице.

Если ограничиться только случаем равноточных значений для уравновешенных направлений, то условие эквивалентности одному ряду направлений для таких программ будет сводиться к двум требованиям:

любое из направлений должно участвовать в программе p раз, т. е. каждое направление наблюдается в p приемах;

в каждом таких p приемах любое иное направление встречается r раз, т. е. наблюдается в r из этих p приемах, где r и p числа постоянные для программы.

Это утверждение вытекает из общей теории обработки прямых совместных измерений. Неизвестные — уравновешенные значения направлений определяют по формуле (58), где

$$P = \frac{nr}{s} = \frac{m(s-1)}{n-1} = \frac{mr}{p}. \quad (59)$$

Как частные случаи указанной общей программы рассмотрим следующие.

Способ измерения углов во всех комбинациях [40]. Полагая, что в каждом приеме измеряется только два направления (угол) и считая, что эти направления взяты во всех комбинациях из n по 2, получим $m = \frac{1}{2}n(n-1)$; $S=2$; $r=1$; $p=n-1$ и $P = \frac{n}{2}$.

Таким образом, выполнив один цикл таких приемов числом $m = \frac{1}{2}n(n-1)$ и вычислив уравненные значения направлений по общей формуле (58), мы можем считать полученные значения направлений как бы измеренными одним полным круговым приемом, с весом каждого направления, равным P .

В инструкции [42] указывается, из какого числа циклов, зависящего от количества наблюдаемых направлений, должна состоять программа.

Способ измерений направлений полными приемами. Если в каждом приеме наблюдаются все n направлений и таких приемов выполнено m , то $r=m$, $s=n$, $p=m$ и $P=m$.

Следовательно, результат наблюдений направлений полными приемами представляется в виде одного ряда направлений с весами, равными числу приемов, из которых составлена данная программа наблюдений. Число приемов зависит от точности прибора и разряда геодезической основы.

Способ циклов. Из числа программ, состоящих из неполных приемов, но результат которых представляется одним рядом направлений, наибольший интерес представляют программы, составленные из нескольких циклов.

Циклом [18] называют совокупность n приемов, в которых n направлений наблюдаются равноточно, по S направлений в каждом приеме. При этом, если в i приеме ($i=1, \dots, n$) имеем направления с номерами $\alpha, \beta, \dots, \nu$, то в $i+1$ -м будут участвовать направления с номерами $\alpha+1, \beta+1, \dots, \nu+1$, где направления наделены круговым свойством: направление с номером $\alpha+n$ соответствует направлению с номером α .

Доказано [18], что программы, состоящие из циклов, теоретически обоснованы и практически удобны. В качестве примера можно привести программу, состоящую из одного цикла (1, 2, 4) для $n=7$. Семь приемов этой программы включают следующие направления: 1) 1,2,4; 2) 2,3,5; 3) 3,4,6; 4) 4,5,7; 5) 5,6,1; 6) 6,7,2; 7) 7,1,3.

В данном случае $S=3, m=n=7, p=3, r=1$, поэтому, вычислив неизвестные по общей формуле (58), можно считать их полученными из одного приема с одинаковым весом $P = \frac{7}{3}$.

Деление направлений на группы. Действующими инструкциями при наблюдении на пункте более 8 направлений предусматривается деление их на группы, с обязательным включением в каждую группу общего для всех групп начального направления. Затем каждая группа наблюдается самостоятельно положенным числом полных круговых приемов.

Результат таких наблюдений, строго говоря, не представляется одним рядом направлений.

Косвенные измерения

Общие сведения. Обработка результатов косвенных измерений (придерживаясь терминологии, принятой в [25]) выполняется одним из следующих двух способов уравнивания: параметрическим, коррелятным.

Оба способа основаны на методе наименьших квадратов и приводят к одному и тому же результату. Их теоретическая основа и вопросы применения на практике излагаются во многих монографиях, учебниках и руководствах.

Параметрический способ. Непосредственно измеренные величины X_i с весами $p_i, i=1, \dots, n$, выражают через вспомогательные — «необходимые неизвестные» — T_j при помощи параметрических уравнений

$$X_i = f_i(T_1, \dots, T_k), \quad i = 1, \dots, n.$$

Обозначив \tilde{X}_i, \tilde{T}_j — приближенные и \bar{X}_i, \bar{T}_j — уравненные значения соответственно величин X_i, T_j ; а v_i, τ_j — поправки к приближенным значениям, определяют

где l_k и μ_k — соответственно средняя длина и номинальная относительная погрешность стороны k -го класса.

Пример 1. Пункты P и P_i соединены одной стороной класса III-Д и тремя сторонами класса IV-Д, средние длины которых на участке соответственно равны 200 и 100 м. Принимая $\mu_1 = 1/10\,000$ и $\mu_2 = 1/5000$ (см. стр. 334), получим

$$r_i^2 = (200 \cdot 1/10000)^2 + 3 \cdot (100 \cdot 1/5000)^2,$$

откуда $r_i = 0,04$ м.

Пример 2. Пункты P_1 и P_2 лежат на концах стороны класса III-Д длиной 200 м, с которой производится разбивка осей или контуров зданий или сооружений. Требуется оценить погрешности r_1 и r_2 . Принимая за начальный пункт P середину данной стороны, получим

$$r_1 = r_2 = \sqrt{(100 \cdot 1/10000)^2} = 0,01 \text{ м.}$$

Строгая оценка точности положения отдельного пункта относительно исходных учитывает погрешности измеренных параметров (углов, длин), послуживших для определения данного пункта, и погрешности r_i в положении исходных пунктов.

Наиболее полная информация о погрешности определения пункта P_0 относительно исходных пунктов P_i ($i=1, 2, 3$) может быть получена по формуле

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{D^2} [\sigma_1^2 \sin^2(\alpha - \alpha_2) - 2\sigma_{12} \sin(\alpha - \alpha_1) \sin(\alpha - \alpha_2) + \sigma_2^2 \sin^2(\alpha - \alpha_1)]; \quad D = \sin(\alpha_2 - \alpha_1),$$

где σ_α — средняя квадратическая погрешность пункта P_0 по направлению, имеющему дирекционный угол α .

Входящие в эту формулу параметры σ_1 , σ_2 , σ_{12} , α_1 , α_2 зависят от средних квадратических круговых погрешностей r_i исходных пунктов P_i ($i=1, 2, 3$) и от средних квадратических погрешностей измеренных величин: $m_{i,0}$ — стороны $S_{i,0}$ и m_{iju} — угла $\beta_{iju} = \alpha_{ju} - \alpha_{ji}$, где α_{ki} — дирекционный угол направления с пункта P_k на пункт P_i .

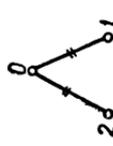
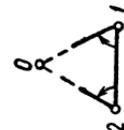
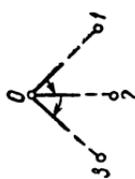
Корень квадратный из суммы квадратов средних квадратических погрешностей σ_α и $\sigma_{\alpha'}$ по двум взаимно перпендикулярным направлениям α и $\alpha' = \alpha + 90^\circ$ равен средней квадратической круговой погрешности r положения определяемого пункта. В частности, $\sigma_\alpha = \sigma_x$ и $\sigma_{\alpha'} = \sigma_y$, где σ_x и σ_y соответственно средние квадратические погрешности координат x и y определяемого пункта

$$r^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_{\alpha'}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2.$$

В табл. 28 приведены значения параметров σ_1 , σ_2 , σ_{12} , α_1 , α_2 и γ для четырех основных типов засечек.

Значение величины r может быть вычислено непосредственно по формуле

$$r^2 = \frac{1}{D^2} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12} \cos \gamma).$$

Параметр	Засечки			Обратно-угловая
	линейная	линейно-угловая	угловая	
σ_1^2	 $m_{10}^2 + \frac{1}{2} r_1^2$	 $m_{10}^2 + \frac{1}{2} r_1^2$	 $m_{210}^2 S_{10}^2 + \frac{1}{2} r_{12}^{2*}$	 $m_{102}^2 \frac{S_{10}^2 - S_{20}^2}{S_{12}^2} + \frac{1}{2} r_{12}^2$
σ_2^2	$m_{20}^2 + \frac{1}{2} r_2^2$	$m_{210}^2 S_{10}^2 + \frac{1}{2} r_1^2$	$m_{120}^2 S_{20}^2 + \frac{1}{2} r_{12}^2$	$m_{203}^2 \frac{S_{02}^2 S_{03}^2}{S_{23}^2} + \frac{1}{2} r_{23}^2$
α_{12}	0	$\frac{1}{2} r_1^2 \frac{S_{20} \sin \beta_{021}}{S_{12}}$	$\frac{1}{2} r_{12}^2 \cos \beta_{102}$	$-\frac{1}{2} r_2^2 \frac{S_{10} S_{30}}{S_{12} S_{23}}$
α_1	α_{10}	α_{10}	$\alpha_{10} + 90^\circ$	$\alpha_{10} - \alpha_{21} + \alpha_{30} - 90^\circ$
α_2	α_{30}	$\alpha_{10} + 90^\circ$	$\alpha_{20} + 90^\circ$	$\alpha_{20} - \alpha_{10} + \alpha_{30} - 90^\circ$
γ	$\alpha_{20} - \alpha_{10}$	90°	$\alpha_{20} - \alpha_{10}$	$(\alpha_{30} - \alpha_{10}) + (\alpha_{21} - \alpha_{31}) \pm 180^\circ$

* В целях упрощения записи введено обозначение

$$r_{ik}^2 = r_i^2 \frac{S_{k0}^2}{S_{ik}^2} + r_k^2 \frac{S_{i0}^2}{S_{ik}^2}$$

Для построения эллипса средних квадратических погрешностей определяют его большую a и малую b полуоси

$$a \pm b = \sqrt{r^2 \pm c^2},$$

где

$$c^2 = \frac{2}{D} \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2 - \sigma_{12}^2}; \quad D = \sin \gamma.$$

Дирекционный угол α_b направления малой полуоси эллипса b выражается формулой

$$\operatorname{tg} 2(\alpha_b - \alpha_1) = \frac{\sigma_1^2 \cos \gamma - \sigma_{12}}{D \left(\frac{1}{2} r^2 - \sigma_1^2 \right)}.$$

Пример 1. Линейная засечка. Дано $s_{12} \approx s_{10} \approx s_{20} \approx 20$ м;

$$\frac{m_{10}}{S_{10}} = \frac{m_{20}}{S_{20}} = \frac{1}{5000}; \quad r_1 = r_2 = 0,005 \text{ м.}$$

Вычислить средние квадратические погрешности σ_α и $\sigma_{\alpha'}$ в положении определяемой точки O по направлениям: α — параллельно-му стороне 1—2 и α' — перпендикулярному к нему.

По формулам табл. 28 находим $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,0047$ м. Принимая $\alpha_{12} = 0^\circ$, получим $\alpha_1 = \alpha_{10} = 60^\circ$; $\alpha_2 = \alpha_{20} = 120^\circ$ и $\gamma = 60^\circ$.

Далее: $\alpha = 0^\circ$; $\alpha^1 = 90^\circ$; $\alpha - \alpha_1 = -60^\circ$; $\alpha - \alpha_2 = -120^\circ$; $\alpha^1 - \alpha_1 = 30^\circ$; $\alpha^1 - \alpha_2 = -30^\circ$.

Произведя вычисления по общей формуле, получим $\sigma_\alpha = 0,0047 \approx 0,005$; $\sigma_{\alpha'} = 0,0027 \approx 0,003$ м.

Пример 2. Полярный способ. Дано: $s_{12} \approx s_{10} \approx s_{20} \approx 20$ м; $\beta_{210} \approx 60^\circ$; $\frac{m_{10}}{S_{10}} = 1/5000$; $m_{210} = 30'' = 0,0001454$ рад; $r_1 = r_2 = 0,005$ м.

Вычислить среднюю квадратическую круговую погрешность в положении определяемой точки O .

Последовательно вычисляем вспомогательные величины:

$m_{210} \cdot s_{10} = 0,0029$; $r_{12} = \sqrt{2} \cdot 0,005 = 0,0071$; $\sigma_1 = 0,0047$ м; $\sigma_2 = 0,0058$ м; $\sigma_{12} = 0,0000108$ м², $\gamma = \alpha_2 - \alpha_1 = 90^\circ$.

Затем находим $r = 0,0075$.

Пример 3. Угловая засечка. Дано: $s_{12} \approx s_{10} \approx s_{20} \approx 200$ м; $\beta_{021} \approx \beta_{210} \approx 60^\circ$; $r_1 = r_2 = 0,020$ м; $m\beta = 15'' = 0,0000727$ рад.

Требуется вычислить элементы эллипса средних квадратических погрешностей (эллипса рассеивания) положения пункта O .

Первоначально определяем величины $m_\beta \cdot s_{10} = 0,0145$; $r_{12} = 0,028$; $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,025$; $\sigma_{12} = 0,00020$; $\alpha_{12} = 0^\circ$; $\alpha_1 = 150^\circ$; $\alpha_2 = 210^\circ$; $\gamma = 60^\circ$; $\sin \gamma = 0,8660$; $\cos \gamma = 0,5000$; $\operatorname{cosec} \gamma = 1,1547$; $\operatorname{cosec}^2 \gamma = 1,3333$.

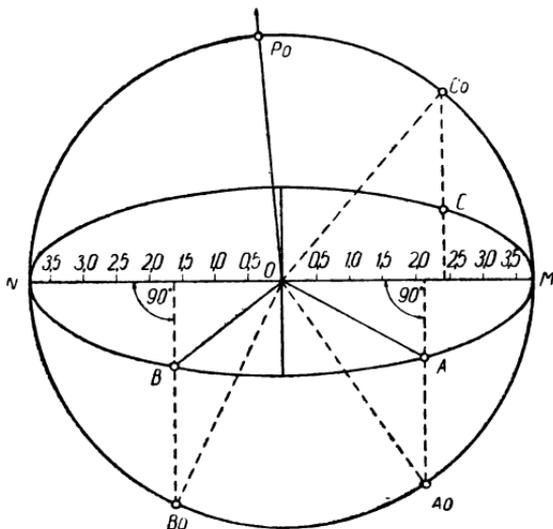
Затем находим: $r^2 = 10^{-4} \cdot 14$; $c^2 = 10^{-4} \cdot 13,67$; $a + b = 10^{-2} \cdot 5,26$; $a - b = 10^{-2} \cdot 0,57$, откуда определяем $a = 0,029$ м и $b = 0,023$ м.

Наконец, вычисляем дирекционный угол α_a направления большой оси эллипса рассеивания: $\sigma_{12} - \sigma_1^2 \cos \gamma = -10^{-4} \cdot 1,125$; $D \left(\sigma_1^2 - \frac{1}{2} r^2 \right) = -10^{-4} \cdot 0,75$; $\operatorname{tg} 2(\alpha_a - \alpha_1) = 1,731$; $2(\alpha_a - \alpha_1) = 240^\circ$; $\alpha_a - \alpha_1 = 120^\circ$ и $\alpha_a = 270^\circ$ (или 90°).

Таким образом, большая ось эллипса рассеивания перпендикулярна к стороне 1—2, а малая — параллельна ей.

Вообще, при симметричном способе определения пункта θ относительно пунктов 1 и 2 большая ось эллипса рассеивания будет параллельна или перпендикулярна к направлению стороны 1—2.

Рис. 38. Эллипс средних квадратических погрешностей



Пример 4. Применение эллипса рассеивания. Дано: $\sigma_1 = 2,37$ см, $\sigma_2 = 1,97$ см, $\sigma_{12} = -1,751$; $\alpha_1 = 150^\circ$, $\alpha_2 = 210^\circ$.

Требуется построить эллипс средних квадратических погрешностей (эллипс рассеивания).

Аналогично предыдущему вычисляем $a = 3,618$; $b = 1,382$; $\alpha_a = 95^\circ 09'$; $\alpha_b = 185^\circ 09'$.

Используя размеры полуосей a и b , построение эллипса можно выполнить различными способами, в частности, по координатам, применяя известные формулы

$$x = a \cos u;$$

$$y = b \sin u,$$

где $u = \alpha - \alpha_a$, так, для точки A (рис. 38) $u = MOA_0$ и т. д. При этом ось абсцисс совпадает с большой полуосью, эллипса, а ось ординат — с малой его осью.

На рис. 38 окружность $P_0C_0MA_0B_0N$ описана вокруг точки θ

(центра эллипса) радиусом, равным a ; OP_0 — начальное направление, дирекционный угол которого принят за 0° ; OM — большая полуось эллипса (a); $\angle P_0OM = \alpha_\alpha$ ($95^\circ 09'$); $\angle P_0OA_0 = \alpha_1$ (150°); $P_0OB_0 = \alpha_2$ (210°); $\angle A_0OB_0 = \gamma$ (60°); $AO = \sigma_1$ (2,37); $OB = \sigma_2$ (1,97); $\angle AOB = \psi$ (112°); $\cos \psi$ — коэффициент корреляции ($-0,3746$).

Контроль: $\cos \psi = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}$ ($-0,3749$).

Для определения величины среднего квадратического отклонения (погрешности) по заданному направлению, например, $\alpha = 45^\circ$, нужно построить данное направление от начального (см. рис. 38) $\angle P_0OC_0 = \alpha$ (45°), опустить на большую ось перпендикуляр из полученной на окружности точки C_0 ; заметить точку C в пересечении этого перпендикуляра с эллипсом и измерить расстояние OC . Это расстояние (2,55 м) и будет соответствовать значению средней квадратической погрешности σ по заданному направлению.

8. ТЕХНИКА ВЫЧИСЛЕНИИ

Общие сведения

Развитие электронной вычислительной техники непрерывно расширяет круг задач, которые эффективно решаются с помощью цифровых вычислительных машин (ЦВМ) и аналоговых устройств. Однако для сравнительно небольших вычислений применение ЦВМ пока нерентабельно. Существует мнение, что использование ЦВМ нецелесообразно в тех случаях, когда время ввода исходных данных и печатания результата соизмеримо со временем, необходимым для выполнения вычислений (счета). Иначе говоря, по организационным и экономическим соображениям небольшие расчеты, занимающие несколько дней счета на клавишных вычислительных машинах, выполнять на ЦВМ в настоящее время не следует.

Ниже приводятся некоторые сведения, относящиеся преимущественно к геодезическим расчетам с помощью клавишных вычислительных машин.

Запись и округление приближенных чисел

В десятичной системе положительное число A представляется многочленом

$$A = a_n 10^n + a_{n-1} 10^{n-1} + \dots + a_1 10^1 + a_0 + a_{-1} 10^{-1} + a_{-2} 10^{-2} + \dots$$

где a_i — число, соответствующее одной из цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (причем $a_n \neq 0$); n — целое число, зависящее от A .

Этот многочлен записывается сокращенно «позиционной записью»: $A = a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0 a_{-1} a_{-2} \dots$

В такой символической записи каждая цифра имеет значение не только в зависимости от ее начертания, но и от занимаемого ею места — разряда. Округление числа состоит в уменьшении количества его значащих цифр, иначе — в сокращении количества разрядов. Так, округлить число 3,03274 до четвертой значащей цифры равносильно округлению того же числа до минуса третьего разряда (до

тысячных); ответ: 3,033. Округление (обычное) выполняют так, чтобы модуль погрешности округления был не больше 0,5 единицы последнего сохраняемого разряда.

Стандарт округления некоторого числа на r разрядов в единицах последнего сохраняемого разряда определяется формулой

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{6} \sqrt{1 + 2 \cdot 10^{-2r}}.$$

Практически среднюю квадратическую погрешность округления (стандарт округления) принимают равной $\frac{\sqrt{3}}{6} = 0,29$ единицы последнего сохраняемого разряда. Предельная погрешность округления равна 0,5 единицы последнего сохраняемого разряда.

Как правило, числа, участвующие в вычислениях, являются приближенными (неточными). Все приближенные числа, включаемые в расчеты, должны быть представлены не только своей величиной, но и оценкой погрешности этой величины, т. е. ее стандартом (средней квадратической погрешностью) или предельной погрешностью (гораздо реже).

Обычно вполне достаточно знать погрешность приближенного числа с точностью до 5%, а для этого следует записывать значения погрешностей с двумя значащими цифрами (в десятичной системе). Само же приближенное число нужно округлять до того же разряда, что и его погрешность. Например, из измерений получена длина линии $S = 245,383$ м со средней квадратической погрешностью $m = 0,1227$ м. Этот результат следует записать так:

$$S = 245,38 \pm 0,12 \text{ с доверительной вероятностью } 0,683.$$

Средняя квадратическая погрешность m' округленного приближенного числа a' равна корню квадратному из суммы квадратов средних квадратических погрешностей: m приближенного числа a до его округления и $\sigma_{\text{окр}}$ — погрешности округления до r -го разряда

$$m' = \sqrt{m^2 + \sigma_{\text{окр}}^2}.$$

Для рассмотренного примера получим

$$m' = \sqrt{(0,1227)^2 + (0,0029)^2} = \sqrt{0,0150637} = 0,12273.$$

В соответствии с указанным выше правилом этот результат должен быть округлен до двух значащих цифр, т. е. $m' = 0,12$.

Следовательно, практически приближенное число после его округления имеет ту же среднюю квадратическую погрешность, что и до его округления ($m' = m$).

Вычисление тригонометрических функций малых углов. В практике геодезических вычислений часто приходится иметь дело с тригонометрическими функциями малых углов. Имеется возможность заменить точные формулы приближенными, используя следующие степенные ряды:

$$\sin x = x - \frac{1}{6} x^3 + \frac{1}{120} x^5 - \dots;$$

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{1}{3} x^3 + \frac{2}{15} x^5 + \dots;$$

$$\cos x = 1 - \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{24} x^4 - \dots;$$

$$\operatorname{ctg} x = \frac{1}{x} \left(1 - \frac{1}{3} x^2 - \frac{1}{45} x^4 - \dots \right),$$

где x — величина угла, выраженная в радианах. Если значение угла выражено в секундах, то предварительно его нужно разделить на 206264,81" или умножить на 0,0000048481368".

Пример. Требуется определить величину $\sin 1^\circ 13' 48''$ с точностью до шести значащих цифр.

Имеем:

$$x = 1^\circ 13' 48'' = 4428'' = 0,02146755;$$

$$- \frac{1}{6} x^3 = - 0,00000165;$$

$$+ \frac{1}{120} x^5 = + 0,00000000;$$

$$\sin x = 0,0214659.$$

Очевидно, приведенные формулы выгодно применять в тех случаях, когда для достижения требуемой точности достаточно в правой части равенства удержать один-два члена. Данные формулы пригодны и для решения обратной задачи — определения величины малого угла по заданной величине тригонометрической функции.

Определение неизвестного методом приближений. В практике часто приходится определять неизвестную величину из уравнения, решение которого в общем виде затруднительно. В этом случае оказывается полезным метод приближений.

Пример. Требуется решить задачу, обратную рассмотренной выше. По заданному $\cos x = 0,99980895$ требуется определить значение угла x с точностью до 1".

Имеем

$$\frac{1}{2} x^2 - \frac{1}{24} x^4 + \dots + 1 - \cos x = 0,000191050.$$

Так как x величина малая, то для начала можно считать, что член $\frac{1}{24} x^4$ равен нулю. Тогда, обозначив первое приближение для x через x_1 , будем иметь: $x_1^2 = 0,000382100$ и $x_1 = 0,0195474$. Для получения более точного результата — второго приближения x_2 нужно учесть величину отброшенного ранее члена $\frac{1}{24} x^4$, подставив в него вместо x полученное выше значение x_1 , найдем

$$\frac{1}{2} x_2^2 = (1 - \cos x) + \frac{1}{24} x_1^4 = 0,000191050 + 0,000000006 =$$

$= 0,000191056$; откуда $x_2 = 0,0195477 = 4032'' = 1^{\circ}07'12''$,

Часто требуется определить горизонтальное положение d , зная наклонное расстояние D и превышение h . Хотя для данного случая имеется формула $d = \sqrt{D^2 - h^2}$, на практике выгодно использовать метод приближений. Имеем

$$h^2 = D^2 - d^2 = (D - d)(D + d)$$

Если в эту формулу ввести величину $\Delta = D - d$, то получим

$$\Delta = \frac{h^2}{D + d} = \frac{h^2}{2D - \Delta}.$$

В правую часть равенства вошла неизвестная величина Δ . Принимая ее первоначально за нуль, получим первое приближение

$$\Delta_1 = \frac{h^2}{2D}.$$

Для второго приближения будем иметь

$$\Delta_2 = \frac{h^2}{2D - \Delta_1}$$

и т. д. Однако практически второе приближение уже требуется при значительных превышениях.

Пример. Определить d по значениям $D = 213,46$ и $h = 21,63$.

Имеем $\Delta_1 = 463 : 427 = 1,1$ и $\Delta_2 = 467,9 : 425,8 = 1,1$ м.

Следовательно, $d = D - h = 213,46 - 1,1 = 212,36$.

Косвенное вычисление значения искомой величины

Довольно часто непосредственное вычисление искомой величины заменяют ее косвенным определением, находя для этого соответствующую поправку. Здесь уместно сослаться на предыдущие примеры, а также на известную формулу вычисления горизонтального проложения d , когда даны значение D наклонной линии местности и угол наклона α , т. е. $d = D \cos \alpha$.

Из формулы $\Delta = D - d$ получим

$$d = D - \Delta, \text{ где } \Delta = 2D \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

Пусть из измерений получено: $D = 213,46$ м и $\alpha = 5^{\circ}49'$. Тогда, чтобы получить результат с точностью до 0,01 м, при непосредственном определении величины d нужно использовать пятизначные таблицы, в то время как косвенный способ позволяет ограничиться таблицами с тремя знаками. Действительно,

$$d = D \cos \alpha = 213,46 \cdot 0,99485 = 212,36;$$

$$\Delta = 2 \cdot 213,5 (0,0507)^2 = 427 \cdot 0,00257 = 1,1;$$

$$\text{после чего } D - \Delta = d = 213,46 - 1,1 = 212,36.$$

Таким образом, смысл перехода от непосредственного вычисления самой величины к определению поправки заключается в переходе от действий над числами с большим числом значащих цифр к операциям над числами, содержащими меньшее число значащих цифр. Последнее обстоятельство позволяет применять для расчетов поправок логарифмические линейки, номограммы и всевозможные вспомогательные таблицы, значительно облегчающие и ускоряющие процесс вычислений.

Вычисление среднего арифметического

Весьма распространенным элементом вычислений является определение среднего арифметического из данного ряда чисел.

Если числа ряда разнятся незначительно, например 126,36; 126,71; 126,13; 126,55, то среднее арифметическое удобно вычислять не по общей формуле

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

а по видоизмененной:

$$x_0 = x + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x),$$

где x — некоторое число, причем разность $(x_i - x)$ — величина малая. За x часто берут наиболее подходящее круглое число. Так, для приведенного ряда чисел $x = 126$, тогда

$$x_0 = 126 + \frac{1}{4} (0,36 + 0,71 + 0,13 + 0,55) = 126,44.$$

За x можно принять и одно из данных чисел x_i — лучше всего меньшее из них. Этот прием более целесообразен при малом значении n .

Пример. Дано: $x_1 = 1189$ и $x_2 = 1163$, определить их среднее арифметическое. В соответствии со сделанным указанием

$$x_0 = 1163 + \frac{1}{2} (1189 - 1163) = 1176.$$

Если два числа записаны одно под другим $\begin{pmatrix} 1189 \\ 1163 \end{pmatrix}$, то среднее арифметическое находят для цифр одноименных разрядов, начиная слева направо. Так, для рассмотренного примера: из 11 и 11 среднее будет 11, из 8 и 6 — 7, а из 9 и 3 — 6, т. е. среднее равно 1176.

Решение элементарных задач

В геодезической практике встречаются разнообразные задачи, которые состоят из ряда элементарных задач. При вычислении геодезической плановой основы на плоскости чаще приходится решать следующие элементарные задачи: переход от полярных координат к прямоугольным (прямая задача — «первая задача на координаты») и, наоборот, от прямоугольных координат переходить к полярным (обратная — «вторая задача на координаты»), а также «решать треугольник», т. е. по заданным трем его элементам находить остальные.

При вычислениях нужно стремиться к наиболее целесообразному расположению числового материала. Для достижения этого предварительно составляют схему, которая позволяет каждое получаемое число помещать на свое, заранее намеченное место. Схема вычислений зависит от точности расчетов, наличия вычислительных средств, числа решаемых (однотипных) задач, навыка и опытности исполнителя.

Если предстоит решить лишь одну задачу данного типа, то вычисления желательно расположить на всю ширину листа, а в случае решения целого ряда одинаковых задач весь материал, относящийся к решению одной задачи, может быть помещен в узком вертикальном столбце (графе). Такая схема должна предусматривать контроль вычислений. Стандартная, заранее составленная схема вычислений (бланк), принятая для определенных, часто встречающихся расчетов, называется формуляром.

Ниже приводятся решения наиболее распространенных элементарных задач и даются примерные образцы схем вычислений.

Прямая задача. Даны координаты $x_1 = 1329,826$; $y_1 = -838,901$ пункта P_1 , а также расстояние $s_{12} = 279,217$ м и дирекционный угол $\alpha_{12} = 356^\circ 09' 26,6''$ стороны P_1P_2 . Определить координаты пункта P_2 .

Вычисления выполняются по формулам

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{12}; \quad \Delta x_{12} = s_{12} \cos \alpha_{12};$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{12}; \quad \Delta y_{12} = s_{12} \sin \alpha_{12}.$$

В табл. 29 представлена примерная схема вычислений.

Т а б л и ц а 29

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
s_{12}	279,217	α_{12}	$356^\circ 09' 26,6''$
$\cos \alpha_{12}$	+0,997752	$\sin \alpha_{12}$	-0,067016
x_1	+1329,826	y_1	-838,901
Δx_{12}	+278,589	Δy_{12}	-18,712
x_2	+1608,415	y_2	-857,613

Обратная задача. Даны координаты двух пунктов P_1 и P_2 : $x_1 = +1329,826$; $y_1 = 2838,901$; $x_2 = +1608,415$; $y_2 = -857,613$.

Требуется определить дирекционный угол α_{12} и длину отрезка линии s_{12} между пунктами. В табл. 30 приведено решение.

Т а б л и ц а 30

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
x_2	+1608,415	y_2	-857,613
x_1	+1329,826	y_1	-838,901
Δx_{12}	+278,589	Δy_{12}	-18,712
α_{12}	356° 09' 26,6"	$\text{tg } \alpha_{12}$	-0,067167
$\text{sec } \alpha_{12}$	+1,002253	$\text{cosec } \alpha_{12}$	-14,9218
S_{12}	279,217	S_{12}	279,217

Вычисления выполняются по формулам

$$\text{tg } \alpha_{12} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}}; \quad \alpha_{12} = \arctg \frac{\Delta y_{12}}{\Delta x_{12}};$$

$$S_{12} = \Delta x \cdot \text{sec } \alpha_{12} = \Delta y_{12} \text{ cosec } \alpha_{12}.$$

При решении обратной задачи имеется надежный контроль — дважды получаемое значение s_{12} , а при решении прямой задачи контроль рекомендуется осуществлять во «вторую руку».

Чтобы не допустить грубого промаха, следует строить по исходным данным схемы (в масштабе) и по ним с графической точностью определять искомые величины.

Решение треугольника по трем углам и стороне (третий угол необходим для контроля измерений). Пусть даны: сторона $a = 254,03$ м; предварительно уравненные углы $A = 37^\circ 23'$, $B = 72^\circ 12'$, $C = 70^\circ 25'$. Требуется определить значения сторон b и c .

Решение ведется по формулам

$$b = k \sin B; \quad c = k \sin C,$$

где

$$k = \frac{a}{\sin A} = a \text{ cosec } A.$$

В табл. 31 помещены исходные данные и результаты вычислений.

Т а б л и ц а 31

Номер треугольника	Обозначение вершин	Углы	Синусы углов	Длины сторон, м	Сосес A	k
1	A	37° 23'	0,60714	254,03	1,64705	418,40
	B	71° 12'	0,95213	398,37	—	—
	C	70° 25'	0,94215	394,20	—	—

Промежуточным контролем служит тождество $k \sin A = a$. Контроль окончательного результата — «второй рукой».

Решение треугольника по трем сторонам. Даны три стороны a, b, c ; требуется определить углы A, B, C .

Вычисления выполняются по формулам

$$\operatorname{tg}^2 \frac{A}{2} = \frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}; \quad \operatorname{tg}^2 \frac{B}{2} = \frac{(p-c)(p-a)}{p(p-b)};$$

$$\operatorname{tg}^2 \frac{C}{2} = \frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}, \quad \text{где } p = \frac{1}{2}(a+b+c).$$

При этом целесообразно использовать таблицы [35], позволяющие по значению $\operatorname{tg}^2 \frac{x}{2}$ получить непосредственно угол x . В табл. 32 приведено решение треугольника по данным предыдущего примера (длины сторон выражены в согнях метров).

Т а б л и ц а 32

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
a	2,5403	$p-a$	2,6927	$(p-b)(p-c)$	1,61285
b	3,9837	$p-b$	1,2493	$(p-c)(p-a)$	3,47628
c	3,942	$p-c$	1,291	$(p-a)(p-b)$	3,36399
$2p$	10,466	p	5,233		
$p(p-a)$	14,0909	$\operatorname{tg}^2 \frac{A}{2}$	0,11446	A	$57^\circ 23'$
$p(p-b)$	6,53759	$\operatorname{tg}^2 \frac{B}{2}$	0,53174	B	$71 \quad 12$
$p(p-c)$	6,7558	$\operatorname{tg}^2 \frac{C}{2}$	0,49794	C $A+B+C$	$70 \quad 25$ $180 \quad 00$

Определение углов треугольника при помощи функции $\cos x$ ведет к потере точности, особенно ошутимой при углах, близких к 90° .

Решение треугольника по двум сторонам и углу, заключенному между ними. Дано: стороны a, c и $\angle B$; требуется определить углы A, C и сторону b .

Задача решается по формулам:

$$\operatorname{ctg} A = \left(\frac{c}{a} - \cos B \right) \operatorname{cosec} B; \quad \operatorname{ctg} C = \left(\frac{a}{c} - \cos B \right) \operatorname{cosec} B;$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$$

$$\text{Контроль: } A + B + C = 180^\circ; \quad a \operatorname{cosec} A = c \operatorname{cosec} C = k;$$

$$b = k \sin P$$

В табл. 33 помещены исходные данные примера и результаты вычислений.

Таблица 33

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
a	254,03	B	$72^\circ 12'$	$\operatorname{ctg} A$	1,30874
c	394,2	$\sin B$	0,95213	A	$37^\circ 23'$
$\frac{c}{a}$	1,55179	$\cos B$	0,3057	$\operatorname{cosec} A$	1,64705
$\frac{a}{c}$	0,64442	$\operatorname{cosec} B$	1,05028	$\operatorname{ctg} C$	0,35575
$\frac{c}{a} \frac{a}{c}$	1,000005	a^2+c^2	219925	C	$70^\circ 25'$
$\frac{c}{a} - \cos B$	1,24609	$2ac \cos B$	61225	$\operatorname{cosec} C$	1,0614
$\frac{a}{c} - \cos B$	0,33872	b^2	158700	k	418,4
ac	100139	b	398,37	$A+B+C$	$180^\circ 00'$

Вычисления нельзя считать законченными, пока не сделана тем или иным способом проверка. Контрольные вычисления оправдывают себя даже в том случае, если они требуют большей затраты труда, чем основные расчеты.

Дело в том, что ошибка, допущенная в самом начале вычислений делает всю последующую работу, какой бы безошибочной она ни была, непригодной. Более сложные расчеты следует проверять по частям, по возможности, контролируя каждый промежуточный результат. Контрольные вычисления лучше делать по другим формулам, таблицам и другим исполнителем, что позволит обнаружить все просчеты.

Применение специальных таблиц

В процессе вычислений кроме обычных таблиц (например, значений тригонометрических функций) нужно максимально использовать существующие специальные таблицы.

При геодезических вычислениях могут быть использованы следующие специальные таблицы:

степеней чисел. Эти таблицы позволяют непосредственно получать некоторые степени числа N . Так, из таблиц Барлоу можно написать: N^{-1} , $N^{1/3}$, $N^{1/2}$, $(N \cdot 10)^{1/2}$, N^2 и N^3 ;

натуральных значений шести тригонометрических функций [47], в которых аргумент дан в градусной мере (градусах, минутах и секундах), в долях градуса и в радианной мере. Кроме того, они содержат значения показательных и гиперболических функций;

содержащие величины $\operatorname{tg} \frac{x}{2}$ и $\operatorname{tg}^2 \frac{x}{2}$ с пятью значащими цифрами [35];
 математической статистики [6].

Интерполирование

Применение интерполирования весьма многообразно, но особенно большое значение оно имеет при использовании различных таблиц.

Пусть дано два значения y_1 и y_2 некоторой функции, соответствующих значениям x_1 и x_2 аргумента. Определение по этим данным некоторого промежуточного значения y , адекватного значению аргумента x , где $x_1 \leq x \leq x_2$, является наиболее простым случаем интерполирования. Если интервал $(x_2 - x_1)$ достаточно мал, то можно допустить, что функция на этом участке совпадает с прямой и значение y независимо от вида функции определится по формуле линейного интерполирования

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1). \quad (60)$$

В табл. 34 приведены с пятью десятичными знаками значения синуса для углов от $16^\circ 20'$ до $16^\circ 50'$ с 10-минутным интервалом — шагом аргумента. Для облегчения вычислений разности $(y_2 - y_1)$, называемые первыми разностями Δ' , часто помещают в таблицах, обычно они даются в единицах последнего десятичного знака, т. е. вместо 0,00279 пишут 279 и т. д.

Т а б л и ц а 34

x	$y = \sin x$	Δ'
$16^\circ 20'$	0,28123	
$16^\circ 30'$	0,28402	0,00279
$16^\circ 40'$	0,28680	0,00278
$16^\circ 50'$	0,28959	0,00279

Т а б л и ц а 35

x	$y = \sin x$	Δ'	Δ''
15°	0,25882		
16°	0,27564	0,01682	
17°	0,29237	0,01673	-0,00009
18°	0,30902	0,01665	-0,00008

Пользуясь табл. 34, можно вычислить с помощью линейного интерполирования значение синуса любого угла, большего $16^\circ 20'$ и меньшего $16^\circ 50'$, с точностью до единицы пятого десятичного знака; например, $\sin 16^\circ 37,4'$. В данном случае: $y_2 - y_1 = 0,28680 - 0,28402 = 0,00278$; $x_2 - x_1 = 16^\circ 40' - 16^\circ 30' = 10'$ и $x - x_1 = 16^\circ 37,4' - 16^\circ 30' = 7,4'$. По формуле (60) найдем

$$y = 0,28402 + \frac{0,00278}{10} \cdot 7,4 = 0,28402 + 0,00206 = 0,28608.$$

Линейное интерполирование дает надежный результат только в том случае, если соседние первые разности отличаются друг от друга не более чем на четыре единицы последнего знака. В рассмот-

ренном примере (табл. 34) это условие выполняется и ошибка полученного значения синуса не превышает единицы последнего знака. Формуле (60) можно придать более простой вид

$$y = y_1 + \overline{\Delta x} \cdot \Delta', \quad (61)$$

где $\Delta' = y_2 - y_1$ есть первая разность и $\overline{\Delta x} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ — относительное приращение аргумента, выраженное в долях шага его.

Чем больше шаг аргумента, тем больше первые разности и тем сильнее они отличаются друг от друга. Значения синусов углов от 15 до 18° с шагом аргумента 1° даны в табл. 35. Так как смежные первые разности отличаются более чем на четыре единицы последнего знака, то при интерполировании надо учитывать вторые разности Δ'' :

$$y = y_1 + \overline{\Delta x} \Delta' - \frac{1}{2} \overline{\Delta x} (1 - \overline{\Delta x}) \Delta''. \quad (62)$$

Для предыдущего примера имеем:

$$x_1 = 16^\circ; \quad \overline{\Delta x} = \frac{37,4}{60} = 0,6233;$$

$$1 - \overline{\Delta x} = 0,3767 \text{ и } \frac{1}{2} \overline{\Delta x} (1 - \overline{\Delta x}) = 0,12,$$

следовательно,

$$y = \sin 16^\circ 37,4 = 0,27564 + 0,01043 + 0,00001 = 0,28608.$$

Для решения обратной задачи — нахождения аргумента x по заданной функции y имеем формулу

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \overline{\Delta x} = \frac{y - y_1}{\Delta'} + \frac{1}{2} \left(\frac{y - y_1}{\Delta'} \right) \left[1 - \left(\frac{y - y_1}{\Delta'} \right) \right] \frac{\Delta''}{\Delta'} \quad (63)$$

Пример. По табл. 35 требуется определить угол, синус которого равен 0,28462. В табл. 36 приведены результаты вычислений.

Т а б л и ц а 36

Элементы формулы	Числовые значения	Элементы формулы	Числовые значения
y	0,28462	Δ'	0,01673
y_1	0,27564	Δ''	-0,00009
$(y - y_1)$	0,00898	$\Delta'' : \Delta'$	-0,0054
$(y - y_1) : \Delta'$	0,5368	$\overline{\Delta x} \cdot 60'$	32,166
Член с Δ''	-0,0007	x_1	16° 00'
$\overline{\Delta x}$	0,5361	x	16° 32,2'

Если вторые разности Δ'' не превышают по абсолютной величине четырех единиц последнего знака, то член с этой величиной практически равен нулю, т. е.

$$(x - x_1) : (x_2 - x_1) = (y - y_1) : \Delta'.$$

В табл. 37 представлены результаты решения предыдущей задачи по данным табл. 34.

Т а б л и ц а 37

Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
x_2	16° 40'	y	0,28462
x_1	16° 30'	y_1	0,28402
$(x_2 - x_1)$	10'	$y - y_1$	0,00060
$(x - x_1)$	2,2'	Δ'	0,00278
x	16° 32,2''	$(y - y_1) : \Delta'$	0,216

Таким образом, результаты совпали, но использование таблиц с меньшим шагом аргумента позволили упростить интерполирование. Вычисления, связанные с интерполированием и записанные в табл. 36 и 37, на практике выполняют значительно проще: большинство действий производят в уме и промежуточные записи опускают.

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Общие сведения

Геодезическая основа для строительства создается для производства геодезических, топографических, маркшейдерских и разбивочных работ.

Государственные геодезические сети [40], опорные геодезические сети городов, поселков, промышленных предприятий и сельскохозяйственного строительства [42] используются в качестве геодезической основы для строительства и, кроме того, на строительной площадке создается геодезическая разбивочная основа, которая подразделяется на главную и рабочую плановую и высотную основы.

Главная плановая и высотная основы должны обеспечить точность измерений и построений в плановом и высотном отношении при выполнении комплекса работ по выносу в натуру зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.

Главная плановая, высотная и рабочая основы создаются на основе проекта производства геодезическо-маркшейдерских работ (ППГР), при составлении которого производят:

сбор всех материалов, относящихся к опорным геодезическим сетям во всех организациях, производивших работы на территориях города или поселка в районе строительства, в территориальных инспекциях Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР, в управлениях (отделах) по делам строительства и архитектуры, а там, где должности главных архитекторов не учреждены в городских и поселковых Исполкомах депутатов трудящихся, в изыскательских и проектно-изыскательских организациях;

составление схемы расположения пунктов, ранее выполненных опорных геодезических сетей всех классов и разрядов в пределах проектируемых границ осуществления и развития строительства.

На основе этой схемы производят обследование пунктов в натуре, устанавливают степень пригодности их для наблюдений и объем работ, необходимый для их восстановления. Делают привязки пунктов к постоянным предметам местности.

Главная плановая основа

Главная плановая основа создается методом триангуляции, трилатерации и полигонометрии.

Проект триангуляции и трилатерации составляют на имеющемся плановом материале, при этом обязательно на план или карту наносят все найденные пункты ранее выполненной триангуляции или трилатерации, затем намечают местоположение пунктов проектируемой триангуляции или трилатерации, используя при этом командные высоты местности и здания, пункты существующей триангуляции и ее стороны.

Стороны эти могут служить для проектируемой триангуляции в качестве измеренных сторон, если относительная ошибка их определения выше измерения базисной стороны триангуляции.

Если триангуляция является самостоятельной или стороны существующей триангуляции не удовлетворяют требуемой точности проектируемой триангуляции, то в разных концах сети проектируют измерение не менее двух базисных сторон и определение дирекционного угла.

Вблизи триангуляционных пунктов, расположенных на зданиях, намечают два базиса в местах, наиболее удобных для угловых и линейных измерений. Базис выбирается длиной более 200 м; в исключительных случаях длина базисов допускается не менее 100 м. В дальнейшем на эти знаки переносят координаты с триангуляционного пункта.

Надстройки на зданиях намечают вдали от дымовых и вентиляционных труб с таким расчетом, чтобы визирные лучи проходили не ближе чем на 1 м от них.

Рекогносцировка пунктов опорной геодезической сети является одним из ответственных видов геодезических работ, она выполняется на основе утвержденных в установленном порядке технических проектов.

Основной задачей рекогносцировки является уточнение и определение на местности местоположения предусмотренных техническим проектом пунктов опорной геодезической сети. Однако рекогносцировка не должна сводиться к механическому переносу в натуру проектов сетей триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования, составленных на картах в масштабах 1:25000, 1:10000 или 1:5000. Не следует намечать пункты на сельскохозяйственных угодьях (бахчах, огородах). При невозможности избежать этого необходимо предупредить письменно о месте намечаемого знака с тем, чтобы площадка для постройки не была засеена какой-либо культурой.

Места для постройки пирамид и сигналов на незастроенных землях следует выбирать на водоразделах и командных высотах с расчетом обеспечения наиболее благоприятных условий прохождения визирного луча в 1,5 м над препятствием или поверхностью земли по каждому запроектированному направлению, избегая строительства высоких сигналов.

Следует избегать излишних, необоснованных действительной потребностью направлений, усложняющих наблюдения и уравнивание.

При рекогносцировке мест для возведения надстроек необходимо выбирать высокое каменное прочное здание. При постройке надстройки следует избегать поврежденных стропил, балок и других чердачных креплений и сооружений. При рекогносцировке полигонометрии руководствуются следующими правилами:

стороны полигонометрической сети должны намечаться по улицам или дорогам, наиболее благоприятным для линейных и угловых измерений; не рекомендуется выбирать направления, совпадающие с интенсивным пешеходным и транспортным движением. Линии с углами наклона более 5° в полигонометрических ходах IC класса, как правило, допускать не следует;

прохождение визирного луча между двумя смежными знаками должно быть не ниже 0,5 м от поверхности земли и местных предметов и не ближе 0,5 м от вертикальной поверхности;

для постановки полигонометрических знаков намечают места, обеспечивающие их сохранность и долговечность, а также удобную

установку над знаками теодолита и подход к ним с мерными приборами;

полигонометрические ходы должны пересекаться только в точках поворота, а не на линиях;

на застроенных территориях, по возможности, пункты полигонометрии следует закреплять стенными знаками;

при рекогносцировке необходимо предусматривать, чтобы угол между репером и стороной полигонометрии был в пределах $88-92^\circ$. От стенного полигонометрического знака до вспомогательной точки должно быть расстояние 2—12 м, чтобы иметь возможность получить длину с точностью не ниже 2 мм и теодолитом измерить угол θ ;

для того чтобы ослабить влияние на дирекционный угол стороны, закрепленной стенными знаками при указанной точности измерения углов (ошибка в центрировке ± 2 мм), необходимо обеспечить точность измерения угла θ , показанную в табл. 38 в зависимости от линейного элемента редукции.

Таблица 38

Угол θ , град	Требуемая точность измерения угла в с, при величине линейного элемента редукции, м			
	2	4	10	20
88—92	1180	600	230	120
80	230	117	46	23
70	113	56	22	11
60	71	35	14	7
50	50	25	10	5

На схему ходов полигонометрии наносят все отрекогносцированные знаки с указанием их типа и порядкового номера. В пояснительной записке приводят методику измерения углов и линий, а также все случаи определения недоступного расстояния, параллактические звенья, азимутальные центры, спрямление участков хода, передачу и определение дирекционных углов и др.

Центры пунктов геодезической сети всех разрядов должны закладываться в соответствии с приведенными типами знаков, помещенных в разделе II (с. 237—246). Старые центры перезакладке не подлежат, производится лишь необходимый ремонт их и оформление (возобновление канав и др.).

Триангуляция

Измерение базисов. Базисные (выходные) стороны триангуляции измеряются, как правило, различными светодальномерами (с. 22), а также 24-метровыми инварными проволоками (базисный прибор).

В табл. 39 приведено число приемов измерения сторон светодальномерами.

Таблица 39

Характеристика светодальномеров	Число приемов при разрядах триангуляции			
	1	2	3	4
С фотоэлектрической регистрацией светового потока	8	6	4	4
С визуальной фиксацией светового потока	12	8	6	6

Приемом считаются необходимые отсчеты, позволяющие однозначно определить измеряемое расстояние.

Предельное значение отклонения величины N (числа длин волн в измеряемом расстоянии) от целого числа не должно быть более 0,3 при визуальной фиксации светового потока. Температуру и давление воздуха определяют на станции, где установлен светодалномер.

Ниже приведены предельные разности в длинах сторон, определенных на различных частотах.

Предельные расхождения расстояний, см	Расстояния, км
4	0,5—1
5	Свыше 1—2
6	Более 2

Инварные проволоки эталонируются на стационарных компараторах не ранее чем за 2 мес. до измерения сторон и не позднее чем через 2 мес. после ее измерения. На каждую проволоку выдается свидетельство, определяющее ее длину на данное время, и термические коэффициенты, если они были неизвестны ранее (не даны заводом-изготовителем). Измеряются стороны по штативам или кольям сквозными ходами в прямом и обратном направлениях при температуре выше нуля. Нулевые концы шкал всегда должны быть сзади по ходу измерения.

Каждый пролет измеряется при одновременном взятии отсчетов по шкалам до 0,1 мм при трех сдвигах шкалы, колебания средних значений (П—З) между проволоками не должно быть более $\pm 0,3$ мм по отношению к разности их уравнений.

При нивелировании используют легкую двухстороннюю рейку длиной не более 1,8 м, устанавливаемую на целике при помощи круглого уровня, инструментами, обеспечивающими точность нивелирования IV класса.

После измерения стороны определяют ее окончательное значение по формуле

$$D = nl_0 + \Sigma(\Pi - 3) + \Delta_t - \Delta_h + \Delta_n \pm r,$$

где n — число раз уложенной проволоки;

l_0 — длина проволоки (24 м, 48 м и т. д.);

Δ_t — поправка за температуру, вычисляемая по формуле

$$\Delta_t = \{ \alpha (t_m - 20^\circ) + \beta (t_m^2 - 20^2) \} n,$$

где α и β — температурные коэффициенты на всю длину проволоки;

t_m — средняя температура участка в одном направлении;

n — число пролетов.

Поправка Δ_t вычисляется в микронах и округляется до сотых долей мм;

Δ_h — поправка за приведение к горизонту пролетов определяется по формуле

$$\Delta_h = \sum_1^h \left(\frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3} \right);$$

Δ_n — поправка за проектирование на рефференц — эллипсоид Красовского;

r — остаток, приведенный к горизонту и исправленный за температуру.

Для учета отклонения длины пролета от 24 м рекомендуется пользоваться таблицами поправок для приведения к горизонту линий, измеренных 24-, 48-метровыми приборами.

Измерение углов (направлений).

Измеряются направления (см. с. 66—67) на пунктах триангуляции IС класса по программе, в которую не входят направления на пункты IIС, IIIС и IVС классов. В наблюдения на пунктах с жесткими координатами необходимо включать два жестких пункта (высшего класса), имеющих хорошую видимость.

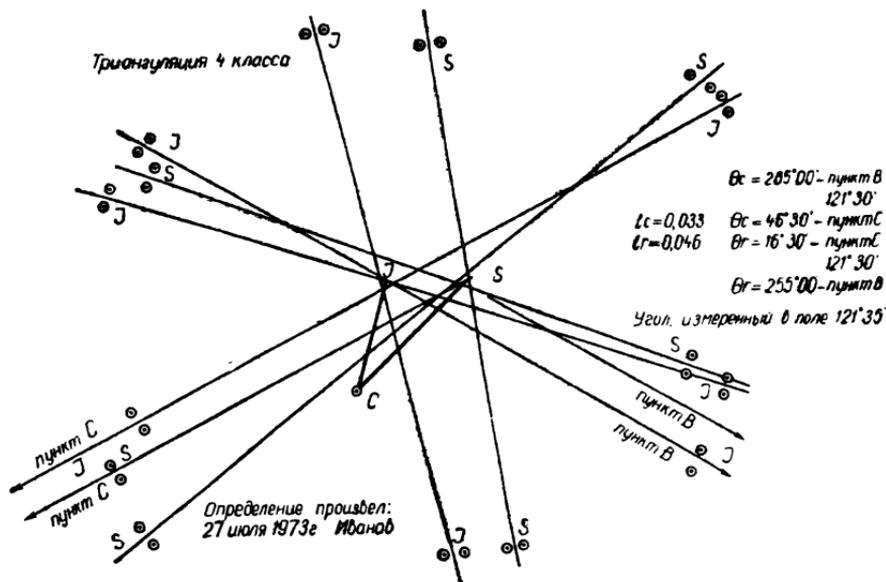


Рис. 39. Графическое определение элементов центрировки и редуции в пункте А. Обозначение проекций

C — центр знака; I — ось инструмента; S — ось визирного цилиндра

Аналогично ведутся измерения на пунктах IIС, IIIС, IVС классов. В табл. 40 даны требования, которые необходимо соблюдать при выполнении измерений.

Приемы, не удовлетворяющие указанным допускам, повторяют после выполнения всех измерений.

При неблагоприятной видимости (дымка, туман) наблюдения не производятся. Центрировки и редуции должны определяться дважды до и после наблюдений на пункте. Расхождение между двумя смежными определениями не должно превышать 10 мм.

Над центрами триангуляции и трилатерации устанавливают простые и двойные пирамиды, простые и сложные сигналы, которые совместно с надстройками 1-го и 2-го типов позволяют иметь при строительстве наиболее надежную ориентировку.

Таблица 40

Характеристика измерений	Классы триангуляции			
	IC	IIС	IIIС	IVС
Средняя квадратическая ошибка измерения угла, с	3	5	8	10
Длины сторон, км	1 и более	0,5—1	0,2—0,5	До 0,2
	$\frac{1}{80000}$	$\frac{1}{50000}$	$\frac{1}{30000}$	$\frac{1}{10000}$
Относительная средняя квадратическая ошибка измерения длины базисной стороны не ниже				
Длина измеряемой стороны не менее, км	2	1	0,5	0,5
	$\frac{1}{40000}$	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{15000}$	$\frac{1}{5000}$
Предельная относительная ошибка определения длин сторон				
Допустимая угловая невязка в треугольнике*, с	7	14	20	30
Минимальное значение угла в треугольнике, град	30	30	30	30
То же, при образовании четырехугольника, град	25	25	25	25
Число треугольников между твердыми пунктами (азимутами)	6	8	10	10
Число круговых приемов при измерении теодолитом Т-2, Тн-40, Тео-010 и равноточными им	6	4	2	2
Число круговых приемов при измерении теодолитом Т-5 и равноточными ему	—	6	4	2
Расхождение между результатами наблюдений направлений на начальный предмет в начале и конце полуприема, а также колебания в отдельных приемах направлений, приведенных к общему нулю, должны быть не более:				
при измерении теодолитами Т-2 и равноточными ему, с	8	8	8	8
при измерении теодолитами Т-5 и равноточными ему, мин	—	—	0,2	0,2

* Определяют среднюю квадратическую ошибку измерения угла по невязкам не менее чем из восьми треугольников.

При работах на пунктах определяют элементы центрировки и редукиции, если наблюдения ведутся с земли или со столиков сигналов и двойных пирамид, так как в результате работ по триангуляции необходимо получать значения направлений, соединяющие центры пунктов. Элементы центрировки и редукиции находят до и после наблюдений на пункте.

Взаимное положение точек C , J и S вполне определяется значениями линий e_c , e_r , углов θ_c и θ_r . Как правило, для этой цели применяют графический метод, т. е. непосредственно фиксируют на центрировочном листе точки C , J и S (рис. 39).

Для этого над центром пункта устанавливают при помощи оптического отвеса штатив, а под ним центрировочный столик с прикрепленным листом бумаги. На него проектируют оптическим отвесом центр пункта.

Затем наблюдатель, последовательно наводя зрительную трубу на ось прибора и ось визирной цели с трех установок при двух положениях круга теодолита КП и КЛ, отмечает на центрировочном листе следы проектирующих плоскостей. В пересечении их будут получены точки J и S , если треугольник погрешностей будет иметь стороны менее 5 мм. В противном случае производится дополнительное проектирование.

Проектирующие плоскости выбирают так, чтобы они пересекались под углами приблизительно 60 или 120°.

Предварительно, до определения элементов центрировки и редукиции, инструментом, установленным в точке J , провешиваются два направления на пункты и с них переносятся на центрировочный лист с помощью теодолита эти створы.

Элементы центрировки и редукиции необходимо определять повторно, если наблюдение соседних пунктов продолжалось более трех месяцев или в период наблюдений была буря.

Центрировочный лист оформляется черной тушью, а следы проектирующих плоскостей и буквенные обозначения оставляют в карандаше, как это было сделано в полевых условиях.

При показанном на рис. 39 отсчете углов θ_c и θ_r поправки за элементы приведения, с учетом их знаков, всегда суммируются с измеренными направлениями и определяются по формулам

$$c'' = e_c a_c = \rho \frac{e_c \sin(M + \theta_c)}{S};$$

$$r'' = e_r a_r = \rho \frac{e_r \sin(M + \theta_r)}{S},$$

где $a = \frac{\rho \sin(M + \theta)}{S}$ находят по специальным таблицам по аргументу $(M + \theta_c)$ и $(M + \theta_r)$ соответственно и делением на S .

Аналитический способ определения положения точек, как более сложный, применяют лишь в крайних случаях.

При работах на строительной площадке, когда стороны триангуляции небольшие, следует избегать, по возможности, центрировок и редукиций, устанавливая визирные марки на месте теодолита.

Обработку полевых материалов по триангуляции начинают с проверки журналов измерения горизонтальных направлений и составления сводной ведомости.

В сводку наблюдений выписываются все результаты выполненных на пункте приемах, определяется их качество, указывается наибольшее значение разности. Среднее значение направлений выводится только из приемов, удовлетворяющих требованиям инструкции. Точность приемов оценивается по формулам Петерса

$$\mu = \pm 1,25 \frac{\Sigma |v|}{\sqrt{n(n-1)}}; \quad M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{n}},$$

где n — число приемов;

$\Sigma |v|$ — сумма абсолютных величин отклонений каждого приема от среднего на пункт;

μ — средняя ошибка направления на данном пункте, которую получают путем деления суммы всех m на число наблюдаемых направлений;

M — средняя ошибка направления, выведенная из приемов.

На основании сводок направлений, составляется ведомость треугольников, углы которых показываются с округлением до секунд, и по этим данным определяют приближенные длины сторон.

После этого последовательно вычисляют поправки за центрировку и редукцию, предварительно проверив листы определения их элементов, контрольный угол, а также однообразие их оформления.

Полученные поправки вносят в измеренные направления и на основании приведенных к центрам направлений в ведомости треугольников подсчитывают измеренные углы и невязку. Среднюю квадратическую ошибку измеренного угла вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[\omega^2]}{3n}},$$

где $[\omega^2]$ — сумма квадратов невязок треугольников;

n — число треугольников триангуляции.

Величина μ не должна быть больше значения, показанного в табл. 40 для соответствующего класса триангуляции.

В дальнейшем подсчитывают свободные члены боковых и подюсных условий в геодезических четырехугольниках и центральных системах, которые должны быть меньше

$$\omega_{\text{пол}} = \pm 2\mu \sqrt{[\delta^2]},$$

где $[\delta^2]$ — сумма квадратов изменений логарифмов синусов связующих углов треугольников при изменении этих углов на $1''$;

μ — средняя квадратическая ошибка измеренного угла данного класса триангуляции.

Принимая за полюс пересечение диагоналей геодезических четырехугольников, вычисляют значения свободных членов базисного и азимутального условий, которые должны быть меньше

$$\omega_{\text{баз}} = 2 \sqrt{\mu^2 \Sigma \delta^2 + 2m_s^2},$$

$$\omega_{\text{аз}} = 2 \sqrt{\mu^2 n + 2m_a^2}.$$

где m_s — средняя квадратическая ошибка длины (логарифма) измеренной (базисной) стороны;

m_a — средняя квадратическая ошибка определенного азимута;

n — число углов, участвующих в передаче азимута;

$\Sigma \delta^2$ — сумма квадратов изменения логарифмов синусов связующих углов.

Если все свободные члены получились меньше рассчитанных по указанным выше формулам, то приступают к уравниванию триангуляции с помощью условных уравнений, либо составлением и решением нормальных уравнений через поправки к приближенным коор-

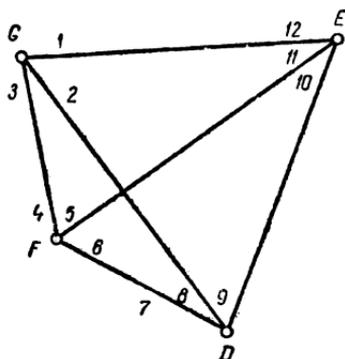


Рис. 40. Схема триангуляции (цифрами обозначены номера направлений)

динатам определяемых пунктов (параметрический способ см. с. 112—113).

Для достижения наибольшей строгости и правильности следует уравнивать направления, если они были найдены полевыми наблюдениями и углы, если они измерялись независимо на пунктах.

Уравнивание коррелятным способом (методом условных уравнений). При уравнивании направлений камеральные работы начинают с определения общего числа условных уравнений, для чего служат формулы:

для свободной сети

$$R_1 = N - 2n + 4$$

для несвободной сети

$$R_2 = N - 2n + k + 4 = R_1 + k,$$

где N — общее число измеренных углов;

k — число избыточных данных, которые необходимо сохранить в данной сети.

Обозначив через p — число всех сторон сети (сплошных и несплошных), получаем число уравнений фигур

$$R_p = N - p + 1,$$

Так, применяя данные формулы к четырехугольнику (рис. 40), находим число сторон сети $p=6$, число пунктов $n=4$, а потому

$$R_1 = 8 - 6 + 4 = 4 \text{ (всего уравнений),}$$

$$R_p = 8 - 6 + 1 = 3 \text{ (число уравнений фигур)},$$

Уравнивание начинают с заполнения табл. 41 из ведомости отре-
дуцированных направлений.

После этого вычисляют углы и свободные члены условных урав-
нений (табл. 42), проверяя с невязками, полученными ранее, и выпи-
сывают условные уравнения и весовые функции в виде табл. 43.

Находят нормальные уравнения (табл. 44) и решают их, т. е. на-
ходят коррелаты $K_1 = +0,976$; $K_2 = +0,451$; $K_3 = -0,727$; $K_4 =$
 $= -0,0251$, которые подставляют в условные уравнения, что принято
делать в правой части табл. 41, и получают поправки v .

Оценивают точность вычислений на основании данных уравнива-
ния, которые приведены в конце табл. 41 и заканчивают расчеты
исправлением направлений.

На основании этих данных решают треугольники, в результате
находят стороны, длины которых должны совпадать с длинами стор-
он, полученными разными путями.

Т а б л и ц а 41

Номер направле- ния	Пунк- ты	Направления	Поправки		Уравненные направления	Дирекцион- ные углы
			v''	$(v'' - v_0)''$		
1	G	0° 00' 00,00"	-0,6	0,00	0° 00' 00,00"	97° 07' 08,43"
2		56 18 41,3	+1,93	+2,53	56 18 43,83	153 25 52,26
3		82 52 52,3	-1,33	-0,73	82 52 51,57	180 00 00,00
4	F	0 00 00,00	+0,01	0,00	0 00 00,00	0 00 00,00
5		63 25 42,7	-0,2	-0,21	63 25 42,49	63 25 42,49
6		126 51 44	+0,19	+0,18	126 51 44,18	126 51 44,18
7	D	0 00 00,00	-1,51	0,00	0 00 00,00	306 51 44,18
8		26 34 05,7	+0,88	+2,39	26 34 08,09	333 25 52,27
9		82 52 32,4	+0 63	+2,14	82 52 34,54	29 44 18,72
10	E	0 00 00,00	-1,77	0,00	0 00 00,00	209 44 18,72
11		33 41 19,7	+2,31	+4,08	33 41 23,78	243 25 42,5
12		67 22 48,5	-0,54	+1,23	67 22 49,73	277 07 08,45

Если такое совпадение достигнуто, то оценивают работы, опреде-
ляя средние квадратические ошибки измеренного угла m_β и сторо-
ны m_d

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{18,2}{4}} = \pm \sqrt{4,55} = \pm 2,13''.$$

ошибка в единицах 7-го знака логарифма:

$$m_d = \pm 2,13'' \sqrt{1115,8} = \pm 2,13'' (33,4) = \pm 71,1.$$

Относительная ошибка измерения стороны

$$\frac{m_d}{d} = \frac{m_d}{M \cdot 10^6} = \frac{m_d}{434000} = \frac{1}{61000}.$$

Номера направлений	Углы треугольника	Номера направлений	Углы треугольника	Номера направлений	Углы треугольника
12—12	56° 18' 41,3"	3—2	26° 34' 11"	3—1	82° 52' 52,3"
9—8	56 18 26,7	6—4	126 51 44	5—4	63 25 42,7
12—10	67 22 48,5	8—7	26 34 05,7	12—11	33 41 28,8
	$\Sigma=179\ 59\ 56,5$		$\Sigma=180\ 00\ 00,7$		$\Sigma=180\ 00\ 03,8$

Продолжение табл. 42

Номера направлений	Углы треугольника	lg sin	d - изменений на 1"	Номера направлений	Углы треугольника	lg sin	d - изменений на 1"
12—11	33° 41' 28,8"	9,744073	+31,6	2—1	56° 18' 41,3"	9,920157	+14
9—8	56 18 26,7	9,920136	+14	11—10	33 41 19,7	9,744044	+31,6
12—10	63 26 01,3	9,951540	+10,5	8—7	26 34 05,7	9,650563	+42,1
	26 34 11	9,650585	+42,1	5—4	63 25 42,7	9,951521	+10,5
		$\Sigma_1=9,266334$	$\Sigma_1-\Sigma_2=+49$			$\Sigma_2=9,266285$	

Примечание. Все вычисления выполняются с округлением до сотых долей секунды.

Таблица 43

Номер направле- ния	a	b	c	d	f	S	ak ₁	bk ₂	ck ₃	dk ₄	v	v ²
1	-1		-1	+14	-2,6	+9,4	-0,976 ^m		+0,727 ^m	-0,351 ^m	-0,6 ^m	0,36
2	+1	-1		-56,1		-56,1	+0,976	-0,451		+1,408	+1,933	3,74
3		+1	+1	+42,1	-2,6	+46,7		+0,451	-0,727	-1,056	-1,332	1,77
4		-1	-1	+10,5		+8,5		-0,451	+0,727	-0,263	+0,013	0,00
5			+1	-21		-20			-0,727	+0,527	-0,2	0,04
6		+1		+10,5		-11,5		+0,451		-0,263	+0,188	0,04
7		-1		+42,1		+41,1		0,451		-1,056	-1,507	2,27
8	-1	+1		-56,1		-56,1	-0,976	0,451		+1,408	+0,883	0,78
9	+1			+14		+15	+0,976			-0,351	+0,625	0,39
10	-1			+31,6		+30,6	-0,976			-0,793	-1,769	3,13
11			-1	-63,2	+31,6	-32,6			+0,727	+1,586	+2,313	5,35
12	+1		+1	+31,6	-31,6	+2	+0,976		-0,727	-0,793	-0,544	0,3
f	-3,5 ^m	+0,7 ^m	+3,8	+490								$\Sigma_{\text{вс}} = 18,17$

Таблица 44

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>w</i>	<i>S</i>
6	-2	+2	0	-29	-3,5	-26,5
	6	+2	0	+2,6	+0,7	+9,3
		6	+91,4	-58	+3,8	+47,2
			16884	-2922,6 2010,8	+490	+14542,9

Таблица 45

Пункт	Номер направления	ξ_E	η_E	ξ_D	η_D	<i>w</i>	<i>s</i>	
G	1	-28,387	-3,536	-11,538	-23,063	-1,896	-33,819	
	2						-4,076	-38,677
	3						+5,973	5,973
		-28,387	-3,536	-11,538	-20,063	+0,001	-66,523	
		+9,462	+1,179	+3,846	+7,688	-0,000	+22,174	
F	4	-23,062	+11,538	-36,910	-27,655	+7,772	+7,772	
	5						+3,678	-7,846
	6						-11,451	-76,016
		-23,062	+11,638	-36,910	-27,655	-0,001	-76,090	
		+7,687	-3,846	+12,303	+9,218	+0,000	+25,363	
D	7	-14,187	+24,837	-36,910	-27,655	-6,932	-71,497	
	8						-11,538	-33,059
	9						+14,187	+5,390
		-14,187	+24,837	-34,261	-75,555	0,000	-99,166	
		+4,729	-8,279	+11,420	+25,185	0,000	+33,055	
E	10	-14,187	+24,837	+14,187	-24,837	-3,746	-3,746	
	11						+11,538	-5,863
	12						-3,536	-33,837
		-65,636	+32,839	+14,187	-24,837	+0,001	-43,446	
		+21,879	-10,916	-4,729	+8,279	-0,000	+14,482	

Уравнивание параметрическим способом. Этот способ используют при уравнивании триангуляции, опирающейся на триангуляцию высшего класса, т. е. при несвободной сети.

Пользуясь необходимыми измеренными приведенными направлениями, решают треугольники и находят приближенные координаты определяемых пунктов. На основании этих координат и координат

Таблица 46

Номер направ- ления	N	α_0	$\alpha_0 - N, z_0$	$N + z_0$	$\frac{\alpha_0 - z_0}{N + z_0} = f$	(a)	(b)	Поправки, $v_{\alpha_0 - z_0}$	Уравненные направления
1	0°00'00,00"	97°06'59,831"	97°06'59,831"	97°07'01,727"	-1,896	-20,47	-2,55	0,00	0°00'00,00"
2	56 18 41,3	153 25 38,951	97 06 57,651	153 25 43,027	-4,076	-9,23	-18,45	+2,6	56 18 43,90
3	82 52 52,3	180 00 00,00	97 07 07,7	179 59 54,027	+5,973	0,00	-20,63	-0,74	82 52 51,56
4	0 00 00,00	0 00 00,00	$z_0 = 97 07 01,727$	359 59 52,228	+7,772	-0,00	+20,63 _м	10,00	0 00 00,00
5	63 25 42,7	63 25 38,606	359 59 55,906	63 25 34,928	+3,678	-18,45	+9,23	-0,16	63 25 42,54
6	126 51 44	126 51 24,777	369 59 40,777	126 51 36,228	-11,451	-16,51	-12,37	+0,17	126 51 44,17
			$z_0 = 359 59 52,228$						
7	0 00 00,00	306 51 24,777	306 51 24,777	306 51 31,709	-6,932	+16,51	+12,37	0,00	0 00 00,00
8	26 34 05,7	333 25 38,951	306 51 33,251	333 25 37,409	+1,542	+9,23	+18,45	+2,46	26 34 08,16
9	82 52 32,4	29 44 09,499	306 51 37,099	29 44 04,109	+5,39	-10,23	+17,91	+2,14	82 52 34,54
			$z_0 = 306 51 31,709$						
10	0 00 00,00	209 44 09,499	209 44 09,499	209 44 13,245	-3,746	+10,23	-17,91	0,00	0 00 00,00
11	33 41 19,7	243 25 38,606	209 44 18,906	243 25 32,945	+5,661	+18,45	-9,23	+4,13	33 41 23,83
12	67 22 48,5	277 06 59,831	209 44 11,331	277 07 01,745	-1,914	+20,47	+2,55	+1,22	67 22 49,72
			$z_0 = 209 44 13,245$						

твердых пунктов вычисляют дирекционные углы всех имеющихся в сети направлений с точностью до 0,01" по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Все полученные значения приближенных дирекционных углов сравниваются с измеренными приведенными направлениями на пункте, что дает возможность определить поправку ζ , характеризующую наблюдения на данном пункте, и поправку v для каждого направления, вызванную поправками к координатам.

Тогда окончательные дирекционные углы будут,

$$\alpha_{1,2} = N + z_0 + v + \zeta = \alpha_{1,2}^0 + da \quad (64)$$

или

$$v = -\zeta + da + \alpha^0 - (N + z_0).$$

Т а б л и ц а 47

Номер направления	ζ	ξ_E	η_E	ξ_D	η_D	w	Поправки					
							v_i	$v_i - v_0$				
1	-7,328	+7,855	+0,750	+1,674	+11,711	-1,896	-0,619	0,000				
2						-4,076	+1,981	+2,6				
3						+5,973	-1,355	-0,736				
4	-7,777	-2,616	-0,250	-0,558	-3,904	+7,772	-0,005	0,000				
5						+3,678	-0,164	-0,159				
6						-11,451	+0,169	+0,174				
7	-13,998	+3,926	-5,267	+5,355	+14,042	-6,932	-1,533	0,000				
8						+1,785	+11,711	+1,542	+0,929	+2,462		
9						-2,058	+12,611	+5,39	+0,604	+2,137		
10	-7,251	-1,309	+1,756	-1,657	-12,788	-2,058	-2,058	+12,611				
11						+3,926	-5,267	-2,058	+12,611	-3,746	-1,785	0,000
12						+6,382	-2,447	-2,058	+12,611	+5,661	+2,345	+4,13
		+7,855	+0,750			-1,914	-0,56	+1,225				
		-9,054	+2,321	+0,686	-4,204							

Причем, величина da зависит только от поправок к приближенным координатам начального и конечного пунктов стороны $S_{1,2}$.

Таким образом, когда направление связывает два определяемых пункта 1 и 2, то уравнение погрешности для данного общего случая будет

$$v_{1,2} = -\zeta_1 + a\xi_2 + b\eta_2 - a\xi_1 - b\eta_1 + l. \quad (65)$$

Если пункты 1 и 2 твердые, тогда

$$v_{1,2} = -\zeta_1 + l.$$

Когда пункт 2 определяемый, а пункт 1 — твердый, уравнение будет

$$v_{1,2} = -\zeta_1 + a\xi_2 + b\eta_2 + l.$$

В противном случае будем иметь равенство, которым исчерпываются уравнения погрешностей

$$v_{1,2} = -\zeta_1 - a\xi_1 - b\eta_1 + l.$$

После получения уравнений погрешностей (табл. 45, 46) составляют нормальные уравнения для каждой станции отдельно (табл. 47).

На каждой станции сумма v равна нулю, и число нормальных уравнений равно двойному числу определяемых пунктов.

Уравнивание по этому методу произведем для сети, к которой был применен метод условных уравнений.

Вычисление дирекционных углов по координатам не приводится, так как за приближенные координаты приняты координаты, помещенные в табл. 46 уравнивания трилатерации.

Ввиду идентичности поправок в направления решения треугольников не приводится.

Решая нормальные уравнения, получаем поправки к координатам $\xi_E = -0,2753$ дц; $\eta_E = 0,2383$ дц; $\xi_D = -0,1298$ дц; $\eta_D = -0,5205$ дц.

Подставляя эти поправки в уравнения погрешностей (табл. 45), получаем поправки в направлении (см. табл. 47), которые идентичны полученным методом условных уравнений (см. табл. 43).

Таблица 48

ξ_E	η_E	ξ_D	η_D	ω	s	Контроль
+1228,881	-145,013 +911,384	-665,217 +993,188 +2447,378	-615,217 -276,76 +680,166 +1300,221	-130,522 +162,052 +725,147 +529,642	-427,495 +1644,846 4180,662 +1617,65	-427,463 +1644,902 +4180,618 +1617,608

С пунктов триангуляции (трилатерации), расположенных на зданиях и сооружениях, передаются координаты на центры полинометрии (предпочтительнее стенные знаки), как правило, при помощи двух треугольников (рис. 41), общая сторона которых определяется независимо (решением треугольников, в которых измерены все углы и базисы).

Базисы измеряются со средней квадратической ошибкой, не превышающей 1 см, а угол с точностью, достаточной для получения общей стороны, с расхождением не более чем в 2 см.

Такая передача позволит снесенный пункт считать по точности равным пункту, расположенному на здании или сооружении.

Углы при такой передаче приходится измерять в весьма неблагоприятных условиях, поэтому при наблюдении пункта триангуляции с пункта полигонометрии и, наоборот, необходимо измерять углы наклона и отсчитывать уровень при алидаде теодолита или накладной уровень.

Передачу координат с пункта триангуляции необходимо осуществлять во время наблюдения направлений триангуляции на этом пункте.

Как показано на рис. 41, в поле были измерены стороны S_1 и S_2 , а также углы α_1 , β_1 , γ_1 и α_2 , β_2 , γ_2 .

Очевидно, что после уравнивания должно быть

$$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = 180^\circ;$$

$$\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 = 180^\circ;$$

$$\frac{s_1 \sin \alpha_1}{\sin \gamma_1} = \frac{s_2 \sin \alpha_2}{\sin \gamma_2},$$

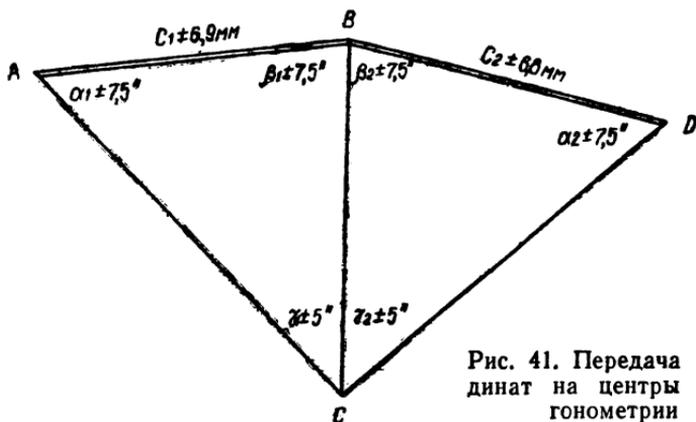


Рис. 41. Передача координат на центры полигонометрии

что приводит к следующим условным уравнениям:

$$v_{\alpha_1} + v_{\beta_1} + v_{\gamma_1} + w_1 = 0;$$

$$v_{\alpha_2} + v_{\beta_2} + v_{\gamma_2} + w_2 = 0;$$

$$s_1 \sin \alpha_1 \sin \gamma_2 - s_2 \sin \alpha_2 \sin \gamma_1 + w_3 = 0.$$

Последнее уравнение, выраженное через поправки в углы и линии, примет вид

$$\begin{aligned} v_{s_1} \sin \alpha_1 \sin \gamma_1 - v_{s_2} \sin \alpha_2 \sin \gamma_1 + \frac{s_1}{\rho''} \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 v_{\alpha_1} + \\ + \frac{s_2}{\rho''} \cos \alpha_2 \sin \gamma_1 v_{\alpha_2} + \frac{s_1}{\rho''} \sin \alpha_1 \cos \gamma_2 v_{\gamma_2} - \\ - \frac{s_2}{\rho''} \sin \alpha_2 \cos \gamma_1 v_{\gamma_1} + w_3 = 0. \end{aligned}$$

За вес для линейных измерений следует принять

$$p_{s_1} = \frac{m_{\alpha}^2}{m_{s_1}^2}; \quad p_{s_2} = \frac{m_{\alpha}^2}{m_{s_2}^2}.$$

Наблюдения на пункте триангуляции велись двойным числом приемов в отличие от наблюдений на пунктах полигонометрии. Наблюдения на последних производились со средней квадратической ошибкой $m_{\alpha} = 5''$, точностью измерения сторон $m_{s_1} = \pm 6,9$ мм, $m_{s_2} = \pm 6,8$ мм, поэтому

$$p_{s_1} = \frac{\left(\frac{5}{\sqrt{2}}\right)^2}{(6,9)^2} = \frac{12,5}{47,61} = \frac{1}{3,8088}; \quad p_{s_2} = \frac{12,5}{(6,8)^2} = \frac{1}{3,6992}.$$

Таблица 49

Номер направле- ний	a	b	c	p	$\frac{1}{p} ak_1$	$\frac{1}{p} bk_2$	$\frac{1}{p} ck_3$	D	pva
1	-1		-0,646268	1	-0,4037		+0,1672	-0,2365	0,0659
2	+1		+0,646268	1	+0,4037		-0,1672	+0,2365	0,0659
3	-1			1	-0,4037			-0,4037	0,163
4	+1	-1		1	+0,4037	+0,8515		+1,2552	1,5755
5		+1		1		-0,8515		-0,8515	0,7251
6		-1	+0,582436	1		+0,8515	-0,1507	+1,7008	0,4911
7		+1	-0,582436	1		-0,8515	+0,1507	-0,7008	0,4911
8		-1	-0,870728	2		+0,4258	+0,1126	+0,5384	0,5797
9	-1	+1	+1,74449	2	-0,2018	-0,4258	-0,2256	-0,8532	1,4559
10	+1		-0,873762	2	+0,2018		+0,1113	+0,3148	0,1982
			+0,569492					-0,5611	0,0826
			-0,587544					+0,5622	0,0854
	f = -3,3	f = +4,9	f = +1,76						[pva] = 5,9594

Таблица 50

Углы	Пункты	Уравненные углы	Sin	Стороны, м
α_1	A	53°30'44,273"	0,80398452	360,33353
β_1	B	81 34 04,159		
γ_1	C	44 55 11,568	0,70611730	316,4715
				$v = -561$
				316,470939
α_2	D	56°18'46,099"	0,83207811	360,33354
β_2	B	78 35 15,593		
γ_2	C	45 05 58,308	0,70833405	306,7453
				$v = +562$
				306,745862

Номер на- равления	ξ_A		η_A		ξ_B		η_B		η_D	ξ_D		W	S
1	0,000	+46,517										-9,554	+36,963
2	-52,397	+38,745	+52,397	-38,745								+9,554	+9,554
	-52,397	+85,262	+52,397	-38,745								0,000	+46,517
	+26,1985	-42,631	-26,1985	+19,3725								0,000	-23,2585
3	-52,397	-38,745	+52,397	-38,745								+24,303	+24,303
4			+40,413	+40,523								+2,168	+83,104
5			-37,272	+55,973								-26,471	-26,471
	-52,397	+38,745	+55,538	+57,751	-55,973	+37,272						0,000	+80,936
	+17,4657	-12,9150	-18,5127	-19,2503	+18,6576	-12,4240						0,000	-26,9787
6			-37,272	+55,973								-25,785	-25,785
7			-37,272	+55,973								+25,785	+74,386
			+18,6360	-27,9865	+27,9805	-42,9305						0,000	+48,601
												0,000	-24,3050
8			+40,413	+40,523								+16,445	+65,046
9												-11,385	+69,551
10	0,000	+46,517	+40,413	+40,523	+0,012	+48,589						-5,06	+41,457
	0,000	+46,517	+40,413	+40,523	+0,012	+48,589						0,000	+176,054
	0,000	-15,5057	-13,4707	-13,5077	-0,0040	-16,1963						0,000	-58,6847
11	+59,458	+80,404	-59,458	-80,404								+55,730	+55,73
12			+83,236	+55,425	-83,236	-55,425						-23,78	-23,780

Таким образом, для уравнивания передачи координат составляются уравнения, показанные в табл. 49, на основании которой записываются нормальные уравнения:

$$\begin{aligned} 5k_1 - 1,5k_2 - 0,0169k_3 - 3,3 &= 0 \\ -1,5k_1 + 5k_2 + 0,14274k_3 + 4,9 &= 0 \\ -0,0169k_1 + 0,14274k_2 + 6,30848k_3 + 1,76 &= 0. \end{aligned}$$

Решая эти нормальные уравнения, получаем $k_1 = +0,4037$; $k_2 = -0,8515$; $k_3 = -0,2587$; $[kv] = 5,9594$.

После чего оценивается точность вычислений

$$\begin{aligned} m_H &= \pm \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{5,96}{3}} = \pm \sqrt{1,99} = \pm 1,41''; \\ m_B &= \pm 1,41 \sqrt{2} = \pm 1,99''; \\ m_{s_1} &= \pm \frac{1,41}{\sqrt{1/3,8088}} = \pm 1,41 \sqrt{3,8088} = \pm 1,41 (1,9516) = \\ &= \pm 2,75 \text{ мм}; \\ m_{s_2} &= \pm 1,41 \sqrt{3,6992} = \pm 1,41 (1,9233) = \pm 2,71 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Т а б л и ц а 51

ρ	ξ_A	η_A	ξ_B	η_B	η_D	v	pv^2	ζ
1 1	0,000 +31,511 -15,755	+21,283 +17,727 -19,505	-12,263 +6,131	-34,325 +17,163		-0,237 +0,238	0,0562 0,0566	-11,966
1 1 1	+31,511 -10,504	+17,727	-12,263 -9,458 +8,723 -5,909	-34,325 +35,900 +49,588 +4,333	-5,336 -17,054	-0,402 +1,255 -0,851 +1,779	0,1616 1,5750 0,7242	-27,355
1 1			+8,723 -4,362	+49,588 -24,794	-5,336 0,000 +2,667	+0,701 -0,704	0,4914 0,4956	-26,489
2 2 2		+21,283 -7,094	-9,458 +3,153	+35,900 -11,967	+0,001 0,000	+0,538 -0,851 +0,315	0,5788 1,4484 0,1984	-15,908
1/3,8088 1/3,6992	-35,757	+36,787	+13,915 -19,48	-71,232 +49,102	-5,284	-0,557 +0,558	0,0815 0,0842 $[pv^2] =$ -5,9519	

Затем в табл. 50 сводится решение треугольников.

Решить этот пример можно методом координат. Тогда принимая за приближенные координаты пункта A $x_A = 943,36$, $y_A = 600$; пункта B $x_B = 755,16$, $y_B = 345,5$; пункта C $x_C = 499,96$, $y_C = 600$; пункта D $x_D = 499,86$, $y_D = 175,5$ и пользуясь формулой (65), составляют табл. 51. После чего записывают нормальное уравнение в виде табл. 52. Решениями нормальных уравнений (см. табл. 52) будут $\xi_A = -0,601382$, $\xi_B = -0,234039$, $\xi_D = 0,000000$, $\eta_A = +0,45727$, $\eta_B = +0,885925$, $\eta_D = +0,095331$.

Трилатерация

Трилатерация IC, IIC, IIIC и IVC классов, развиваемая на строительных площадках, должна создаваться в соответствии с требованиями табл. 53.

Рассмотрим составление условного уравнения для четырехугольника $GEDF$ (рис. 42), в котором отрезки, соединяющие эти точки попарно, обозначим через $GF = a$, $GD = b$, $GE = c$, $DE = e$, $FE = f$, $DF = g$.

Применяя теорему косинусов к треугольникам GDE , GEF , GDF , найдем

$$\begin{aligned} e^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha; & f^2 &= c^2 + a^2 - 2ac \cos (\alpha + \gamma); \\ g^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma. \end{aligned} \quad (66)$$

Обозначив

$$A = b^2 + c^2 - e^2; \quad B = c^2 + a^2 - f^2; \quad C = a^2 + b^2 - g^2.$$

Выражение (66) можно записать в виде

$$A = 2bc \cos \alpha; \quad B = 2ac \cos (\alpha + \gamma); \quad C = 2ab \cos \gamma. \quad (67)$$

Перемножая уравнения (67), получим

$$ABC = 8a^2b^2c^2 \cos \alpha \cos \gamma \cos (\alpha + \gamma). \quad (68)$$

Между тремя углами α , γ и $(\alpha + \gamma)$ существует тригонометрическая зависимость

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma + \cos^2 (\alpha + \gamma) - 2 \cos \alpha \cos \gamma \cos (\alpha + \gamma) = 1. \quad (69)$$

Подставляя в формулу (69) выражения (66) и (67), найдем

$$A^2a^2 + B^2b^2 + C^2c^2 - ABC - 4a^2b^2c^2 = 0, \quad (70)$$

т. е. искомое условное уравнение.

Вместо уравненных значений a , b , $c \dots$ в выражение (70) подставим измеренные с поправками v_a , v_b , $v_c \dots$ и приведем уравнение к линейному виду. Тогда получим в качестве коэффициентов при поправках соответствующие частные производные, вычисленные по измеренным значениям a , b , $c \dots$, а в качестве свободного члена — значение левой части уравнения (70), определенное по тем же измеренным значениям, т. е.

$$\begin{aligned} & 2a [(2b^2B - AC) + (2c^2C - AB) + (A^2 - 4b^2c^2)] v_a + \\ & + 2b [(2a^2A - BC) + (2c^2C - AB) + (B^2 - 4a^2c^2)] v_b + \\ & + 2c [(2a^2A - BC) + (2b^2B - AC) + (c^2 - 4a^2b^2)] v_c - \\ & - 2e (2a^2A - BC) v_e - 2f (2b^2B - AC) v_f - \\ & - 2g (2c^2C - AB) v_g + \omega = 0. \end{aligned} \quad (71)$$

Уравнивание четырехугольника $GEDF$ начинают с составления схематического чертежа, на котором показывают измеренные в натуре длины линий, определяют свободный член уравнения, пользуясь формулой (68), для чего по формулам находят квадраты сторон и вычисляют величины A , B , C , $A^2B^2C^2$, BC и др.

Таблица 52

ξ_A	η_A	ξ_B	η_B	η_D	ξ_D	η	S
4131,1986	+105,3622 +5613,424	-4076,339 -1399,1627 +11755,7426	+2798,6787 -5050,4735 -920,1654 +12198,8633	-977,6023 +722,5165 +2918,3224 -4453,0611 +4486,2461	+650,9803 -1988,1744 -550,2847 -1507,7635 +173,8713 +6010,9297	-904,0214* +1573,0776 +1484,0427 -6604,3277 +3281,9241 +1438,3437	+1728,2571 -423,4567 +4742,1025 -3538,2519 +6152,2246 -272,1054

Таблица 53

Показатель	Классы трилатерации			
	IC	IIC	IIIC	IVC
Относительная ошибка измерения сторон Наименьшее значение угла в треугольнике Наименьшее значение угла в четырехугольнике Предельное число треугольников между твердыми координатами и азимутами	I 80000 30°	I 50000 30° 20°	I 30000 30° 20° 10	I 10000 30°* 20° 10

* При меньших значениях углов треугольников применяется линейно-угловая триангуляция, обоснованная техническим проектом, в которой угол с меньшим значением обязательно измеряется теодолитом. Число пунктов и допуски предусмотрены в табл. 40 для триангуляции того же разряда.

Затем находят коэффициенты условных уравнений по формуле (71) и составляют таблицу условных и нормальных уравнений (табл. 54, 55).

Для большой сети трилатерации рекомендуется при решении нормальных уравнений контролировать вычисления, пользуясь равенством

$$[aa] + [ab] + [ac] + [ad] + \dots = [as].$$

Получив из решения нормальных уравнений корреляты k_1, k_2, \dots , находят поправки к измеренным длинам линий по формуле

$$a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3 + \dots = v_i, \quad (72)$$

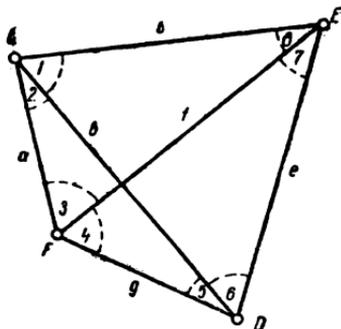


Рис. 42. Схема трилатерации

а затем вычисляют по формуле Хмелевского

$$\cos A = \frac{2p(p-a)}{bc} - 1$$

Таблица 54

Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение
$2a^2 A$	25,6	$2b^2 B$	10,24	$2c^2 C$	66,56
$-BC$	-5,12	$-AC$	-40,96	$-AB$	-5,12
(a^2)	+20,48	(b^2)	-30,72	(c^2)	+61,44
	-61,44		-40,96		-20,48

Продолжение табл. 54

Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение
C^2	40,96	A^2	40,96	B^2	0,64
$-4a^2 b^2$	-51,2	$-4b^2 c^2$	-133,12	$-4a^2 c^2$	41,6
(e^2)	-10,24	(f^2)	-92,16	(g^2)	-40,96
	-20,48		+30,72		-61,44

Таблица 55

Название стороны	Обозначение стороны	Измеренные стороны, м	Квадраты сторон, умноженные на 10^{-4}	Обозначение	Числовое значение	Коэффициенты уравнения	Поправки Δ , мм	Уравненные стороны, м	Обозначение	Числовое значение	Обозначение	Числовое значение
GF	a	447,2293	20,0014047	$a^2 A^2$	81919,022	-5,493	-3,56	447,22574	A	63,9973700	A^2	4095,66337
GD	b	800,0079	64,0012640	$b^2 B^2$	4089,331	+6,554	+4,24	800,01214	B	7,9934056	B^2	63,89453
GE	c	721,1005	51,9985931	$c^2 C^2$	212978,040	-2,953	-1,91	721,09859	C	63,9987684	c^2	4095,84236
DE	e	721,1275	52,0024871	-ABC	-32739,014	-2,953	-1,91	721,12559			AC	4095,75286
EF	f	800,0412	64,0065922	$-4a^2 b^2 c^2$	-266256,757	+4,915	+3,18	800,04438			$a^2 b^2$	1280,11518
DF	g	447,2572	20,0039003	W	-9,378	-5,493	-3,56	447,25364				

Нормальное уравнение: $144,898 k - 93,78 = 0$, откуда

$$k = \frac{93,78}{144,898} = +0,647213 \text{ мм.}$$

три угла α , γ и $(\alpha + \gamma)$ в треугольниках и проверяют расчеты равенством

$$\alpha + \gamma = (\alpha + \gamma). \quad (73)$$

Если в вычислениях обнаружена погрешность, то определяют остальные углы треугольников по теореме синусов. Такие расчеты приведены в табл. 56.

Уравнивание данного четырехугольника (рис. 43) можно произвести путем сравнения площадей $P_1 + P_2$ треугольников с площадями $P_3 + P_4$ других треугольников. Такой метод уравнивания предложен инж. Н. Г. Романовым.

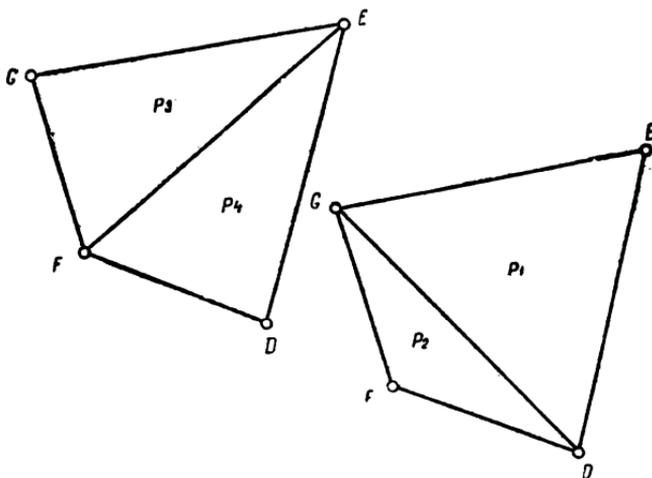


Рис. 43. Схема трилатерации при уравнивании методом инж. Н. Г. Романова

Основным уравнением в этом методе служит равенство

$$P_1 + P_2 - P_3 - P_4 = 0 \quad (74)$$

или условное уравнение

$$dP_1 + dP_2 - dP_3 - dP_4 + w = 0, \quad (75)$$

где

$$dP = \operatorname{ctg} \alpha \frac{a}{2} da + \operatorname{ctg} \beta \frac{b}{2} db + \operatorname{ctg} \gamma \frac{c}{2} dc. \quad (76)$$

При вычислении по этому методу четырехугольника $GEDF$ необходимо найти точные значения углов при пункте G , после чего по приближенным величинам углов треугольников с пункта G определить остальные углы.

Для составления условного уравнения (76) выбираются из таблиц котангенсы углов для площадей P_1 и P_2 со своим знаком и обратным знаком для площадей треугольника P_3 и P_4 .

Таблица 56

Номер угла	Пункты	Углы	Sin	Стороны треугольников, м	Вспомогательные величины
1 7+8 6	G E D	56°18'39,812" 67 22 51,96 56 18 28,228 <hr/> Σ 180 00 00,00	0,832 06119 0,923 0834 0,832 03005	721,12559 800,01214 721,09859 866,67375	$2p = 2242,23642$ $p - a = 339,99262$ $bc = 57688,770614$ $\cos A = 0,55468384$
2 5 3+4	G D F	26 34 15,214 26 34 08,785 126 51 36,001 <hr/> Σ 180 00 00 00	0,447 30479 0,447 27691 0,800 10363	447,25364 447,29574 800,01214 999,88565	$2p = 1694,49152$ $p - a = 399,99212$ $bc = 357,786037$ $\cos A = 0,89436159$

Номер угла	Пункты	Углы	Sin	Стороны треугольников, м	Вспомогательные величины
1+2 8 3	G E F	82 52 55,032 33 41 22,436 63 25 42,531 <hr/> Σ 179 59 59,999	0,992 29295 0,554 69291 0,894 37666	800,04438 447,22574 721,09859	2p=1968,36871 p-a=184,139875 bc=3224,9385053 cos A=0,12391403
7 5+6 4	E D F	33 41 29,517 82 52 37,018 63 25 53,469 <hr/> Σ 180 00 00,004	0,554 72147 0,992 28212 0,894 40042	447,25364 800,04438 721,12559 806,2670459	2p=1968,42361 p-a=184,16725 bc=3225,26045 cos A=0,12400072

В табл. 57, 58 сведены расчеты, выполняемые при уравнивании четырехугольника, показанного на рис. 43.

Таблица 57

Пункты	Углы	Тангенс углов	Стороны измеренные, м	Линии	2p	Sin
G	56°18'40"	0,6666	721,1275	e	4800,062284	0,83206413
E	67 22 50	0,4166	800,0079	b		
D	56 18 40, 905	0,6667	721,1005	c		
G	26 34 20,679	1,9997	447,2572	g	1600,483064	0,44732849
D	26 34 10	1,9996	447,2293	a		
F	126 51 10	-0,7497	800,0079	b		
G	82 52 51,75	0,1249	800,0412	f	-3200,111341	0,99229098
E	33 41 20	1,5002	447,2293	a		
F	63 25 40	0,5002	721,1006	c		
E	33 41 30,889	1,4999	447,2572	g	-3200,396030	0,55472701
D	82 52 35	0,125	800,0412	f		
F	63 25 50	0,5001	721,1275	e		

$$W = +37,977; k = \frac{W}{|q^2|} = \frac{-37,977}{23,972} = -1,58422.$$

Хорошая сходимость поправок, полученных при уравнивании данным и предыдущим способами, позволяет переходить к решению треугольника, т. е. к табл. 56.

Таблица 58

Схема	a	b	c	e	f	g
ctg	+1,9996	+0,4166	0,6667	0,6666	-0,1249	1,9997
ctg	+1,5002	-0,7497	-0,5002	-0,5001	-0,125	-1,4999
Σ	+0,4994	-0,3331	+0,1665	+0,1666	-0,2499	+0,4938
S·10 ⁻³	0,4472	0,8	0,7211	0,1211	0,8	0,4473
g — коэффициент уравнивания	+2,233	-2,665	+1,201	+1,201	-2	+2,236
g ²	4,986	7,102	1,442	1,442	4	5
v — поправка	-3,537	+4,221	-1,902	-1,902	+3,168	[g ²]=23,972 -3,542

Уравнивание трилатерации условными уравнениями может быть выполнено при помощи сравнения углов. Уравнивание по этому способу следует производить вначале как и в способе, предложенном инж. Н. Г. Романовым, т. е. по формуле Хмелевского, определять только углы при пункте G.

По этой формуле вычисляют точное значение только одного угла в треугольнике при вершине G. Остальные углы находят приближенно, так как они нужны только для расчета коэффициентов условных уравнений.

Сравнение суммы углов, полученной для углов при вершине G , дает возможность определить свободный член уравнения (77).

Коэффициенты условных уравнений будут

$$\left(\frac{b_i - b_{i+1} \cos \alpha_i}{b_i b_{i+1} \sin \alpha_i} + \frac{b_i - b_{i+1} \cos \alpha_{i-1}}{b_i b_{i+1} \sin \alpha_{i-1}} \right) \rho \text{ и } \frac{\rho}{b_i b_{i+1} \sin \alpha_i}$$

или приближенно [37]

$$(\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{ctg} \beta_i) \frac{\rho}{d_i} \text{ и } (\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{ctg} \beta_{i-1}) \frac{\rho}{b_i}. \quad (77)$$

Затем следует найти котангенсы связующих углов треугольников $\operatorname{ctg} \alpha_i$ и $\operatorname{ctg} \beta_i$, а также величины $\frac{\rho}{d_i}$ и $\frac{\rho}{b_i}$, где d_i и b_i соответствующие стороны в треугольниках.

В табл. 59 помещены значения котангенсов углов треугольников.

Таблица 59

Стороны	Пункты	Углы	Ctg	Стороны измеренные, м	Вспомогательные величины
e b c	G E D	$56^{\circ}18'40,907''$ 67 22 50 56 18 25	0,66664 0,41325 0,66674	721,1275 800,0079 721,1005	$2\rho = 2242,2359$ $\rho - a = 399,99045$ $(\rho - a)2\rho =$ $= 896872,9466472$ $\cos A = 0,55467942$
g a b	G D F	$26\ 34\ 20,682$ 26 34 05 126 51 45	1,99937 1,99973 -0,74980	447,2572 447,2293 800,0079	$2\rho = 1694,4944$ $\rho - a = 399,99$ $\cos A = 0,89436973$
f a c	G E F	$82\ 52\ 51,752$ 33 41 20 63 25 45	0,1259 1,50007 0,50016	800,0412 447,2293 721,1005	$2\rho = 1968,371$ $\rho - a = 184,1443$ $\cos A = 0,12392981$

$$W = 56^{\circ}18'40,907'' + 26^{\circ}34'20,682'' - 82^{\circ}52'51,752'' = 9,837''.$$

В табл. 60 приведен подсчет величин, входящих в формулу (77).

Таблица 60

Схема	a	b	c	e	f	g
ctg	0,50016	0,66664	0,66664	0,41325	1,50007	1,99973
ctg	0,7498	1,99973	0,41325	0,66674	0,50016	-0,7498
Σ	1,24996	2,66637	1,07989	1,07999	2,00023	1,24993
$\frac{\rho}{S_i}$	4,61206	2,57829	2,86042	2,86031	2,57818	$4,61178 = \frac{[\rho^2]}{159,40189}$
q^2	5,7649	6,87468	3,08894	3,08911	5,15695	5,7644
q^2	33,23407	47,26123	9,54155	9,5426	26,59413	33,22831
v (поправка)	-3,5516	+4,2424	-1,9062	-1,9063	+3,1824	-3,5573

$$k = \frac{W}{[q^2]} = \frac{9,837}{159,40189} = 0,61712.$$

Таблица 61

Стороны	Пункты	Дирекционный угол	Длина стороны, м	Sin	Cos	Приращения		Координаты	
						Δx	Δy	x	y
a	F	0°00'00"	447,229	0,00000	1,00000	+447,229	+0,000	+552,771	+1000
	G	153°25'40"	800,008	0,44733	0,89437	-715,503	+357,868	+1000	+1000
c	D	97°07'00"	721,11	0,9923	0,12389	-89,337	+715,548	+1000	+1000
	G							+284,497	+1357,868
	E							+910,663	+1715,548

Таблица 62

Схема	Название сторон							
	a	b	c	e	f	g	h	г
Δx	+447,229	-715,503	-89,337	+626,166	+357,892	+268,274		
Δy	+0,000	+357,868	+715,548	+357,680	+715,532	-357,868		
$\frac{\Delta y}{\Delta x}$	0,000 00000	0,500 16282	8,009 53692	0,571 22232	1,999 34058	1,333 96452		
Δx	0,000 00000	0,447 33009	0,99229604	0,496 00392	0,894 36819	0,800 13626		
sin	1,000 00000	0,89436893	0,123 86932	0,968 32028	0,447 33159	0,599 81626		
cos	447,22900	800,00878	721,10335	721,12332	800,05976	447,25882		
S	0°00'00,000"	153°25'38,951"	97°06'59,831"	29°44'09,499"	63°25'38,606"	306°51'24,777"		
α	447,2293	800,00790	721,10050	721,12750	800,04120	447,25720		
$\frac{S}{\sin \alpha}$	-0,30	-0,88	+2,85	-4,18	+18,56	+1,62		

Таблица 6.3

ξ_F	ξ_D	η_D	ξ_E	η_E	W	ξ_F	ξ_D	η_D	ξ_E	η_E	v
-1,000					-0,30	-3,250		-			-3,55
	-0,894	+0,447			+0,88		+11,729	-8,376			+4,233
			-0,124	+0,992	+2,85				+2,139	-6,893	-1,904
	-0,868	-0,496	+0,868	+0,496	-4,18		+11,388	+9,295	-14,973	-3,447	-1,917
-0,447			+0,447	+0,894	+18,56	-1,452			-7,711	-6,212	+3,185
+0,600	-0,600	+0,800			+1,62	+1,950	+7,872	-14,991			-3,549

Из решения нормальных уравнений получено

$$\xi_F = +3,2493; \xi_D = -13,1194; \eta_D = -18,739; \xi_E = -17,2498; \eta_E = -6,9488,$$

Уравнивание трилатерации способом поправок к координатам.

Уравнения погрешностей трилатерации в способе поправок к координатам напоминают аналогичные уравнения в триангуляции.

В общем виде уравнение погрешности для этого способа будет

$$v_{1,2} = \cos \alpha_{1,2} \xi_2 + \sin \alpha_{1,2} \eta_2 - \cos \alpha_{1,2} \xi_1 - \sin \alpha_{1,2} \eta_1 + l. \quad (78)$$

Перед составлением уравнений погрешностей необходимо определить приближенные координаты (табл. 61) с наименьшей погрешностью всех пунктов сети трилатерации. По этим координатам находят стороны сети, значения которых помещают в табл. 62, аналогичной табл. 57.

Сравнение вычисленных таким образом сторон с измеренными даст возможность получить свободные члены условных уравнений погрешностей (см. табл. 60). Исходя из формулы (65) составляются условные уравнения погрешностей (табл. 63, левая сторона), после чего нормальные уравнения записываются в виде табл. 64. При решении последних определяются поправки к каждой измеренной стороне (табл. 63). Сравнение поправок, приведенных в табл. 63 (правая часть) с поправками табл. 54, 58 показывает, что уравнивание трилатерации можно выполнять любым из указанных способов.

Таблица 64

ξ_F	ξ_D	η_D	ξ_E	η_E	w	s
1,56	-0,36	+0,48	-0,2	-0,4	-7,024	-5,944
—	1,912	-0,449	-0,753	-0,431	+1,869	+1,788
—	—	1,086	+0,431	-0,246	+3,762	+4,202
—	—	—	0,968	+0,708	+4,315	+4,607
—	—	—	—	2,029	+17,347	+19,008

Полигонометрия

Угловые измерения. Полигонометрические сети на строительной площадке могут быть IC, IC, IIC и IVC классов и должны выполняться с соблюдением требований, приведенных в табл. 40. Углы в полигонометрических сетях измеряются оптическими теодолитами способом круговых приемов по трехштативной системе при числе приемов, указанных в табл. 65.

Важнейшим условием получения хороших результатов в угловых измерениях — устойчивость теодолита и марок. Штатив прибора должен быть прочным и обеспечивать устойчивость теодолита. Грунт должен быть твердым. Во избежание кручения штатива от нагревания Солнцем при наблюдении применяют зонт, им защищают не только теодолит, но и весь штатив. При установке штатива на асфальте в жаркую погоду или на тающем льду весной необходимо концы ножек штатива засыпать землей или снегом, чтобы металлические концы штативов не плавил асфальт или лед и не опускались.

Кроме того, необходимо обращать внимание на правильную работу подъемных винтов. Только обеспечив неподвижность прибора, можно приступить к выявлению тех или иных ошибок, связанных с самим теодолитом.

При длинах линий более 0,5 км углы измеряются при хорошей видимости и поэтому не рекомендуется определять величину углов полигонометрии IIC и IVC классов в близполуденное время.

При измерении углов на местности с большими углами наклона необходимо отсчитывать уровень и вводить поправку

$$(i) = i \operatorname{tg} \alpha,$$

где i — угол наклона оси вращения трубы;

α — угол наклона визирной линии.

Барaban оптического микрометра следует вращать только по ходу часовой стрелки (при совмещении штрихов). При измерении углов теодолитом следует наводящие винты алидады горизонтального круга ставить на середину резьбы и производить наведения только ввинчиванием винта, зажимные винты надо закреплять несильно.

Уравнивание трилатерации может осуществляться на ЭВМ по соответствующим программам.

Т а б л и ц а 65

Типы теодолитов	Число приемов при классах полигонометрии		
	IC	IIIC	IIIC и IVIC
T-2, Theo=010 и равноточные им	6	3	2
T-5	—	4	3

Измеряя углы алидаду при «круге право» и при «круге лево» вращают по ходу часовой стрелки. При наблюдении каждого направления делают два наведения биссектора на предмет и берут соответственно два отсчета, которые округляют до целого деления. Перед началом измерения алидаду поворачивают в направлении измерения углов на 10—15 оборотов.

В тех случаях, когда полигонометрический ход закреплен стенными знаками, а углы измеряются на вспомогательных точках, начинают измерение направлений на переднюю и задние марки, установленные на этих точках, заканчивают измерение направлением на стеной полигонометрический знак. Для того чтобы не менять фокусировку, второй полуприем начинают с визирования на стеной полигонометрический знак, затем измеряют направления на переднюю и заканчивают на заднюю визирные марки. Все полевые записи по измерению углов заносятся в специальный полевой журнал.

По окончании измерения углов на станции в журнале определяются направления и величины двойной коллимационной ошибки. Колебания направления в приемах и расхождение отсчетов на замыкающие направления в каждом полуприеме не должны выходить за пределы, приведенные в табл. 40.

Во время привязки вновь прокладываемой полигонометрической сети к ходам существующей полигонометрии в точках примыкания измеряют два примычных угла и если измеренный угол отличается от ранее полученного более чем на $2m\beta$, то следует продолжить измерение углов на точках ранее существовавшего хода до того пункта, на котором разность углов измеренного и ранее полученного будет менее $2m\beta$.

При измерении углов иногда приходится пользоваться центрировкой и редукцией, в таком случае углы измеряют так же как на вспомогательных точках около стеного знака.

Линейные измерения. Стороны полигонометрических ходов IC,

IIС, IIIС, IVС классов измеряются следующими приборами: светодальномерами, двух- и трехметровыми базисными жезлами, подвесными мерными приборами и длиномерами.

Базисными жезлами измеряют стороны в полигонометрии IIС, IIIС, IVС классов методом створного определения (рис. 44) и мето-

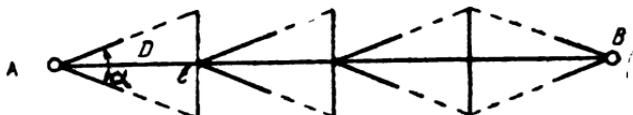


Рис. 44. Измерение сторон короткобазисным методом створного определения

дами с вспомогательными базисами (рис. 45) с точностью 1 : 10 000—1 : 20 000.

Базисные жезлы должны быть прокомпарированы с относительной ошибкой не ниже 1 : 70 000.

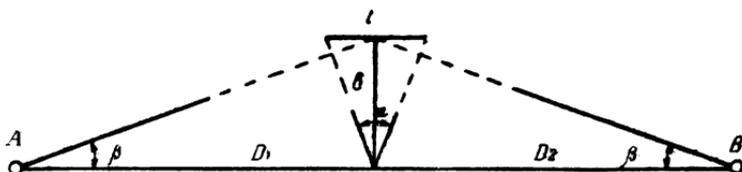


Рис. 45. Измерение сторон короткобазисным методом с вспомогательным базисом

Если при измерении стороны AB (см. рис. 44) базис l поместить на конце линии в точке B , а параллактический угол измерять на точке A , то длина стороны D будет

$$D = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Средняя квадратическая ошибка m_D измерения стороны D определяется формулой

$$m_D^2 = m_{D,l}^2 + m_{D,\alpha}^2,$$

где

$$m_{D,l} = \frac{m_l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}; \quad m_{D,\alpha} = \frac{l}{4} \frac{m_\alpha}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Наиболее существенная ошибка в измеряемую сторону вносится при определении угла α , поэтому к его измерению предъявляют повышенные требования.

При использовании метода с вспомогательным базисом, когда угол α большой, рекомендуется измерять дополнительный угол $\frac{\alpha}{2}$ с тем, чтобы контролировать правильность установки жезла. В табл. 66 полный угол α обозначен через $2\alpha_0$, а части его, измеренные в поле, через α_1 и α_2 . Указанные в табл. 65 величины вычислены с учетом сохранения длины жезла с ошибкой менее 1 : 10 000 по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin(90^\circ \pm 0^\circ 15')}{S_0 - \cos(90^\circ \pm 0^\circ 15')},$$

где S_0 — длина стороны, найденная по углу $2\alpha_0$.

Т а б л и ц а 66

$2\alpha_0$, град	b , м	$\alpha_2 - \alpha_1$, с	$\frac{2\alpha_0 -}{-(\alpha_1 + \alpha_2)}$, с	$2\alpha_0$, град	b , м	$\alpha_2 - \alpha_1$, с	$\frac{2\alpha_0 -}{-(\alpha_1 + \alpha_2)}$, с
3	38,2	1,4	0,1	8	14,3	8,8	0,27
4	28,6	2,2	0,14	10	11,4	13,7	0,34
5	22,9	3,4	0,17	12	9,5	19,7	0,4
6	19,1	4,9	0,2	14	8,1	26,7	0,46

В графе $(\alpha_2 - \alpha_1)$ даны допустимые отклонения для характеристики установки жезла, большие отклонения указывают на неправильную его установку. Длину стороны в этом случае определяют по формуле

$$D = \frac{b \sin(\beta + \gamma)}{\sin \beta},$$

где

$$b = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИИМИ) разработан новый прибор (длиномер АД-1) для измерения сторон полигонометрии ПС, ППС и IVС классов. Чтобы определить расстояние этим прибором, измеряют длину натянутой между конкретными точками некомпорированной стальной проволоки, прокатывая по ней длиномер, по счетчику которого снимают показания. Счетчик прибора связан с мерным диском зубчатой передачей. Максимальная длина, показываемая счетчиком, 1000 м, по нему берут сотни, десятки метров и дециметров, а сантиметры и миллиметры — по круговой шкале, скрепленной с диском. Кроме того, имеется две шкалы (длиной по 20 см и делениями через 5 мм), которые закрепляют на проволоке так, чтобы нулевое деление каждой шкалы совмещалось с одним из ее концов.

Между точками *A* и *B* измеряемого расстояния натягивают проволоку. Пропускают через направляющие ролики мерный диск длинмера АД-1. На конечных точках *A* и *B* закрепляют на проволоке две шкалы нулевыми делениями друг к другу. Фиксатор прибора совмещают с нулем ближайшей шкалы и при заторможенном мерном диске берут начальный отсчет по длиномеру. После этого при освобожденном мерном диске по проволоке прокатывают прибор к другому концу измеряемой длины.

Фиксатор прибора доводят до нуля другой шкалы, мерный диск затормаживают и берут отсчет по длиномеру. Освобождая мерный диск и не снимая длиномер с проволоки, берут одновременно отсчеты по шкалам, фиксируя их положение относительно центров пунктов *A* и *B*. Затем измерение повторяют в обратном направлении.

Длина однократно измеренного наклонного расстояния определяется по формуле

$$S = \Pi - \mathcal{Z} + a + b + c + \Delta r + t\Delta + \Delta f,$$

где Π , \mathcal{Z} — отсчеты по длиномеру до и после прокатки ($\Pi > \mathcal{Z}$);

a, b — домеры по шкалам;

c — постоянная величина прибора (расстояние между фиксаторами);

$\Delta r, \Delta t, \Delta f$ — поправки за компарирование мерного диска, его температуры и за провес всей проволоки.

При измерении длин сторон стальными и инварными проволоками вешение для установки штативов производят с помощью теодолита. При этом штативы расставляют с отклонением от длины проволоки на 3—8 см. Последнее значение отклонения допускается при использовании проволок с гибкими шкалами. Остатки сторон измеряют по возможности на ровном месте. Остатки могут быть положительными и отрицательными.

Для перевозки стальные и инварные проволоки наматывают на специальные барабаны, предохраняющие проволоку от изгибов. Сматывать проволоку с барабана и наматывать на него нужно очень осторожно. Периодически проволоку протирают бензином или техническим вазелином. Если проволока попала под дождь, ее насухо протирают чистой тряпкой. Переносят проволоку осторожно, так чтобы она находилась в слабо натянутом положении и не касалась земли и предметов.

При создании главной плановой основы методом полигонометрии прокладывают системы ходов или одиночные ходы, опирающиеся на пункты высшего разряда опорной геодезической сети.

Углы между примычными сторонами сети и направлениями на ориентирные пункты определяют со средней квадратической ошибкой m_{β} , соответствующей этому классу полигонометрии.

Рекомендуется проводить измерения по трехштативной системе, заканчивая и начиная работу со стороны длиной 800—1000 м. Выбирать сторону следует на хорошо видимых четких предметах (угол здания, громоотвод трубы, шпиль на здании и др.). Ошибка центрирования теодолита и визирных марок не должна быть более 1 мм.

В большой полигонометрической сети, создаваемой специально для строительства в системе координат применительно к стройке, необходимо на двух-трех сторонах, расположенных в противоположных концах сети, определять дирекционные углы астрономическим

способом со средней квадратической ошибкой $m_{\alpha} = m_{\beta}$, соответствующей классу полигонометрии. В полигонометрической сети, опирающейся на пункты высшего класса опорной геодезической сети, такие определения необходимо делать, если число точек поворота между твердыми дирекционными углами более 16, а передавать их следует со стороны опорной геодезической сети высшего класса.

Длину эквивалентного хода рассчитывают в системе полигонометрических ходов в зависимости от назначения и требуемой точности, и в соответствии с этим определяют класс полигонометрии.

Направление полигонометрических ходов следует выбирать так, чтобы создать наиболее благоприятные условия для измерения углов и линий, а также чтобы по возможности получить вытянутую форму хода.

Метод полигонометрии на территориях строительства применяют чаще других методов, поскольку он позволяет определить необходимое число и наиболее удобное размещение пунктов на участках строительства линейных сооружений. В методе полигонометрии значительно меньше угловых измерений по сравнению с триангуляцией, но больше линейных измерений.

В настоящее время измеряют стороны стальными и инварными проволоками довольно редко, в основном там, где требуется очень высокая точность. Определение длины сторон светодальномерами, короткобазисными параллактическими методами, длинномерами и другими современными методами позволяет облегчить линейные измерения, что дает возможность заменить триангуляцию и трилатерацию полигонометрией. К преимуществам полигонометрии можно отнести закрепление пунктов на застроенной территории стенными знаками, что особенно важно для наблюдений за деформацией сооружений.

В полигонометрии углы измеряют теодолитами Тео 0-10, Тн-40, Т-2 и другими той же точности, позволяющими применять трехштативный метод, который значительно увеличивает точность передачи дирекционного угла и таким образом способствует повышению точности хода в целом.

В табл. 67 приведены требования, которым должны соответствовать результаты измерений углов поворота.

Т а б л и ц а 67

Характеристика	Классы полигонометрии			
	IC	IIIC	IIIC	IVC
Точность измерения углов поворота	3"	5"	8"	10"
Число приемов теодолитами Тео 0-10 и другими равноточными ему	6	4	2	2
Число приемов теодолитами Т-5 и другими равноточными ему	—	6	4	2
Расхождение в измерениях углов теодолитом Тео 0-10 в приеме	8"	8"	8"	8"

П р и м е ч а н и е. При числе сторон более 15 дирекционный угол передается со стороны сети высшего класса или определяется астрономическим способом со средней квадратической ошибкой (по внутренней сходимости), не превышающей точности измерения угла поворота.

По окончании определения углов вычисляют среднюю квадратическую ошибку m_{β} измерения угла по формуле

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[pf_{\beta}^2]}{N}},$$

где

$$p = \frac{1}{n+1},$$

n — число сторон в ходе или полигоне;
 f_{β} — невязка хода или полигона;
 N — число ходов или полигонов.

Если углы измерялись в системе полигонометрических ходов, имеющих r узловых пунктов, то среднюю квадратическую ошибку m_{β} измерения угла определяют по формуле

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[pf_{\beta}^2]}{N-r}}.$$

Полученную среднюю квадратическую ошибку m_{β} в каждом ходе следует сравнить с допустимой, вычисленной по формуле

$$2m_{\beta} \sqrt{n+1},$$

где m_{β} — средняя квадратическая ошибка измерения угла в полигонометрии данного класса. Величина m_{β} , определенная для всей полигонометрии, должна быть меньше, показанной в табл. 62.

Знаки полигонометрии закладывают в местах, обеспечивающих их наибольшую сохранность во время строительства. При наличии сооружений линейного типа полигонометрию прокладывают параллельно осям этих сооружений.

Проект главной плановой основы обязательно согласовывается с геодезическо-маркшейдерской службой.

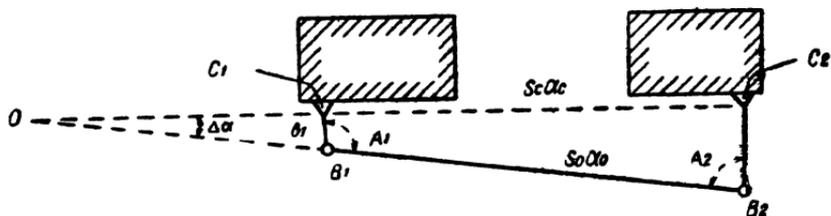


Рис. 46. Определение дирекционного угла между стенными знаками

На строительной площадке необходимо по возможности закреплять полигонометрический ход стенными знаками типа стенового нивелирного репера, а по мере строительства переносить ранее закрепленные знаки в грунт на стенные знаки.

Для того чтобы сторона, закрепленная стенными знаками, имела дирекционный угол и длину соответствующей точности, рассмотрим ошибки, возникающие при этом и дадим рекомендации по ослаблению их.

Дирекционный угол между стенными знаками (рис. 46) определяется при помощи угла $\Delta\alpha$, вычисляемого по формуле

$$\sin \Delta\alpha = \frac{1}{S} (b_2 \sin A_2 - b_1 \sin A_1). \quad (79)$$

Дифференцируя равенство (79), получим

$$\begin{aligned} \cos \Delta\alpha \frac{d\Delta\alpha}{\rho} = \frac{1}{S} \left[db_2 \sin A_2 + \cos A_2 b_2 \cdot \right. \\ \left. \times \frac{dA_2}{\rho} - db_1 \sin A_1 - \cos A_1 b_1 \frac{dA_1}{\rho} \right]. \end{aligned} \quad (80)$$

Формула (80) позволяет написать зависимость средних квадратических ошибок в виде

$$\begin{aligned} m_{\Delta\alpha}^2 = \left(\frac{\rho}{S} \cdot \frac{\sin A_1}{\cos \Delta\alpha} \right)^2 m_{b_1}^2 + \left(\frac{\rho}{S} \cdot \frac{\sin A_2}{\cos \Delta\alpha} \right)^2 m_{b_2}^2 + \\ + \left(\frac{b_1}{S} \cdot \frac{\cos A_1}{\cos \Delta\alpha} \right)^2 m_{A_1}^2 + \left(\frac{b_2}{S} \cdot \frac{\cos A_2}{\cos \Delta\alpha} \right)^2 m_{A_2}^2. \end{aligned} \quad (81)$$

Так как угол $\Delta\alpha$ мал и, как правило, он бывает менее 5° , то формула (81) с достаточной точностью может быть написана в следующем виде:

$$\begin{aligned} m_{\Delta\alpha}^2 = \left(\frac{\rho}{S} \sin A_1 \right)^2 m_{b_1}^2 + \left(\frac{\rho}{S} \sin A_2 \right)^2 m_{b_2}^2 + \\ + \left(\frac{b_1}{S} \cos A_1 \right)^2 m_{A_1}^2 + \left(\frac{b_2}{S} \cos A_2 \right)^2 m_{A_2}^2. \end{aligned} \quad (82)$$

По этой формуле оценивают точность угла $\Delta\alpha$ между направлениями стороны, закрепленной грунтовыми знаками, и определяемой стороны, закрепленной стенными знаками. В таком виде формула (82) может быть применена, когда грунтовый знак приходится закладывать на перекрестке улиц с тем, чтобы создать узловую точку при помощи поперечного хода.

Пусть редуционные величины будут примерно равны и измерены в одинаковых условиях. Тогда $A_1 = A_2 = A$, $m_{A_1} = m_{A_2} = m_A$; $m_{b_1} = m_{b_2} = m_b$ и формула (82) будет

$$m_{\Delta\alpha}^2 = 2 \sin^2 \alpha \frac{\rho^2}{S^2} m_b^2 + \cos^2 A \frac{b_1^2 + b_2^2}{S^2} m_A^2. \quad (83)$$

Таким образом, при этих условиях ошибка $m_{\Delta\alpha}$ зависит от точности линейных и угловых измерений.

Полевые измерения расстояний от вспомогательных точек до центров ственных знаков можно получить с ошибкой $m_b = \pm 2$ мм, для чего второй член формулы (83) желательно сделать пренебрегаемой величиной. Принимая во втором члене формулы (83) $b_1 = b_2 = b$, получим

$$\frac{b\sqrt{2}}{S} \cos Am_A \leq \frac{\sqrt{2}}{S} \cdot \frac{m_b}{S} - \sin \beta,$$

на основании чего найдем

$$m_A = \frac{m_b}{b} \cdot \frac{\rho}{S} \operatorname{tg} A. \quad (84)$$

Формула (84) позволяет определять необходимую точность в минутах измерения угла A для того, чтобы влияние этой ошибки не сказалось на значении угла $\Delta\alpha$ (табл. 68). Табл. 68 позволяет установить, что наиболее выгодные условия создаются при $A = 90^\circ$, тогда формула (83) будет

$$m_{\Delta\alpha} = \sqrt{2} \frac{m_b}{S} \rho. \quad (85)$$

Т а б л и ц а 68

Относительная ошибка линейной редукции	Значение угла A						
	89,5°	89°	88°	87°	85°	80°	75°
1:100	больше 30'						
1:200						19 4'	25,5'
1:500				26,2'	15,7'	7,8'	5,1'
1:1000			19,6'	13,1'	7,8'	3,9'	2,6'
1:2000		19,6'	9,8'	6,6'	3,9'	1,9'	1,3'
1:5000	15,7'	7,9'	3,9'	2,6'	1,6'	0,8'	0,5'
1:10 000	7,6'	3,9'	3'	1,3'	0,8'	0,4'	0,2'

Задавая точность определения $m_{\Delta\alpha}$, можно найти необходимую точность измерения величины b по формуле

$$m_b = \frac{S}{\sqrt{2}} \cdot \frac{m_{\Delta\alpha}}{\rho}, \quad (86)$$

на основании которой составлена табл. 69.

Подобным же образом можно вычислить ошибку m_S определения длины стороны, редуцированной на ственные знаки, и, когда $A = 90^\circ$ и $\Delta\alpha < 5^\circ$, получить формулу

$$m_S = \frac{m_A}{\rho''} \sqrt{b_1^2 + b_2^2}. \quad (87)$$

Таблица 69

Длина сторон, м	Величина $\Delta\alpha$, с					
	1	2	5	10	20	30
20	0,2	0,1	0,3	0,7	1,4	2,1
50	0,2	0,3	0,9	1,7	3,4	5,1
100	0,3	0,7	1,7	3,4	6,9	10,3
200	0,7	1,4	3,4	6,9	13,9	20,6
300	1	2,1	5,1	10,3	20,6	30,9
500	1,7	3,4	8,6	17,1	34,3	51,4
800	2,7	5,5	13,7	27,4	54,9	82,3

Полагая $b_2 = b_1 n$,
найдем

$$m_A = \frac{\rho \left(\frac{m_S}{S} \right) S}{b_1 \sqrt{n^2 + 1}}. \quad (88)$$

Формула (88) дает возможность сделать вывод о том, что наибольшие средние квадратические ошибки m_A допускают при определении стороны, имеющей направление, близкое к измеренному.

Средняя квадратическая ошибка центрирования теодолита может быть вычислена по формуле

$$m_u = \rho \frac{m_o}{S_1 S_2 \sqrt{2}} c,$$

где S_1 и S_2 — длины сторон поворотного угла β ;

$$c = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 S_2 \cos \beta};$$

$$\rho = 206\,265''.$$

Введем обозначение: $S_2 = nS_1$, тогда

$$c = \sqrt{n^2 S_1^2 + S_1^2 - 2S_1^2 n \cos \beta} = S_1 \sqrt{1 + n^2 - 2n \cos \beta}$$

$$m_u = \rho \frac{e}{S_1 S_2} S_1 \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n^2}{2} - n \cos \beta} = \rho \frac{e}{n S_1} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n^2}{2} - n \cos \beta} = \rho \frac{e}{S_1} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2n^2} - \frac{\cos \beta}{n}} = \rho'' \frac{e}{S_1} k,$$

$$\text{где } k = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2n^2} - \frac{\cos \beta}{n}}.$$

Определим коэффициенты k по аргументам β и n и поместим их в табл. 70.

Т а б л и ц а 70

Углы	Значения k при n									
	1	2	3	4	5	7	10	20	50	100
0°	0	0,35	0,47	0,53	0,59	0,61	0,64	0,69	0,69	0,71
45°	0,54	0,54	0,56	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7	0,71
90°	1	0,79	0,75	0,73	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
135°	1,31	0,99	0,89	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,72	0,71
180°	1,41	1,06	0,94	0,88	0,85	0,81	0,78	0,74	0,72	0,71

Пример. Угол в 45° измерен с ошибкой центрирования $m_1=10$ мм и ошибкой редукции $m_b=2$ мм. Определить ошибку измеренного угла m_A сторон $S_1=30$ м и $S_2=90$ м.

$$m_A^u = 206'' \cdot 0,56 = 38,45'';$$

$$m^b = 206 \frac{2}{30} 0,35 = 4,81'';$$

$$m_A = \pm 40'';$$

$$m_{\Delta\alpha}^2 = 2 \sin^2 \beta \frac{\rho^2}{S^2} m_b^2 + \cos^2 \beta \frac{r_1^2 + r_2^2}{S^2} m^2;$$

$$m_{\alpha}^2 = \left(\sqrt{2} \sin 45^\circ \frac{206}{90} 10 \right)^2 + \cos^2 \beta \frac{(30 \sqrt{2})^2}{S^2} m_A^2;$$

$$m_{\Delta\alpha}^2 = (13,3)^2 + (22,9)^2 = 177 + 524;$$

$$m_{\Delta\alpha} = \pm 26,5'';$$

т. е. дирекционный угол с стороны на стенные знаки будет передан со средней квадратической ошибкой 26,5''

Ошибку m_r , допущенную при центрировании марок и других визирных целей, вычисляют по формуле

$$m_r = \rho'' \frac{e_r}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2}}$$

или, приняв $S_2 : S_1 = n$, найдем

$$m_r = \rho \frac{e_r}{S_1} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2n^2}} = \rho'' \frac{e_r}{S_1} k_1.$$

При $\angle \beta = 90^\circ$ $k_1 = k$, выбираемому из табл. 70 по аргументу $\beta = 90^\circ$.

Пример. Угол измерялся теодолитом Тео-010 со средней квадратической ошибкой $m_n = \pm 2''$. Центрирование инструмента и визирных марок выполнялось с ошибкой ± 1 мм. Сторона $S_1 = S_2 = 100$ мм. Угол $\beta = 180^\circ$. Определить точность измерения угла на станции.

Из табл. 70 находим $k = 1,41$ и $k_1 = 1$.

$$\text{Имеем } m_c = 206'' \cdot \frac{1}{100} \cdot 1,41 = 2,9'',$$

$$m_r = 206 \cdot \frac{1}{100} \cdot 1 = 2,06''.$$

Следовательно, угол измерен со средней квадратической ошибкой без учета ошибок от наклона:

$$\text{лимба } m_n = \frac{1}{4} \cdot \frac{\varepsilon^2}{\rho} \quad (\varepsilon - \text{наклон лимба});$$

оси вращения трубы

$$\Delta_i = i (\operatorname{tg} v_a - \operatorname{tg} v_b),$$

где i — угол наклона оси вращения трубы;

v_a и v_b — углы наклона линии визирования.

Кроме того, угол измерен без учета коллимационной ошибки трубы Δ_c

$$\Delta_c = c (\sec v_a - \sec v_b).$$

Определение дирекционных углов астрономическим способом.

Дирекционные углы находят несколькими способами по близполюсным звездам, но наиболее часто встречаются два из них. Это определение дирекционного угла по наблюдениям Полярной ($\alpha U_{\text{Полн}}$) или другой близполюсной звезды вблизи ее элонгации; по часовому углу Полярной или другой близполюсной звезды.

При астрономических вычислениях необходимо знать звездное время, которое можно получить, если известно поясное или декретное время. Звездное время θ в данной точке определяют часовым углом точки весеннего равноденствия t_γ в часовых единицах. Звездное время равно сумме прямого восхождения светила α и его часового угла t , т. е.

$$\theta = \alpha + t.$$

Если светило находится в верхней кульминации, т. е. переходит через меридиан, то $t = 0$, и $\theta = \alpha$, если в нижней кульминации, то

$$\theta = \alpha + 12^h.$$

Для вычисления точного звездного времени θ , когда известно точное декретное время T , применяется формула

$$\theta = T - N_D + \lambda + \Delta\theta_0 + \theta_0, \quad (89)$$

где θ — звездное время на момент T (истинное);

θ_0 — звездное время в Гринвичскую полночь;

$\Delta\theta_0$ — изменение звездного времени за промежуток времени от полуночи до момента T ;

λ — долгота места определения азимута (пункта, где установлен был теодолит);

N_D — разность между Гринвичским временем и временем декретным места наблюдения (для Москвы $N_D = 3^h 00^m 00^s$).

Определение звездного времени рекомендуется проверять по формуле

$$\theta = T - N_D + \lambda + \eta + \alpha_0,$$

где η — уравнение времени, а α_0 — прямое восхождение Солнца; T (во всех формулах) — точное время, получаемое с помощью поправки по шестому сигналу, передаваемому радиостанциями на начало каждого часа.

Определение поправки состоит в том, что исполнитель, взяв счет секунд по своим часам, с которыми будет вести наблюдения, замечает совпадение шестого сигнала с взятым счетом секунд. Если шестой сигнал совпадет с концом счета секунд, то поправка будет выражаться в секундах. При совпадении шестого сигнала с началом счета поправка будет выражаться в полусекундах. Так, например, когда был счет двадцать четыре, совпадение шестого сигнала произошло на слове счета «двадцать», следовательно, время совпадения будет равно какому-то числу минут и 23,5^с. Наблюдатель записывает, например, 6^h 58^m 23,5^с в момент шестого сигнала 7^h 00^m 00,0^с времени. Такие определения необходимо делать за час или, в крайнем случае, за два часа до наблюдений и два раза после наблюдений с теми же интервалами времени. Эти определения дадут возможность получить поправку часов наблюдателя на момент наблюдения звезды и таким образом получить точное время T . Часы наблюдателя следует заводить раз в сутки и одновременно с этим исправлять их. Дополнительно заводить часы и исправлять их показания нельзя. Поправку часов необходимо определять не раньше, чем через полчаса-час после завода их.

Способ определения дирекционного угла по наблюдениям Полярной (αU_{\min}) или другой близполюсной звезды вблизи ее элонгации. Этот способ требует небольших приближенных подсчетов для установления времени элонгации, зенитного расстояния и азимута с тем, чтобы найти звезду и вести наблюдения во времени светового дня.

Если время элонгации придется на вечер или ночь, то такие вычисления можно и не делать, а находить звезду визуально. Однако и в этом случае расчеты позволяют находить звезды значительно быстрее. Этот способ не требует знания точного времени элонгаций звезды, необходимо его знать с точностью 3—5 мин с тем, чтобы наблюдения начать минут за 40 до элонгации и продолжить их на это же время после элонгации, т. е. наблюдения располагать примерно симметрично относительно времени элонгации.

При астрономических определениях дирекционного угла обычно наблюдают Полярную звезду, которая хорошо видна на ночном небе.

Вычисления производят по следующим формулам:

$$\cos t = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \delta}; \quad \theta_E = \alpha - t; \quad \theta_W = \alpha + t; \quad (90)$$

$$\cos z = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta}; \quad (91)$$

Таблица 71

1	2	3	4	5	6	7	8
Время наблюдения, T	Отчет по горизонтальному кругу при положении вертикального круга справа	$T - TE$	$x = (T - TE)^2$	$y = \Gamma k - \Gamma k_0$	$k_0 x - 5,4'' = \Delta \Gamma k$	$\Gamma k + k_0 x - 5,4'' = \Gamma k + \Delta \Gamma k$	Поправка, ρ
$23^h 40,3^m$	$117^\circ 14' 17''$	-19,7	388,1	+19	+18,3	$117^\circ 14' 35,3''$	-0,8
23 40,3	117 14 26	-15,7	246,5	+10	+9,8	117 14 35,7	-0,4
23 46,2	117 14 29	-13,8	190,4	+7	+6,2	117 14 35,2	-0,9
23 52,7	117 14 37	- 7,3	53,3	-1	-2,1	117 14 34,9	-1,2
24 10,4	117 14 36	+10,4	108,2	0	+1,2	117 14 37,2	+1,1
24 12,6	117 14 32	+12,4	153,8	+ 4	+ 4	$117^\circ 14' 36''$	-0,1
24 15,5	117 14 29	+15,5	240,2	+ 7	+9,3	117 14 38,3	+2,2
24 17,3	117 14 23	+17,3	299,3	+13	+12,9	117 14 35,9	-0,2
	<u>Ср. 117 14 36,5</u>		<u>$\Sigma = 1679,8$</u>	<u>$\Sigma = 59$</u>		<u>Ср. 117 14 36,1</u>	

Определение поправки $\Delta\Gamma_k$ для приведения направлений к моменту элонгации по данным табл. 71.
 Число наблюдений $n=8$;

$$[x] = 1679,8; [y] = 59; [xy] = 17305; [x^2] = 433114; [y^2] = 745; [v^2] = 9,2; \quad \frac{[x]}{n} = \frac{1679,8}{8} = 209,975;$$

$$\frac{[y]}{n} = \frac{59}{8} = 7,375; \quad \frac{[y]}{n} [y] = 7,375 \cdot 59 = 435,1; \quad [v^2] = [y^2] - \frac{[y]^2}{n} = 745 - 435,1 = 309,9;$$

$$\frac{[x]}{n} [x] = \frac{1679,8}{8} \cdot 1679,8 = 352716; \quad [x^2] - \frac{[x^2]}{n} = 433114 - 352716 = 80398; \quad \frac{[x]}{n} [y] = 209,975 \cdot 59 =$$

$$= 12389; \quad [xy] - \frac{[xy]}{n} = 17305 - 12389 = 4916; \quad k_2 = \frac{4916}{80398} = 0,06115; \quad k_2 \frac{[x]}{n} = 0,06115 \cdot 209,975 = 12,840;$$

$$\frac{[y]}{n} - k_2 \frac{[x]}{n} = k_2 x = \Delta\Gamma_k; \quad \text{т.е. } 7,375 - 12,840 + 0,06115x = \Delta\Gamma_k; \quad \Delta\Gamma_k = -5,4 + 0,06115x.$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi}; \quad A_E = 180^\circ + a; \quad A_W = 180^\circ - a, \quad (92)$$

где t — часовой угол звезды в момент элонгации (в часовых единицах);

A_E, A_W — азимуты звезды в момент элонгации (от Юга);

Z — зенитное расстояние.

Так, при широте Москвы $\varphi = 55^\circ 00'$, время элонгации Полярной звезды будет $\theta_E = 19^h 54^m$ и $\theta_W = 7^h 43^m$, $Z = 34^\circ 59'$, $A_E = 181^\circ 41'$, $A_W = 178^\circ 19'$. При широте $\varphi = 56^\circ 00'$ эти данные соответственно будут $\theta_E = 19^h 55^m$, $\theta_W = 7^h 43^m$, $Z = 33^\circ 59'$, $A_E = 181^\circ 44'$, $A_W = 178^\circ 16'$. После определения звездного времени элонгации θ_E или θ_W его переводят в декретное время по формуле (89).

Наблюдения ведут по следующей программе:

1. Земной предмет (в расстоянии 0,8—1 км) — отсчет по горизонтальному кругу.

2. Наблюдение Полярной звезды — отсчет часов наблюдателя до 1^s и отсчеты по уровню до 0,1 деления и горизонтальному кругу.

3. Повторное наблюдение Полярной звезды — отсчет часов до 1^s , отсчеты по уровню до 0,1 деления и горизонтальному кругу.

4. Земной предмет — отсчет по горизонтальному кругу (разность отсчетов п. 4 и п. 1 должна быть в пределах допуска).

Такие наблюдения производят при другом положении круга, не меняя установки лимба (прибор вращают только в одном направлении). Наблюдения повторяют, и, как сказано выше, располагают симметрично относительно времени элонгации. Рекомендуется проделать от 4 до 6 таких приемов.

Обработку наблюдений по этому методу начинают с введения поправок за уровень и составления таблицы углов между земным предметом и Полярной звездой с учетом поправки за уровень по каждому кругу отдельно (показания часов наблюдателя).

В табл. 71 даны углы, полученные по наблюдениям (4 полуприема) при КП (с введением поправок за уровень).

Из наблюдений видно, что в $23^h 42,3^m$ угол был $117^\circ 14' 23''$, такой же, как и в $24^h 17,3^m$. То же самое можно сказать и о времени $23^h 46,2^m$ и $24^h 15,5^m$. По этим данным время элонгации по часам наблюдателя было

$$T_E \approx \frac{23^h 42,3^m + 24^h 17,3^m}{2} \approx \frac{23^h 46,2^m + 24^h 15,5^m}{2} \approx \\ \approx 23^h 59,8^m \approx 0^h 00,8^m.$$

Для уравнивания можно принять $T_E = 0^h 00,0^m$ и на основании этого заполнить графу 3. Затем решают уравнения погрешностей способом наименьших квадратов, предложенным академиком П. А. Чебышевым. Решение дает уравнение $\Delta \Gamma k = +7,375 - 12,840 + 0,06115$, определяющее поправку $\Delta \Gamma k$, позволяющую найти угол Γk между земным предметом и Полярной звездой в момент элонгации по каждому наблюдению. Значения углов приведены в графе 7.

Следовательно, ошибка определения азимута вычислится по следующим формулам:

средняя квадратическая ошибка одного определения — по уравнению

$$m_{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{9,2}{7}} = \pm \sqrt{1,31} = \pm 1,15'';$$

средняя квадратическая ошибка определения по правому кругу из всех наблюдений (без учета коллимационной ошибки) — по формуле

$$M_{\alpha R} = \frac{1,15}{\sqrt{8}} = \pm 0,41''.$$

Окончательный азимут должен получиться как среднее из определений при круге правом и круге левом. В данном случае при левом круге было получено $L_{cp} = 117^{\circ}13'50''$. Следовательно, окончательный угол будет

$$\Gamma^k = \frac{117^{\circ}14'36'' + 117^{\circ}13'50''}{2} = 117^{\circ}14'13''.$$

Находим азимут Полярной звезды в элонгации по формуле

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi} = \frac{0,0150141}{0,5645521} = 0,026595;$$

$$\alpha = 1^{\circ}31'26,2''.$$

Получаем окончательный азимут искомой стороны

$$A = 181^{\circ}31'26,2'' - 117^{\circ}14'13'' = 64^{\circ}19'13''.$$

Способ определения дирекционного угла по часовому углу Полярной или другой близполюсной звезды. Как указывалось выше, перед наблюдениями по этому способу необходимо, пользуясь сигналами точного времени передаваемыми радиостанциями (шесть точек), сверить свои часы за один, два часа до наблюдений и два раза после наблюдений, примерно с этими же интервалами. Наблюдения по этому способу можно начинать с наведения трубы теодолита на звезду визуально, но проще это сделать, если заблаговременно, как указывалось выше, вычислить зенитное расстояние и азимут, пользуясь формулами

$$\sin z = \frac{\cos \delta \sin t}{\sin a} \quad \text{или} \quad \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t; \quad (93)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} a &= \frac{\sin t}{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta - \sin \varphi \cos t} = - \frac{\operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t} = \\ &= - \frac{m \sin t}{1 - n \cos t}. \end{aligned} \quad (94)$$

Наблюдения выполняют в том же порядке, что и по способу наблюдений вблизи элонгации, но время по часам наблюдателя отсчитывают с точностью до 1 с. Счет времени (секунд) должен вести помощник наблюдателя, он же должен записывать все отсчеты: по ча-

сам, по горизонтальному кругу теодолита и уровню, лучше наклонному, но можно и по уровню при алидаде горизонтального круга. Отсчеты по левой стороне уровня берут со знаком «+», а по правой — со знаком «-».

По выполнению программы наблюдений азимута определяют интерполированием точное значение прямого восхождения и склонение Полярной звезды на время наблюдения, пользуясь Гринвичским временем. Затем вычисляют звездное время по формуле (89) и часовой угол. После чего находят азимут Полярной звезды, пользуясь равенством (94). Пример такого определения дан в табл. 73.

По табл. 72* при помощи интерполирования на 1,208 дня находим $\Delta = 235^{\circ} \times 1,208 - 284^{\circ} = 0^{\text{h}}04^{\text{m}}44^{\text{s}}$.

По данным табл. 72 девятого августа $P_0 = 19^{\text{h}}02^{\text{m}}34^{\text{s}}$, тогда на август 7,792

$$P_0 = 19^{\text{h}}02^{\text{m}}34^{\text{s}} - 0^{\text{h}}04^{\text{m}}44^{\text{s}} = 18^{\text{h}}57^{\text{m}}50^{\text{s}}.$$

Если бы дирекционный угол определялся по Полярной звезде в 1974 г. 7-го августа, то необходимо было бы после получения P на 1973 г. (табл. 74) ввести поправку $1^{\text{m}}58^{\text{s}}$ для данного месяца 1974 г. и тогда

$$P_{7/8-1974} = P_{7/8-1973} - \Delta = 18^{\text{h}}57^{\text{m}}50^{\text{s}} - 1^{\text{m}}58^{\text{s}} = 18^{\text{h}}55^{\text{m}}52^{\text{s}}.$$

Т а б л и ц а 72

Месяц и число 1973 г.	P_0	Суточное изменение	Месяц и число 1973 г.	P_0	Суточное изменение
Январь 2	$4^{\text{h}} 39^{\text{m}} 30^{\text{s}}$	$237,9^{\text{s}}$	Июнь 30	$16^{\text{h}} 25^{\text{m}} 53^{\text{s}}$	$235,1^{\text{s}}$
12	$5 19 10$	$237,9$	Июль 10	$17 05 04$	$235,1$
22	$5 58 48$	$237,9$	20	$17 44 14$	$234,9$
32	$6 38 28$	238	30	$18 23 24$	235
Февраль 11	$7 18 08$	$237,9$	Август 9	$19 02 34$	$235,2$
21	$7 57 46$	$237,7$	19	$19 41 46$	$235,2$
Март 3	$8 37 23$	$237,5$	29	$20 20 57$	$235,2$
13	$9 16 58$	$237,4$	Сентябрь 8	$21 00 10$	$235,5$
23	$9 56 32$	$237,1$	18	$21 39 24$	$235,6$
Апрель 2	$10 36 03$	$236,7$	28	$22 18 40$	$235,8$
12	$11 15 30$	$236,5$	Октябрь 8	$22 57 58$	$235,9$
22	$11 54 56$	$236,3$	18	$23 37 18$	$236,2$
Май 2	$12 34 19$	235	28	$0 16 40$	$236,5$
12	$13 13 38$	$235,8$	Ноябрь 7	$0 56 05$	$236,6$
21	$13 49 00$	$235,6$	17	$1 35 31$	$236,9$
31	$14 28 16$	$235,4$	27	$2 15 01$	$237,3$
Июнь 10	$15 07 30$	$235,2$	Декабрь 7	$2 54 33$	$237,4$
20	$15 46 42$	$235,1$	17	$3 34 07$	$237,5$
30	$16 25 53$		27	$4 13 42$	

* Табл. 72, 74, 75 взяты из книги В. Л. Кагана. «Полевые таблицы для вычисления часового угла и азимута Полярной 1970—1980» под редакцией проф., д-ра Л. С. Хренова.

Схема	Наблюдения Полярной звезды		Схема	Наблюдения Полярной звезды		Искомые данные	
	Первое	Второе		Первое	Второе		
T	$23^h 03^m 42^s$	$23^h 05^m 32^s$	$\Pi' \lambda'$	$1^h 31^m 20^s$	$1^h 31^m 20^s$	$\varphi = 55^\circ 37' 43,7''$	
ω	10	11	$\Delta \Pi \Delta \lambda$	—44	—44	$\lambda = 2^h 32^m 32^s$	
$\mu - \alpha$	$-5^h 33^m 34^s$	$5^h 33^m 34^s$	$\Pi \lambda$	$1^h 30^m 36^s$	$1^h 30^m 36^s$	$\alpha = 2^h 06^m 47^s$	
t	$17^h 30^m 18^s$	$17^h 32^m 09^s$	a	$1^h 30^m 24^s$	$1^h 30^m 30^s$	$\delta = 89^\circ 08' 23''$	
$\sin t$	$-0,991615$	$-0,772626$	$N_{\text{зпр}}$	$64^h 17^m 22^s$	$64^h 17^m 21^s$	$\Delta = 0^\circ 51' 37''$	
$\cos t$	$-0,129228$	$-0,121220$	A	$64^h 17^m 10^s$	$64^h 17^m 15^s$	$\operatorname{tg} \Delta = 0,015016$	
$m \sin t$	$+0,028375$	$+0,026402$	На 7 августа 1973 г. $m = 0,026598$, $n = 0,021954$				Сравнение часов наблюдения: 22 ^h 00 ^m 00 ^s , 0 — 22 ^h 03 ^m 56 ^s ; 23 ^h 00 ^m 00 ^s , 0 — 23 ^h 03 ^m 57 ^s ; 24 ^h 00 ^m 00 ^s , 0 — 24 ^h 03 ^m 57 ^s .
$1-n \omega \sin t$	$+1,002837$	$+1,002661$	S_0	$21^h 01^m 29^s$	Отсчет по уровню		
$\operatorname{tg} a$	$+0,026300$	$+0,026322$	z	$34^\circ 28'$	$+3,4-5,9=-2,5$		
			$\operatorname{ctg} z$	1,45682			

$$\Delta \Pi = -2^{\frac{0}{s}} \operatorname{ctg} z \frac{\pi}{2} = -2^{\frac{0}{s}} \operatorname{ctg} z 10,6' = -44''$$

Поправки для определения дирекционного угла при переходе от 1973 г. к 1974—1980 гг. по месяцам

Год	январь		февраль		март		апрель		май		июнь		июль		август		сентябрь		октябрь		ноябрь		декабрь	
	-2^m	0^s	-2^m	0^s	-2^m	0^s	-2^m	0^s	-1^m	59^s	-1^m	59^s	-1^m	58^s	-1^m	59^s	-2^m	00^s	-1^m	59^s	-2^m	00^s	-1^m	59^s
1974	-4	00	-3	59	-3	59	-3	59	-3	56	-3	55	-3	54	-3	54	-3	56	-3	56	-3	56	-3	56
1975	-5	57	-5	56	-1	57	-1	54	-1	54	-1	54	-1	52	-1	52	-1	55	-1	54	-1	54	-1	52
1976	-3	52	-3	51	-3	49	-3	47	-3	44	-3	43	-3	42	-3	42	-3	43	-3	43	-3	43	-3	41
1977	-5	40	-5	39	-5	36	-5	35	-5	31	-5	28	-5	28	-5	27	-5	28	-5	28	-5	28	-5	28
1978	-7	26	-7	22	-7	21	-7	17	-7	14	-7	11	-7	09	-7	03	-7	11	-7	10	-7	10	-7	09
1980	-9	08	-9	06	-5	03	-5	00	-4	57	-4	54	-4	53	-4	51	-4	53	-4	54	-4	53	-4	51

Прямое восхождение Полярной звезды на годы

Месяц и число	1973		1974		1975		1976		1977		1978		1979		1980	
	0°	$51'$	0°	$50'$	0°	$50'$	0°	$50'$	0°	$50'$	0°	$49'$	0°	$49'$	0°	$49'$
Январь 1	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Январь 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Февраль 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Февраль 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Март 1	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Март 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Апрель 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Апрель 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Май 1	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Май 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Июнь 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Июнь 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Июль 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Июль 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Август 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Август 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Сентябрь 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Сентябрь 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Октябрь 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Октябрь 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Ноябрь 11	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Ноябрь 21	0	51'	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'
Декабрь 11	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'	0	49'
Декабрь 31	0	50'	0	50'	0	50'	0	50'	0	49'	0	49'	0	49'	0	49'

Полученное значение необходимо только исправить за долготу и получить $\theta = P_{7/8-1973} + \lambda = 18^h 57^m 50^s + 2^h 32^m 32^s = 21^h 30^m 22^s$. Пользуясь астрономическим ежегодником на 1973 г., значение $P_{7/8}$ получили бы на основании следующих данных:

$$\theta = S_0 + \omega + \lambda - \alpha = 21^h 01^m 29,9^s + 3^m 08^s + 2^h 32^m 32^s - 2^h 06^m 47^s = 21^h 30^m 23^s,$$

что является надежным контролем определения величины $P_{7/8-1973}$

По табл. 75 простым интерполированием получаем

$$\Delta = 0^\circ 51' 36'' + \frac{2,2}{20} 3,2 = 0^\circ 51' 36,4''.$$

По Астрономическому ежегоднику $\Delta = 0^\circ 51' 37''$ (см. табл. 71).

Строгое уравнивание полигонометрической сети с твердыми дирекционными углами на узловых точках. Городские полигонометрические сети обычно представляют собой довольно сложную систему ходов, что вызывает необходимость иметь весьма густую сеть опорных точек для выполнения съемок в масштабах 1 : 500—1 : 5000.

Уравнивание полигонометрических сетей IС класса и некоторых сетей IIС класса должно обязательно сопровождаться оценкой точности полевых измерений и некоторых функций уравнивания элементов (дирекционных углов и координат пунктов) в наиболее слабых местах.

Следует особо подчеркнуть, что наличие твердых дирекционных углов на узловых точках не только значительно повышает точность, но и делает вычисления очень простыми, а объем полевых работ при этом увеличивается не намного.

Общее число условий, возникающих в полигонометрической сети с твердыми дирекционными углами на узловых точках, может быть подсчитано по следующей формуле:

$$r = 3(N + T - 1) + Q, \quad (95)$$

где N — число замкнутых полигонов;

T — число опорных пунктов;

Q — число опорных дирекционных углов на узловых точках.

При этом числе общих условий число угловых (азимутальных) условий будет

$$r_a = N + T - 1 + Q, \quad (96)$$

а число координат

$$r_k = 2(N + T - 1). \quad (97)$$

Для уравнивания таких сетей применяют двухгрупповой метод, относя к первой группе угловые условия, а ко второй — координатные. В первой группе все уравнения не зависят друг от друга и определение первичных поправок в углы практически сводится к распределению угловой невязки в каждом ходе поровну на все углы хода. Для упрощения вычислений за начало координат каждого хода принимают центр тяжести его вершины, тогда нормальные уравнения второй группы окажутся независимыми. Поскольку и нормальные

уравнения первой группы не зависят друг от друга и их свободные члены равны нулю (следовательно, равны нулю и соответствующие коррелаты), то практически после уравнивания углов потребуется составить и решить только систему нормальных уравнений коррелат, согласовывающуюся с координатными условиями. Пример на уравнивание полигонометрической сети из пяти ходов (рис. 47) (проводится только один ход), образующих две узловых точки с твердыми дирекционными углами на них, приведен в табл. 76—80.

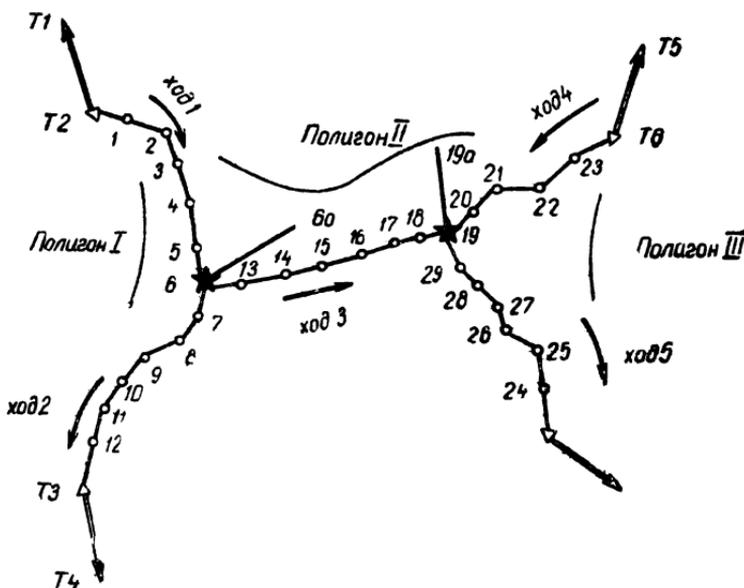


Рис. 47. Схема сети полигонометрии (T_1, T_2 и т. д. — твердые точки, в которых определены дирекционные углы)

Вычисления выполняют в следующем порядке:

1. В каждом ходе предварительно уравнивают углы, распределяя угловую невязку поровну на все углы, затем вычисляют дирекционные углы сторон, приращения координат, центральные координаты пунктов и, наконец, величины

$$A_i = [\Delta x \cos \alpha]_i + \frac{q}{\rho} [\eta^2]_i; \quad B = [\Delta y \sin \alpha]_i - \frac{q}{\rho} [\xi^2]_i; \quad C = [\Delta x \sin \alpha]_i - \frac{q}{\rho} [\eta \xi]_i.$$

Центральные координаты пунктов хода определяют по формулам

$$\xi_i = x_i - x_0; \quad \eta_i = y_i - y_0,$$

где

$$x_0 = \frac{[x]_i}{n+1}; \quad y_0 = \frac{[y]_i}{n+1}.$$

Таблица 76

Номер знака	Углы поворота (левые)	Дирекционные углы	Длина сторон, м	sin α cos α	Правящиеся		Координаты		
					Δx	Δy	x	y	
Ход 2									
Водонапорная башня		232° 39' 24,6"							
6	-1,7 170° 14' 38,2" +4,4	222 54 01,1 +4,4	308,963 -4	-0,680725 -0,732539	+7 -226,327	-2 -210,319	+38927,731	236802,507	
7	201 11 24,7 +3,6	244 05 24,1 +8,0	397,031 -3	-0,899482 -0,436987	+15 -173,486	-4 -357,122	+308701,411	+36592,186	
8	192 49 51,3 +2,1	256 55 13,7 +10,1	446,753 -2	-0,974057 -0,226304	+22 -101,102	-2 -435,163	+38527,940	+36235,060	
9	159,06 26,5 0	236 01 38,5 +10,3	312,472 -3	-0,829305 -0,566797	+15 -174,608	-6 -259,135	+38426,860	+35799,895	
10	172 27 41,8 -1,7	228 29 18,6 +9,4	395,110 -5	-0,748823 -0,662770	+17 -261,867	-9 -295,867	+38252,261	+35540,754	
11	166 01 07,4 -2	215 10 24,3 +7,4	441,325 -6	-0,576053 -0,817412	+14 -360,744	-9 -254,227	+37990,417	+35244,878	
12	188 16 14,9 -3,0	223 26 37,6 +4,3	453,912 -6	-0,687643 -0,726049	+10 -329,562	-3 -312,129	+37629,687	+34990,642	
T ₄	-1,6 131 29 44,1	174 56 20,1	2755,566 -29		+1627,696 f=+100	-2123,962 -35	+37300,135	+84678,500	
T ₅	-4,2 138 17 08,9 +13,4				F ₅ = 26000 1	f ₅ = ±106			

Номер знака	qk_1/η_i	$-qk_2\xi_i$	Поправки углов v_β	Поправки дирекционных углов α	1000 $k_1\Delta x_i$	1000 $k_2\Delta y_i$	Поправки линий, мм	σ_{η}	η
-------------	---------------	--------------	--------------------------	--------------------------------------	----------------------	----------------------	--------------------	-----------------	--------

Ход 2

Водонапорная башня				0			0,0		
6	+4,9	-0,5	+4,4	+4,4	-3,4	-0,5	-3,9	+708	+1067
7	+3,9	-0,3	+3,6	-8,0	-2,6	-0,8	-3,4	+482	+857
8	+2,3	-0,2	+2,1	+10,1	-1,5	-1,0	-2,5	+308	+500
9	+0,3	-0,1	+0,2	+10,3	-2,6	-0,6	-3,2	+207	+64
10	-0,9	0	-0,9	+9,4	-3,0	-0,7	-4,6	+32	-195
11	-2,2	+0,2	-2,0	+7,4	-5,4	-0,6	-6,0	-229	-431
12	-3,4	+0,4	-3,0	+4,3	-4,9	-0,7	-5,6	-590	-745
T_4	-4,8	+0,6	-4,2	0			-29,2	-920	-1057

Контроль $[\xi_i] = 0$ $[\eta_i] = 0$

2. Руководствуясь чертежом уравниваемой сети (см. рис. 47), намечают полигоны замкнутые или опирающиеся на опорные пункты. Общее число полигонов получают из выражения

$$n = N + T - 1,$$

где N — число замкнутых полигонов; T — число опорных точек. При выборе полигонов необходимо следить за тем, чтобы ни один ход данной сети не остался невключенным в полигон и чтобы условия, возникающие в выбранных полигонах, были независимы. Для выполнения последнего требования следует при выборе полигонов наметить сначала все замкнутые полигоны сети, а затем полигоны между твердыми пунктами, придерживаясь при этом правила: идти от уже использованного пункта к пункту, включаемому впервые. Все выбранные полигоны помечают на схеме, нумеруют римскими цифрами, а их направление показывают стрелкой. Для сети, изображенной на рис. 47, выбраны три полигона I, II и III. Соответствующие условные уравнения координат для этих полигонов будут:

Таблица 78

Номер полигона	Опорные пункты				Сумма приращений		Номера ходов, входящих в полигон		Невязки		Нормальные уравнения
	Наименование	Координаты		[Δx]							
		x	y								
I	T ₂	+40882,045	+35534,91	-3582,064	-856,47	1, 2	-0,154	-0,07	1		
	T ₁	+37300,135	+34678,51							2	
II	T ₂	+40882,045	+35534,91	-821,947	+5585,503	1, 3, 4	-0,037	-0,132	3		
	T ₆	+40060,135	+41120,545							4	
III	T ₈	+37401,62	+40842,395	+2658,379	+278,292	5, 4	-0,136	+0,142	5		
	T ₆	+40060,135	+41120,545							6	

Таблица 79

Элементы формул	Номера ходов					Постоянные величины для данной сети
	1	2	3	4	5	
[Δx cos α]	+1626	+1070	+240	+276	+1863	q=306,8 q/p = 14 874.10-7
[Δy sin α]	+842	+1687	+2689	+1392	+751	
[Δx sin α]	-887	+1182	+593	+406	-926	
1000 q/p [π²/1000]	+1609	+6064	+9577	+2552	+2289	
1000 q/p [ξ²/1000]	+4553	+3150	+712	+251	+5228	
-1000 q/p [η²/1000]	+2533	-4244	-2603	-750	-3366	
A	+3235	+7134	+9817	+2828	+4152	
B	+5395	+4837	+3401	+1613	+5979	
C	+1646	-3062	-1910	-344	+2440	

$$\begin{array}{l}
 \text{I} \quad \left. \begin{array}{l}
 \text{a) } [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_2 + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_1 + \\
 \quad + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_2 + f_{x_I} = 0; \\
 \text{b) } [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_2 - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_1 - \\
 \quad - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_2 + f_{y_I} = 0;
 \end{array} \right\} \quad (98)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{II} \quad \left. \begin{array}{l}
 \text{c) } [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_3 + [v_s \cos \alpha]_4 + \\
 \quad + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_1 + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_3 + \\
 \quad + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_4 + f_{x_{II}} = 0; \\
 \text{d) } [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_3 + [v_s \sin \alpha]_4 - \\
 \quad - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_1 - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_3 - \\
 \quad - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_4 + f_{y_{II}} = 0;
 \end{array} \right\} \quad (99)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{III} \quad \left. \begin{array}{l}
 \text{e) } [v_s \cos \alpha]_5 + [v_s \cos \alpha]_4 + \\
 \quad + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_5 + \frac{1}{\rho} [\eta v_\beta]_4 + f_{x_{III}} = 0; \\
 \text{f) } [v_s \sin \alpha]_5 + [v_s \sin \alpha]_4 - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_5 - \\
 \quad - \frac{1}{\rho} [\xi v_\beta]_4 + f_{y_{III}} = 0.
 \end{array} \right\} \quad (100)
 \end{array}$$

Практически необходимости в составлении условных уравнений не возникает, ибо, как будет показано ниже, можно сразу составлять нормальные уравнения коррелат.

3. Для каждого полигона подсчитывают невязки f_x и f_y в координатах (см. табл. 77) и сравнивают их с предельными допустимыми.

4. Составляют нормальные уравнения коррелат, руководствуясь следующими правилами:

для каждого полигона составляют два нормальных уравнения — для f_x и f_y , при этом I полигону соответствуют коррелаты k_1 и k_2 , II полигону — k_3 и k_4 и т. д., полигону с номерами k_{2i-1} и k_{2i} — нечетные коррелаты — абсциссам, четные — ординатам;

в коэффициентах нечетных нормальных уравнений чередуются величины A и C , в четных — C и B ;

Номера уравнений	Коэффициенты нормальных уравнений для условий					
	x		y		y	
	Полигон I		Полигон II		Полигон III	
1	$A_1 + A_2 = +10,37$	$C_1 + C_2 = -1,42$	$A_1 = +3,24$	$C_1 = +1,65$	—	—
2	$C_1 + C_2 = -1,42$	$B_1 + B_2 = +10,23$	$C_1 = +1,65$	$B_1 = +5,4$	—	—
3	$A_1 = +3,24$	$C_1 = +1,65$	$A_1 + A_2 + A_3 = +15,88$	$C_1 + C_2 + C_3 = -0,61$	$A_4 = +2,83$	$C_4 = -0,34$
4	$C_1 = -1,65$	$B_1 = +5,4$	$C_1 + C_2 + C_3 = -0,61$	$B_1 + B_2 + B_3 = +10,44$	$C_4 = -0,34$	$B_4 = +1,64$
5	—	—	$A_4 = +2,83$	$C_4 = -0,34$	$A_4 + A_5 = +6,98$	$C_4 + C_5 = +2,1$
6	—	—	$C_4 = -0,34$	$B_4 = +1,64$	$C_4 + C_5 = +2,1$	$B_4 + B_5 = +7,62$

квадратичные коэффициенты равны сумме величин A (для нечетных уравнений) и B (для четных) всех ходов, входящих в данный полигон;

в нечетных уравнениях после члена с квадратичным коэффициентом (а в четных перед ним) идет член с коэффициентом, равным сумме величин C всех входящих в данный полигон ходов;

коэффициенты для остальных членов состоят из величин A и C или C и B , общих двум полигонам.

При этом, если оба полигона в общей части имеют одинаковое направление, то перед коэффициентом ставится плюс, а в противном случае — минус. Для приводимого примера нормальные уравнения коррелят для полигонов будут

$$I \left. \begin{aligned} (A_1 + A_2) k_1 + (C_1 + C_2) k_2 + A_1 k_3 + C_1 k_4 + f_{x1} &= 0; \\ (C_1 + C_2) k_1 + (B_1 + B_2) k_2 + C_1 k_3 + B_1 k_4 + f_{y1} &= 0; \end{aligned} \right\} (11)$$

$$II \left. \begin{aligned} A_1 k_1 + C_1 k_2 + (A_1 + A_3 + A_4) k_3 + (C_1 + C_3 + \\ + C_4) k_4 + A_4 k_5 + C_4 k_6 + f_{x11} &= 0; \\ C_1 k_1 + B_1 k_2 + (C_1 + C_3 + C_4) k_3 + (B_1 + B_3 + \\ + B_4) k_4 + C_4 k_5 + B_4 k_6 + f_{y11} &= 0; \end{aligned} \right\} (102)$$

$$\text{III} \left. \begin{aligned} A_4 k_3 + C_4 k_4 + (A_4 + A_5) k_5 + (C_4 + C_5) k_6 + f_{x_{111}} &= 0; \\ C_4 k_3 + B_4 k_4 + (C_4 + C_5) k_5 + (B_4 + B_5) k_6 + f_{y_{111}} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (103)$$

5. Решают нормальные уравнения методом последовательных приближений либо методом последовательного исключения неизвестных по полной или сокращенной схеме. В результате решения нормальных уравнений получают $k_1 = +1,4962$; $k_2 = +0,2285$; $k_3 = -0,6806$; $k_4 = 1,4632$; $k_5 = +3,2233$; $k_6 = +3,0965$. При этом для удобства вычислений все коэффициенты были уменьшены в 10^3 раз, а свободные члены увеличены в 10^2 раз, вследствие чего значения коррелят получились увеличенными в 10^5 раз. Вычисление велось с округлением до 0,01 (кроме элиминационных строк, которые округлялись до 0,0001).

6. Вычисляют вторичные поправки в углы и длины сторон по формулам

$$v_{\beta_i}^{11} = qk' \eta_i - qk'' \xi_i; \quad (104)$$

$$v_s'' = k' \Delta x_i + k'' \Delta y_i, \quad (105)$$

где k' и k'' — алгебраические суммы соответственно нечетных и четных коррелят полигонов, в которые входит данный ход. При этом, если направление хода совпадает с направлением полигона, то корреляты берутся со своими знаками, в противном случае — с обратными.

Для приводимого примера уравнения поправок для ходов 1, 2, 3 соответственно будут

$$\left. \begin{aligned} v_{\beta_i}'' &= q(k_1 + k_3) \eta_i - q(k_2 + k_4) \xi_i; \\ v_s'' &= (k_1 + k_3) \Delta x_i + (k_2 + k_4) \Delta y_i; \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{\beta_i}'' &= qk_1 \eta_i + qk_2 \xi_i; \\ v_{s_i}'' &= k_1 \Delta x_i + k_2 \Delta y_i; \end{aligned} \right\} \quad (107)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{\beta_i}'' &= qk_3 \eta_i - qk_4 \xi_i; \\ v_{s_i}'' &= k_3 \Delta x_i + k_4 \Delta y_i; \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

и т. д.

7. После этого, так же как и в одиночном ходе, вычисляют поправки в приращения координат и координаты (при этом будут совпадать исправленные суммы приращений координат по каждому полигону с их теоретическим значением) либо исправляют длины линий и углы и вновь вычисляют ход, который уже не будет иметь невязок f_x и f_y по осям координат в пределах точности вычислений, что и будет служить контролем.

Строгое уравнивание полигонометрической сети без твердых дирекционных углов на узловых точках является значительно более сложной задачей.

Раздельное уравнивание полигонометрической сети. Для облегчения вычислений применяют раздельное уравнивание полигонометрической сети, которое заключается в том, что тем или иным способом исправляют измеренные углы и получают дирекционные углы в данной сети. После чего определяют приращения координат по всем ходам и уравнивают их тем же способом, что и углы. Таким образом выполняют уравнивание раздельно сначала углов, затем абсцисс и, наконец, ординат.

Данный способ уравнивания не будет строгим, так как при этом нарушается основное требование способа наименьших квадратов относительно независимости уравниваемых величин, поскольку суммы приращений координат зависят от уравненных уже значений углов поворота. Однако практика показывает, что при таком способе уравнивания результаты обычно не очень сильно отличаются от величин, определяемых строгим уравниванием, а сокращение объема вычислительных работ получается весьма значительным, благодаря чему его можно с успехом применять для уравнивания полигонометрических сетей IIIС и IVС классов и теодолитных ходов.

К раздельному уравниванию может быть отнесен один из трех основных методов способа наименьших квадратов:

метод среднего весового («Метод эквивалентной замены»), разработанный проф. А. С. Чеботаревым;

метод посредственных измерений («Метод последовательных приближений»), разработанный проф. В. В. Поповым;

метод узлов («Метод условных измерений»), разработанный проф. В. В. Поповым.

Указанные методы дают тождественные результаты и выбор того или иного из них диктуется особенностями уравниваемой сети, а в основном избирается тот метод, при котором объем вычислительных работ будет меньше. При методах, разработанных проф. В. В. Поповым, руководствуются в основном числом нормальных уравнений, число которых при методе посредственных измерений равно числу нетвердых узловых точек, а при методе условных измерений — числу возникающих в данной сети условий, которое, как известно, будет равно числу замкнутых полигонов плюс число твердых опорных точек без одной. Выбор из этих двух методов наиболее подходящего для данной сети не представляет затруднений и при равенстве числа уравнений в них предпочтение следует отдать методу полигонов.

Что касается метода эквивалентной замены, то его следует применять для сравнительно простых сетей, где он благодаря своей наглядности дает возможность быстро провести уравнивание. Преимущество этого метода еще в том, что он позволяет достаточно просто оценить точность уравненных величин. Применение его к сложным сетям затрудняется из-за многократного использования эквивалентных замен, что нередко приводит к ошибкам.

В одном из трех указанных методов при уравнивании углов, считают за вес суммы углов хода (или дирекционного угла, вычисленного по этой сумме) величину, обратно пропорциональную их числу, что определяется равенством

$$\rho_{[\beta]} = \rho_{\alpha} = \frac{c}{n+1} \quad (109)$$

где n — число сторон в ходе;

c — произвольная величина, выбираемая так, чтобы веса выражались простыми числами.

Что касается уравнивания приращений координат, то здесь нет общего правила. Значительно проще принимать за вес суммы приращений координат по ходу (или значения координаты, вычисленной по этим приращениям, что делают наиболее часто) величину обратно пропорциональную длине хода, т. е.

$$\rho_{[\Delta x]} = \rho_x = \rho_{[\Delta y]} = \rho_y = \frac{c}{[S]} \quad (110)$$

Такой подсчет веса является приближенным, так как он не учитывает влияние узловых ошибок, которое при значительном числе углов становится доминирующим. Поэтому использовать формулу (110) можно только в сетях с небольшим числом сторон (3—5); в сетях, где угловые измерения заведомо точнее линейных, и в сетях малой точности (теодолитные и тахеометрические ходы).

Более точный учет весов координат будет, если принимать их обратно пропорциональными квадратам средних квадратических ошибок M^2 конечных точек соответствующих ходов, длина которых L , т. е.

$$\rho_x = \rho_y = \frac{c}{M^2} \quad (111)$$

где, как известно, для ходов вытянутых

$$M^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} \quad (112)$$

Иногда величиной λ пренебрегают и тогда

$$M^2 = \mu^2 L \left(1 + \frac{m_{\beta}^2}{\mu^2 \rho^2} L \frac{n+3}{12} \right).$$

Для изогнутых ходов

$$M^2 = \mu^2 [S] + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\beta}}{\rho} [L_{0,l}^2].$$

Однако недостатком такого учета является то, что веса абсцисс и ординат считают равными без всяких к тому оснований. Наконец, наиболее строгий учет весов координат будет, если принимать за вес координаты величину, обратно пропорциональную ее средней квадратической ошибке, т. е.

$$\rho_x = \frac{c}{M_x^2}; \quad \rho_y = \frac{c}{M_y^2}.$$

Метод эквивалентной замены. Сущность метода состоит в том что, пользуясь принципом весового среднего, заменяют два или несколько ходов одним эквивалентным им ходом, т. е. дающим то же значение уравненной величины и с той же точностью.

Пример на уравнивание системы из пяти ходов с двумя узловыми точками приведен в табл. 81—84.

Вычисление ведется в следующем порядке:

1. Определяют значения дирекционного угла (β —водонапорная башня) по ходам 1 и 2 и берут из них среднее весовое по формуле

$$\alpha_{1,2}^{(6)} = \frac{\alpha_1^{(6)} p_1 + \alpha_2^{(6)} p_2}{p_1 + p_2} \quad (113)$$

При этом вес, вычисляемый по формуле (113), умножают не на

Т а б л и ц а 81

Номер знака	Углы поворота (левые) β	Дирекционные углы α	Длина створон, м S	Приращения координат, м		Координаты, м	
				Δx	Δy	x	y
Ход 2 (T_4-6)							
T_3	228° 30' 16"	354° 56' 20"					
T_4	+1	43 26 37	453,912	+329,563	+312,128	+37300,135	+34678,510
		+7	-12	-19	+3		
12	171 43 45	35 10 23	441,325	+360,746	+254,224	+37629,679	+32990,641
	+1	+6	-14	-18	+2		
11	193 18 53	48 29 17	395,110	+261,869	+295,865	+37990,407	+35244,867
	+1	+7	-9	-16	+2		
10	187 32 :8	57 01 36	312,472	+174,612	+259,132	+38252,260	+35540,734
	+1	+8	-6	-13	+2		
9	200 53 34	76 55 11	446,753	+101,107	+435,162	+38426,859	+35799,868
	+1	+9	-3	-19	+2		
8	167 10 09	64 05 21	397,031	+173,491	+357,119	+38527,947	+36235,032
	+1	+8	-5	-16	+2		
7	158 48 35	42 53 57	308,963	+226,332	+210,314	+38701,422	+36592,153
	+1	+7	-8	-13	+2		
6	189 45 22	52 39 20				+38927,741	+36802,469
	+1						
	1497 42 52		2755,566	+1627,720	+2123,944		
	-8			$f_x = +114$	$f_y = -15$		

$$f_S = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 115;$$

$$F_S = \frac{f_S}{|S|} = \frac{115}{2755,566} = \frac{1}{23\ 800}.$$

Таблица 82

Номер хода	Число углов, $n+1$	Дирекционный угол α	Вес, $\frac{1}{n+1}$	Уравненные дирекционные углы	Невязки по ходам, f_{β}	$\frac{1}{n+1} f_{\beta}^2$	Оценка точности узловых пунктов
1	7	52°39'15"	0,143	52° 39' 20"	-5	4	$M_{\alpha_6} = \pm \frac{m_{\beta}}{\sqrt{p_{\alpha_6}}} = \pm \frac{4}{\sqrt{0,356}} = \pm 6,7''$;
2 1,2	8 3,73	52 39 15 52 39 13,6	0,125 0,268		-8 -6	8	$M_{\alpha_{13}} = \pm \frac{m_{\beta}}{\sqrt{p_{\alpha_{13}}}} = \pm \frac{4}{\sqrt{0,378}} = \pm 6,5''$;
3 1,2+3	8 11,73	347 16 07,6	0,125 0,086	347 16 28,2	-14 -20	25	$p_{\alpha_6} = 0,143 + 0,125 + \frac{1}{11,4} = 0,356,$
4 5	6 8	347 16 36 347 16 32	0,169 0,125		+8 +4	10 2	где 11,4 = $\frac{1}{0,167 + 0,125}$;
		347 16 28,2	0,378			$\Sigma = 49$	$m_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{1}{n+1} f_{\beta}^2 \right]}} = \sqrt{\frac{49}{3}} = \pm \sqrt{16,3} = \pm 4''.$

всю величину дирекционного угла, а лишь на избыток его над приближенным значением, за которое наиболее целесообразно принимать наименьшее из полученных.

Вес значения дирекционного угла, подсчитанный по формуле (113), будет

$$p_{1,2} = p_1 + p_2, \quad (114)$$

Т а б л и ц а 83

Номер хода	$n+3$	L , км	L^2	$\frac{m^2}{\rho \mu^2} = q$	$\frac{q}{\rho} L^2$	$\frac{n+3}{12}$	$\frac{q}{\rho} L^2 \frac{n+3}{12}$	$M^2 \frac{M^2}{\mu^2} 10^4 = \mu^2$	$\frac{1}{\rho'} = \frac{1}{M^2}$	$\frac{q}{\rho}$
1	9	2,468	6,091	306,8	9 050	0,75	6 795	9 263	$1,08 \times 10^{-4}$	$1487,4 \times 10^{-6}$
2	10	2,756	7,596	306,8	11 298	0,834	9 423	12 179	$0,821 \times 10^{-4}$	
3	10	2,926	8,561	306,8	12 734	0,833	10 607	13 533	$0,739 \times 10^{-4}$	
4	8	1,667	2,779	306,8	4 133	0,667	2 757	4 424	$2,26 \times 10^{-4}$	
5	10	2,615	6,938	306,8	10 171	0,833	8 472	11 087	$0,902 \times 10^{-4}$	

а число углов в ходе 1, 2, эквивалентном ходам 1 и 2, находят из выражения

$$(n+1)_{1,2} = \frac{c}{p_{1,2}}. \quad (115)$$

2. Вычисляют второй узловой дирекционный угол (19—пожарная каланча) по ходам 4,5 и 1,2+3. Для хода 1,2+3 значение угла вычисляют по формуле

$$\alpha_{1,2+3}^{(19)} = \alpha_{1,2}^{(6)} + [\beta]_3 - (n+1)_3 180^\circ. \quad (116)$$

Из трех значений угла определяют среднее весовое

$$\alpha^{(19)} = \frac{\alpha_4^{(19)} p_4 + \alpha_5^{(19)} p_5 + \alpha_{1,2+3}^{(19)} p_{1,2+3}}{p_4 + p_5 + p_{1,2+3}}, \quad (117)$$

где

$$p_{1,2+3} = \frac{1}{(n+1)_{1,2} + (n+1)_3}.$$

Среднее весовое значение будет окончательным для узлового дирекционного угла (19—пожарная каланча).

Таблица 84

Номер хода	$\frac{M^2}{\mu^2}$	Вес, p'	Узловые координаты, м		Невязки по ходам f_x	$p' f_x^2$	Узловые координаты, м		Невязки по ходам f_y	$p' f_y^2$
			приближенные x	окончательные x			приближенные y	окончательные y		
1	0,9263	1,080	+38927,688	+38927,741	-0,053	0,00304	+36802,421	+36802,469	-0,04	0,0025
2	1,2179	0,821	+38927,855		+0,114	0,01070	464		-0,015	0,00018
1,2	0,5260	1,901	+38927,760				+36802,435		-0,034	
3	1,3533	0,739	+39569,059		+0,049	0,00177			-0,068	0,0057
1,2+3	1,8793	0,532	+39569,018		+0,068		+39604,496		-0,122	
4	0,4424	2,260	+39568,885		+0,027	0,00165	756		-0,027	0,00165
5	1,1087	0,902	+39568,991		-0,106	0,01012	+39504,618		+0,138	0,0172
						$\Sigma=0,02728$				$\Sigma=0,02723$

Оценка точности определения координат узловых точек:

$$\mu_x = \pm \sqrt{\frac{[p' f_x^2]}{r}} = \pm \sqrt{\frac{0,02728}{3}} = \pm 0,096; \quad M_{x_6} = \pm \frac{\mu_x}{\sqrt{p_{x_6}}} = \pm \frac{0,096}{\sqrt{2,500}} = \pm 0,060;$$

$$\mu_y = \pm \sqrt{\frac{[p' f_y^2]}{r^2}} = \pm \sqrt{\frac{0,02723}{3}} = \pm 0,095; \quad M_{y_6} = \frac{\mu_y}{\sqrt{p_{y_6}}} = \pm \frac{0,095}{\sqrt{2,500}} = \pm 0,060;$$

$$M_{x_{10}} = \frac{\mu_x}{\sqrt{p_{x_{10}}}} = \pm \frac{0,096}{\sqrt{3,694}} = \pm 0,050; \quad M_{y_{10}} = \frac{\mu_y}{\sqrt{p_{y_{10}}}} = \pm \frac{0,095}{\sqrt{3,694}} = \pm 0,049;$$

$$M = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2}; \quad M_6 = \pm \sqrt{(60)^2 + (60)^2} = \pm 85 \text{ мм}; \quad M_{10} = \sqrt{(50)^2 + (49)^2} = \pm 71 \text{ мм};$$

$$\frac{1}{p_4 + p_6} = \frac{1}{3,162} = 0,3163; \quad \frac{1}{p_4 + p_6} = p'_3 = 0,3163 + 1,3533 = 1,6696;$$

$$0,5989 = \frac{1}{\Sigma}$$

$$0,0800 = p'_1$$

$$0,8210 = p'_2$$

$$\frac{2,4939}{p_{y_6}} = p_{x_6}$$

3. Находят невязки по ходам 4,5 и 1,2+3

$$f_{\beta_4} - \alpha_4^{(19)} = \alpha^{(19)}; f_{\beta_5} = \alpha_5^{(19)} - \alpha^{(19)}; \\ f_{\beta_{1,2+3}} = \alpha_{1,2+3}^{(19)} - \alpha^{(19)}. \quad (118)$$

4. Подсчитывают невязки по ходам 3 и 1,2

$$f_{\beta_3} = \frac{f_{\beta_{1,2+3}}}{(n+1)_{1,2+3}} (n+1)_3; f_{\beta_{1,2}} = \frac{f_{\beta_{1,2+3}}}{(n+1)_{1,2+3}} (n+1)_{1,2}. \quad (119)$$

И окончательное значение узлового дирекционного угла (β —водонапорная башня) будет

$$\alpha^{(6)} = \alpha_{1,2}^{(6)} - f_{\beta_{1,2}}.$$

5. Вычисляют невязки по ходам 1 и 2 по формулам

$$f_{\beta_1} = \alpha_1^{(6)} - \alpha^{(6)}; f_{\beta_2} = \alpha_2^{(6)} - \alpha^{(6)}. \quad (120)$$

6. Распределив полученные по каждому ходу невязки поровну на все углы данного хода (убедившись, конечно, сначала в их допустимости), вычисляют дирекционные углы, а затем и приращения координат по всем ходам.

7. Далее поступают в полном соответствии с определением дирекционного угла по формулам (113) — (117), а именно находят координаты узловой точки β по ходам 1 и 2 и берут из них среднее весовое

$$x_{1,2}^{(6)} = \frac{x_1^{(6)} p_1' + x_2^{(6)} p_2'}{p_1' + p_2'}; y_{1,2}^{(6)} = \frac{y_1^{(6)} p_1' + y_2^{(6)} p_2'}{p_1' + p_2'}. \quad (121)$$

Вес полученных значений определяют из выражения

$$p_{1,2} = p_1' + p_2', \quad (122)$$

а средняя квадратическая ошибка эквивалентного хода 1,2 будет

$$M_{1,2}^2 = \frac{c'}{p_{1,2}}. \quad (123)$$

если величины весов p_1 и p_2 были вычислены по формуле (111); если же для этого использовали формулу (112), то находят длину эквивалентного хода из выражения

$$|S|_{1,2} = \frac{c'}{p_{1,2}} \quad (124)$$

В дальнейшем предполагают, что величина M^2 определяет некоторую условную длину хода.

8. Вычисляют координаты узловый точки 19 по ходам 4, 5 и 1, 2+3, из них берут среднее весовое и получают окончательные координаты этой точки

$$x^{(19)} = \frac{x_4^{(19)} \rho'_4 + x_5^{(19)} \rho'_5 + x_{1,2+3}^{(19)} \rho'_{1,2+3}}{\rho'_4 + \rho'_5 + \rho'_{1,2+3}}; \quad (125)$$

$$y^{(19)} = \frac{y_4^{(19)} \rho'_4 + y_5^{(19)} \rho'_5 + y_{1,2+3}^{(19)} \rho'_{1,2+3}}{\rho'_4 + \rho'_5 + \rho'_{1,2+3}},$$

где $x_{1,2+3}^{(19)} = x_{1,2}^{(6)} + [\Delta x]_3$; $y_{1,2+3}^{(19)} = y_{1,2}^{(6)} + [\Delta y]_3$; (126)

$$\rho'_{1,2+3} = \frac{c'}{[S]_{1,2} + [S]_3}. \quad (127)$$

9. Находят невязки по ходам 4, 5 и 1, 2+3 по формулам

$$f_{x_4} = x_4^{(19)} - x^{(19)}; \quad f_{y_4} = y_4^{(19)} - y^{(19)};$$

$$f_{x_5} = x_5^{(19)} - x^{(19)}; \quad f_{y_5} = y_5^{(19)} - y^{(19)};$$

$$f_{x_{1,2+3}} = x_{1,2+3}^{(19)} - x^{(19)}; \quad f_{y_{1,2+3}} = y_{1,2+3}^{(19)} - y^{(19)}. \quad (128)$$

10. Определяют невязки по ходам 3 и 1, 2 из выражений

$$f_{x_3} = \frac{\hat{f}_{x_{1,2+3}}}{[S]_{1,2+3}} [S]_3; \quad f_{y_3} = \frac{\hat{f}_{y_{1,2+3}}}{[S]_{1,2+3}} [S]_3;$$

$$f_{x_{1,2}} = \frac{\hat{f}_{x_{1,2+3}} [S]_{1,2}}{[S]_{1,2+3}}; \quad f_{y_{1,2}} = \frac{\hat{f}_{y_{1,2+3}} [S]_{1,2}}{[S]_{1,2+3}}. \quad (129)$$

И окончательные координаты точки 6 будут

$$x^{(6)} = x_{1,2}^{(6)} - f_{x_{1,2}}; \quad y^{(6)} = y_{1,2} - f_{y_{1,2}}. \quad (130)$$

И окончательные координаты точки 6 будут

$$f_{x_1} = x_1^{(6)} - x^{(6)}; \quad f_{y_1} = y_1^{(6)} - y^{(6)};$$

$$f_{x_2} = x_2^{(6)} - x^{(6)}; \quad f_{y_2} = y_2^{(6)} - y^{(6)}. \quad (131)$$

12. После этого в случае допустимости полученных невязок уравнивают каждый ход тем или иным способом и вычисляют координаты.

13. Для оценки точности (приближенной) подсчитывают сначала средние квадратические ошибки единицы веса для углов, абсцисс и ординат, т. е.

$$\begin{aligned} \mu_{\beta} &= \sqrt{\frac{[p f_{\beta}^2]}{r}}; \quad \mu_x = \sqrt{\frac{[p' f_x^2]}{r}}; \\ \mu_y &= \sqrt{\frac{[p' f_y^2]}{r}}, \end{aligned} \quad (132)$$

где r — число всех полигонов в данной сети, равное числу замкнутых полигонов, плюс число опорных пунктов без одного.

Отметим, что только полученное по формуле (132) значение M_{β} будет характеризовать точность угловых измерений (при отсутствии, конечно, заметных ошибок в опорных дирекционных углах), а именно: средняя квадратическая ошибка измеренного угла будет

$$m_{\beta} = \frac{\mu_{\beta}}{c} \quad (133)$$

Что же касается величин μ_x и μ_y , то принимать их за характеристику точности линейных измерений нельзя, так как они зависят от угловых и линейных ошибок.

14. Вычисляют средние квадратические ошибки уравненных значений дирекционных углов и координат пунктов по формулам

$$M_{\alpha} = \frac{\mu_{\beta}}{\sqrt{\rho_{\alpha}}}; \quad M_x = \frac{\mu_x}{\sqrt{\rho_x}}; \quad M_y = \frac{\mu_y}{\sqrt{\rho_y}}. \quad (134)$$

Общая ошибка положения точки будет

$$M = M_x^2 + M_y^2. \quad (135)$$

При этом значения μ_{β} , μ_x и μ_y находят по формулам (131); значения весов ρ_{α} , ρ_x и ρ_y для узлового дирекционного угла (19 — пожарная каланча) и координат узловой точки 19 были уже получены при уравнивании, а именно:

$$\rho_{\alpha_{19}} = \rho_4 + \rho_5 + \rho_{1,2+3}; \quad \rho_{x_{19}} = \rho_{y_{19}} = \rho'_4 + \rho'_5 + \rho_{1,2+3}. \quad (136)$$

Вычисляют веса для второй узловой точки 6 по аналогичным формулам

$$\rho_{\alpha_6} = \rho_1 + \rho_2 + \rho_{4,5+3}; \quad \rho_{x_6} = \rho_{y_6} = \rho'_1 + \rho'_2 + \rho'_{4,5+3}. \quad (137)$$

Нетрудно получить веса для уравненных значений дирекционного угла любой стороны и координат любого пункта.

Изложенный способ является простым и наглядным способом уравнивания, дающим возможность весьма просто подсчитать веса и средние квадратические ошибки пунктов сети после уравнивания с достаточной для большинства случаев точностью. Это обстоятельство делает его весьма ценным не только для целей уравнивания, но и для предварительных расчетов точности в процессе проектирования полигонометрических сетей.

В заключении отметим, что выражения (137) будут справедливы лишь при вычислении весов координат по формуле (111); при использовании для расчета весов формулы (112), т. е. когда дело касается условных длин ходов M^2 , условная длина суммарного хода $M_{1,2+3}^2$ не будет равна сумме условных длин его частей $M_{1,2}^2, M_3^2$. Для того, чтобы получить строгое решение необходимо поступать следующим образом.

Найдя по формуле (124) условную длину эквивалентного хода

$$M_{1,2}^2 = \frac{c'}{p_{1,2}}, \quad (138)$$

подставляют ее в формулу (112), заменив предварительно в последней L на $S_{1,2}$, т. е.

$$M_{1,2}^2 = \mu^2 S_{1,2} + \lambda^2 S^2 n_{1,2}^2 + \frac{m_B^2}{\rho^2} S^2 n_{1,2}^2 \frac{n_{1,2+3}}{12}. \quad (139)$$

Принимая за S среднюю длину стороны хода 3, из полученного уравнения находят число сторон эквивалентного хода, $1,2-n_{1,2}$, а затем и его действительную длину

$$[S]_{1,2} = S n_{1,2}. \quad (140)$$

Сложив вычисленное значение с длиной хода 3, определяют действительную длину суммарного хода $1,2+3$ по формуле

$$[S]_{1,2+3} = [S]_{1,2} + [S]_3. \quad (141)$$

После этого по формуле (124) рассчитывают $M_{1,2+3}^2$, а затем обычным путем переходят к $p_{1,2+3}$.

Метод полигонов. Данный метод представляет собой метод условных измерений, нормальные уравнения коррелат составляют непосредственно по схематическому чертежу уравниваемой сети, руководствуясь правилами, предложенными проф. В. В. Поповым. В табл. 85—88 приведено уравнение сетип по методу полигонов.

Вычисления при этом способе уравнивания выполняют в следующем порядке.

1. По рабочему чертежу сети (см. рис. 47), на котором обозначены опорные данные (дирекционные углы и координаты), намечают направление полигонов по правилам, изложенным выше. Причем для замкнутых полигонов указывают направление против хода часовой стрелки. Подсчитывают угловую невязку по каждому полигону для левых углов, т. е. внутренних углов полигона, и записывают эти невязки на рабочий чертеж.

2. Составляют нормальные уравнения коррелат, в которых свободными членами будут невязки соответствующих полигонов, а коэффициенты составляют по следующим правилам, разработанным проф. В. В. Поповым:

коэффициент при коррелате с номером, совпадающим с номером уравнения, всегда положителен (квадратичный коэффициент) и равен числу сторон полигона с тем же номером;

Таблица 85

Полигон I				Полигон II				Полигон III			
Номер хода	Число углов	$\Sigma \beta_1, \Sigma \beta_2$	α_1, α_2	Номер хода	Число углов	$\Sigma \beta_1, \Sigma \beta_2, \Sigma \beta_4$	α_1, α_3	Номер хода	Число углов	$\Sigma \beta_1, \Sigma \beta_4$	α_1, α_3
1	7	1180°22'06"	312°17'09"	1	7	1180°22'06"	132°17'09"	5	8	1585°50'13"	301°23'19"
2	8	1497 42 52	354 56 20	3	8	1194 36 54	201 17 15	4	6	1125 59 21	201 17 15
				4	6	1125 59 21					
		42 39 14	42 39 11			68 59 39	69 00 06			79 50 52	79 50 56
Разность	$\Sigma = 15$				$\Sigma = 21$				$\Sigma = 14$		
			$f = + 3$				$f = - 27$				$f = - 4$

k_I	k_{II}	k_{III}	v_α	Номер хода	Поправка
15	+7		+3	1	$7 \times 0,74 = \pm 5,2$
-0,2	+0,466		+0,2	2	$8 \times 1,02 = \mp 8,2$
-0,82	21	+6	-27	3	$8 \times 1,76 = + 14,1$
-1,02	3,26		+1,4	4	$6 \times 1,3 = + 7,8$
	17,74	+6	-28,4	5	$8 \times 0,468 = - 3,7$
	+1,6	+0,338	-1,6		
	+0,16	14	-4		
	+1,76	+2,04	-9,6		
		+11,96	+5,6		
		+0,468	+0,468		

коэффициенты при остальных коррелатах равны числу сторон, общих двум (смежным) полигонам с номером этого (смежного) полигона; если направления данных полигонов, в их общей части совпадают, то коэффициент имеет знак «+», в противном случае — знак «-». Направления ходов при этом никакого значения не имеют.

3. Решают полученную систему нормальных уравнений и находят коррелаты, применяя любой метод решения.

4. Вычисляют поправки в углы, причем поправку в угол определяют алгебраической суммой коррелат полигонов, в которые этот угол входит. Если угол для данного полигона будет левый, то коррелата берется со своим знаком, если правый — с обратным. Если в данный полигон входит только одно направление угла (угол при узловых точках), то следует брать половину соответствующей коррелаты.

5. Исправив углы (если невязки допустимы во всех ходах), вычисляют дирекционные углы и приращения координат, после чего подсчитывают невязки по осям координат для каждого полигона, и, при их допустимости, записывают их на схематический чертеж (см. рис. 47).

6. Аналогично нормальным уравнениям углов составляют нормальные уравнения коррелат для абсцисс и ординат. Отличие состоит лишь в том, что коэффициентами здесь будут не числа сторон, а периметр хода либо (при точном учете весов) величина M^2 .

7. Решают нормальные уравнения методом приближения или как показано в табл. 87, т. е. в одной схеме с двумя столбцами для свободных членов.

8. Правила, данные для углов в п. 4, остаются справедливыми и для поправок в суммы приращений по ходам, т. е. для сети будем иметь, например:

если для каждого хода невязки получились допустимыми, то уравнивают каждый ход системы, как одиночный. Причем применять этот способ следует в том случае, когда число полигонов в данной системе меньше или равно числу узловых точек. Недостатком способа является сложность в оценке точности уравниваемых величин, которая производится по общим формулам способа наименьших квадратов.

Таблица 87

Полигон I				Полигон II				Полигон III			
Номер хода	$\frac{M^2}{\mu^2}$	$\Sigma \Delta x$	$\Sigma \Delta y$	Номер хода	$\frac{M^2}{\mu^2}$	$\Sigma \Delta x$	$\Sigma \Delta y$	Номер хода	$\frac{M^2}{\mu^2}$	$\Sigma \Delta x$	$\Sigma \Delta y$
1	0,9263	-1954,357	+1267,511	1	0,9263	-1954,357	+1267,511	5	1,1087	+2167,265	-1237,639
		-1627,72	-2123,944			+641,299	+2802,061			+491,117	+1515,954
2	1,2179	-3582,077	-856,433	4	0,4424	+491,117	+1515,954	4	0,4424	+2658,382	+278,315
		-3581,91	-856,4			-821,941	+5585,526			+2658,515	+278,15
		$f_x = -167$	$f_y = -33$			$f_x = -31$	$f_y = -109$			$f_x = -133$	$f_y = +165$

Нормальные уравнения будут:

$$\begin{aligned}
 &2,1442 k_I + 0,9263 k_{II} - 167 = 0; \\
 &+ 2,722 k_{II} + 0,4424 k_{III} - 31 = 0; \\
 &1,5511 k_{III} - 133 = 0.
 \end{aligned}$$

k_I	k_{II}	k_{III}	v_x	v_y	Номер хода	Поправка v_x	Поправка v_y
2,1442	+0,9263		-167	-33	1	0,3263·57,43=+153,2	0,3263·52,07=+148,23
+77,88+15,39	+0,432	-	-77,88	-15,39	2	1,2179·93,44=+113,8	1,2179 (-12,500)=-15,22
+15,56-27,89	2,722	+0,4424	-31	-109	3	1,3533 (-36,01)=-48,73	1,3533+64,57=+87,38
+93,44-12,5	0,4001	+0,0000	-72,14	-14,26	4	0,4424·60,01=+26,55	0,4424 (-60,23)=-26,65
	2,3219	+0,4424	+41,14	-94,74			
	-17,72+40,8	+0,1905	+17,72	-40,8			
	-18,29+23,77	1,5511	-133	+165	5	1,1087 (-96,02)=-106,5	1,1087·124,80=-138,4
	-36,01+64,57	+0,0843	+7,84	-18,05			
		1,4668	-140,84	+183,05			
		+96,02-124,8	-96,02	+124,8			

Метод узлов. При сложных системах с большим числом полигонов обычно применяют метод узлов (табл. 89, 90).

Порядок вычислений при этом способе уравнивания следующий:

1. Определяют узловые дирекционные углы по всем ходам, сходящимся на узловой точке, передавая их от ближайшего опорного пункта и от дирекционных приближенных углов, принятых ранее на других узловых точках.

Следует иметь в виду, как говорилось об этом ранее, что «узловое» направление (дирекционный угол) необходимо брать на вспомогательную боковую точку, не входящую ни в один из примыкающих к данной узловой точке ходов, поэтому при измерении углов на узловой точке выбирается предмет (водонапорная башня, угол дома и пр.), который включается в наблюдения на этом знаке.

2. Составляют нормальные уравнения для каждой узловой точки, принимая за веса углов величины $\frac{c}{n+1}$, как это делалось при уравнивании по методу эквивалентной замены.

3. Решают нормальные уравнения и находят поправки в каждый отдельный ход. Получают окончательные значения дирекционных углов. После этого вычисляют приращения.

4. Определяют координаты узловых точек при помощи всех ходов, сходящихся на узловой точке и составляют нормальные уравнения, следуя указаниям способа эквивалентной замены.

Уравнения, приведенные в табл. 89, 90, можно решить методом приближений. Так, для примера, изображенного на рис. 47, первые графы табл. 89 заполняются как и в методе узлов, а затем:

а) определяют веса p с таким расчетом, чтобы на каждой узловой точке сумма весов равнялась единице (табл. 90). Для удовлетворения этого условия необходимо каждый вес разделить на сумму весов, т. е. на $[p]$, и записать эту величину в соседнюю графу;

б) подсчитывают дирекционные углы, полученные с твердых точек на узловой точке b , а затем для хода 3 можно написать один из найденных дирекционных углов;

в) суммируют произведения числа секунд на соответствующий вес и таким образом определяют дирекционный угол $52^{\circ}36'14''$ в первом приближении. Прибавляя этот угол к сумме углов по ходу 3, получают дирекционный угол на узловой точке 19 и, передав на эту линию с твердых точек по ходам 4 и 5 дирекционные углы, умножением на веса находят первое приближение второго дирекционного угла. Вычисление повторяют до получения результата, разность которого с предыдущим находится в пределах точности вычислений. Это и будут окончательные значения дирекционных углов (табл. 91).

Подобным же образом, т. е. методом приближений определяют окончательные координаты X и Y узловых точек b и 19, что показано в табл. 92.

Уравнение полигонометрии может производиться на ЭВМ по соответствующим программам.

Номер хода	Число углов	Дирекци- онные углы, α	Вес, $\rho = \frac{1}{n+1}$	v	ρv	k_1	k_2	ρv	S	ρ''	ρ''
1	7	52° 39' 15"	0,143	-3	0,429	0,393	0,125	-0,429	0,161	1	
2	8	52 39 12	0,125	0	0	+0,09	-0,318	-1,092	-0,41	-2,545	
3	8	52 39 12	0,125	0	0	+7,08	0,417	-8,26	-0,968	0	-1
			$\Sigma=0,393$		-0,429	+8,17	+0,4	+0,136	+0,051	+0,318	0
3	8	347 16 06	0,125	-0	0		0,377	-8,396	-8,019	-0,318	-1
4	6	347 16 36	0,167	-30	-5,01		+22,27	-22,271	-21,271	-0,842	-2,653
5	8	347 16 32	0,125	-26	-3,25					+2,545	
			$\Sigma=0,417$		-8,26					+2,268	
										+2,813	

$$\rho = \frac{1}{2,813} = +0,355$$

Таблица 90

Номер хода	$\frac{M^2}{\mu^2}$	Вес, $p = \frac{1}{M^2}$ μ^2	Приближенные узловые координаты		v_x	v_y	vu_x	vu_y	k_1	k_2	vu_x	vu_y	ρ'	ρ''
			x	y										
1	0,9263	1,080	+38927,688	+36802,421					2,640	-0,739	-137,1	-27,1	-1	
2	1,2179	0,821	+38927,855	+36802,454	-167	-33	-137,1	-27,1	+52,1+10,2	-0,278	-52,1	-10,2	-0,378	
3	1,3533	0,739	+38927,688	+36802,421					+1,2+37,7	3,901	+21,9	-493,4		-1
		$\Sigma=2,640$												
3	1,3533	0,739	+39568,997	+39604,482			-137,1	-27,1	+53,3+47,9	0,206	+38,1	+7,5	+0,278	
4	0,4424	2,260	+39569,018	+39604,591	-31	-109	-70,1	-246,3		+3,695	-16,2	-500,9	-0,278	-1,0
5	1,1087	0,902	39568,885	+39604,756	+102	-274	+92,0	-247,1		+4,4+135,6	-4,4	-135,6	-0,0754	-0,270
		$\Sigma=3,901$												
							+21,9	-493,4						+0,378
														+0,021
														$\Sigma=0,399$

$$x_0^{(6)} = 38927,688 + 53 = 38927,741;$$

$$x_0^{(19)} = 39568,987 + 4 = 39568,991;$$

$$y_0^{(6)} = 36802,421 + 48 = 36802,469;$$

$$y_0^{(19)} = 39604,482 + 136 = 39604,618;$$

$$\rho_{xy}^{(6)} = \frac{1}{0,393} = 2,506.$$

Таблица 91

Номер хода	Число углов. $n+1$	Вес, $p = \frac{1}{n+1}$	$p^2 = \frac{p}{[p]}$	Узловые дирекци- онные углы	Приближения		Невязка по ходам f/β	ρf^2
					первое	второе		
1	7	0,143	0,364	52° 39' 15"	15	15	-5	4
2	8	0,125	0,318	52 39 12	12	12	-8	8
3	8	0,125	0,318	52 39 15	32,3	33,7	+14	
—	—	$\Sigma=0,393$	$\Sigma=1$	Ср. 52° 39' 14"	Ср. 19,5	Ср. 20	—	—
3	8	0,125	0,3	347 16 09	13,5	14	-14	25
4	8	0,125	0,3	347 16 36	36	36	+8	10
5	6	0,167	0,4	347 16 32	32	32	+4	2
—	—	$\Sigma=0,417$	$\Sigma=1$	Ср. 347° 16' 26,3"	Ср. 27,7	Ср. 27,8	—	$\Sigma=49$

Номер хода	M^2	Вес. P^*	$P^* = \frac{P^*}{[P^*]}$	Узловые координаты x				Узловые координаты y			
				Значение координаты	Приближения		Значение координаты	Приближения			
					первое	второе		первое	второе	третье	
1	0,9263	1,08	0,409	38927,688	7,688	7,688	36802,421	2,421	2,421	2,421	2,421
2	1,2179	0,821	0,311	38927,855	7,855	7,855	36802,454	2,454	2,454	2,454	2,454
3	1,3533	0,739	0,28	38927,688	7,692	7,692	36802,454	2,553	2,553	2,551	2,557
		$\Sigma=2,64$	$\Sigma=1$	Ср. 38927,74	Ср. 7,741	Ср. 7,741	Ср. 36802,441	Ср. 2,468	Ср. 2,468	Ср. 2,468	Ср. 2,469
3	1,3533	0,739	0,19	38569,039	9,04	9,04	39604,515	4,502	4,502	4,529	4,530
4	0,4424	2,26	0,579	38569,018	9,018	9,018	39604,591	4,591	4,591	4,591	4,591
5	1,1087	0,902	0,231	38568,885	8,885	8,885	39604,756	4,756	4,756	4,756	4,756
		$\Sigma=3,901$	$\Sigma=1$	Ср. 38568,991	Ср. 8,991	Ср. 8,991	Ср. 39604,614	Ср. 4,612	Ср. 4,612	Ср. 4,617	Ср. 4,618

Строительная сетка

Общие сведения. Современное строительство промышленных и крупных инженерных сооружений, представляющих собой сложные комплексы, связанные не только технологическим процессом, но и строительными конструкциями, а также разнообразными инженерными сетями и коммуникациями, невозможно без разбивочных работ, осуществляемых с высокой точностью постоянного контроля за соблюдением проектных размеров и координат точек различных сооружений и отдельных элементов.

Для выполнения этих требований на строительной площадке создается специальная геодезическая основа — разбивочная сеть, которая строится на базе главной плановой основы, обеспечивающей строительство.

По отдельным объектам строительства, имеющим сложные геометрические формы в плане, в зависимости от конфигурации этих объектов плановую разбивочную основу следует проектировать в виде сетки треугольников, многоугольников, центральных фигур (систем) и т. д.

Для промышленных, жилых, административных и общественных комплексов, а также объектов со сложными объемно-планировочными и конструктивными решениями главную плановую разбивочную основу необходимо проектировать в виде сетки прямоугольников, квадратов или параллельных линий.

Наиболее распространенным видом разбивочной основы, служащей для выполнения разбивочных и планировочных работ, а также для исполнительных съемок является сетка прямоугольников. Она представляет собой систему геодезических пунктов, расположенных в вершинах элементарных прямоугольников, образующих в своей совокупности общий прямоугольник, покрывающий всю строительную площадку и часто выходящий за ее пределы. Последнее делается с целью обеспечения большей сохранности пунктов по внешнему контуру и для удобства привязки к ней внешних коммуникаций и трасс.

Сетка квадратов является частным случаем сетки прямоугольников. Она обладает меньшей приспособленностью к условиям строительной площадки, поскольку, во-первых, пункты строительной сетки и ее стороны с большей вероятностью оказываются расположенными случайно по отношению к объектам строительства, что усложняет производство разбивочных и съемочных работ, во-вторых, равномерное расположение опорных точек зачастую нежелательно, так как для ответственных объектов так же как и для объектов, содержащих большое число деталей (подробности), необходимо иметь при съемке и разбивке более густое обоснование. Поэтому проектирование и построение сетки из квадратов допускается, когда расположение будущих зданий и сооружений не вызывает препятствий к этому, т. е. когда они хорошо вписываются в контуры квадратов, не нарушая значительного числа знаков вершин сетки.

Для отдельных зданий, сооружений и инженерных коммуникаций плановую разбивочную основу следует проектировать в виде главных или основных осей, закрепленных в натуре постоянными знаками. При наличии отдельных зданий и сооружений, размещенных под углом к линиям строительной сетки, главные (основные) оси этих объектов должны быть вынесены на местность и закреплены постоянными знаками, с указанием привязки к строительной сетке строительства.

Проектирование строительной сетки. На генеральном плане строительную сетку надлежит проектировать с учетом расположения все-

го комплекса зданий и сооружений. Сетку основных прямоугольников нужно запроектировать как отдельную специальную сеть, положение пунктов которой и направление сторон не зависят от государственной геодезической сети, а также от главной плановой основы строительства.

Линии сетки намечают параллельными основным (главным) осям возводимых зданий и сооружений, фигуры сетки размещают так, чтобы основные проектируемые здания оказались внутри них и возможно ближе к их сторонам. При этом, как правило, все стороны сетки должны быть удобны для линейных и угловых измерений и не должны преграждаться вновь возводимыми сооружениями и рядовыми посадками деревьев и кустарников. Линии сетки, пункты и знаки должны быть запроектированы с учетом обеспечения сохранности большей части пунктов и взаимной видимости между ними в течение всего периода строительства (при этом необходимо учитывать технологию строительных работ). Пункты и знаки сетки не должны располагаться на проезжей части дорог или близко к осям трубопроводов и других сооружений во избежание полного уничтожения их в начальной стадии строительства. Вообще, пункты строительной сетки не должны попадать в зону, где грунт нарушается при выполнении строительных работ.

Размеры сторон прямоугольников, квадратов и других фигур или расстояния между линиями строительной сетки и пунктами на ней рекомендуется принимать по табл. 93 с учетом размеров зданий, сооружений, а также обеспечения технологии детальных разбивочных работ и контроля за возведением объектов.

Разбивочные сети создаются методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии, можно использовать метод засечек (угловых, линейных, комбинированных). При этом выбор разряда точности разбивочных работ должен быть согласован с размерами сторон сети. Размеры сторон прямоугольников, квадратов, треугольников и других геометрических фигур могут быть уточнены и приняты исходя из условий обеспечения требуемой точности детальных разбивочных работ.

Т а б л и ц а 93

Характеристика сетки	Класс сетки			
	IC	IIC	IIIC	IVC
Размер стороны, м: прямоугольника	400×200, 400×100	400×100, 200×100	200×100, 100×50	100×50, 100×25(20), 50×25(20)
квadrата	200×200, 150×150, 100×100	150×150, 100×100	150×150, 100×100, 50×50	100×100, 50×50, 25×25 (20×20)
Расстояния между параллельными ли- ниями, м	200, 150, 100	150, 100	150, 100, 50	100, 50, 25(20)

При проектировании строительной сетки следует предусмотреть способ постоянного возобновления первоначально разбитых точек, фиксирующих пересечения осей, недоступные для непосредственного закрепления. Сеть знаков, обозначающих створные плоскости этих осей, должна быть расположена возможно ближе к сооружению на

бровках котлованов, а затем на бетонных частях сооружения. Необходимо предусмотреть проверку неподвижности строительной сетки путем систематического контроля от пунктов главной плановой основы, которые должны быть намечены (выбраны) на устойчивых местах в районе строительной площадки.

Выходы основных осей строительной сетки в двух взаимно перпендикулярных направлениях следует закрепить по типу закрепления пунктов 4 класса небольшими сигналами и центрами, предусмотренными инструкцией СН 212-73.

Проектирование строительной сетки завершается вычислением координат ее вершин в условной системе, принятой для данной строительной площадки.

Рекомендуется начальному пункту строительной сетки, расположенному в юго-западном углу площадки, придать такие координаты, чтобы абсциссы и ординаты точек сетки были легко различимы: абсциссы выражаются числом значащих цифр на разряд большим, чем ординаты, например, $x=50350, 023$ и $y=4200, 009$. При этом координаты пунктов строительной сетки должны иметь значения положительные и кратные сотням или десяткам метров, если не считать сотые и тысячные доли метра. Ось абсцисс можно направить вдоль главной оси основного сооружения строительной площадки, а ось ординат — перпендикулярно к ней.

Для установления аналитической зависимости между частной системой координат (x, y) сетки и системой координат (X, Y) генплана, на котором нанесен (с графической точностью) проект строительной сетки, поступают так. Выбирают два пункта $A(x_1, y_1)$ и $B(x_2, y_2)$ строительной сетки и графически с генплана снимают их координаты X_1, Y_1 и X_2, Y_2 (в системе генплана). Из решения обратной задачи определяют дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ и длину $S'_{1,2}$ стороны AB

$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}; \quad S'_{1,2} = \frac{Y_2 - Y_1}{\sin \alpha_{1,2}} = \frac{X_2 - X_1}{\cos \alpha_{1,2}}.$$

Затем вычисленную длину $S'_{1,2}$ сравнивают с проектной $S_{1,2}$ и найденный дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ — с величиной этого угла, определенной графически с плана транспортиром. Если полученные расхождения лежат в пределах графической точности плана, т. е. $|\Delta S| \leq \leq 0,3 \div 0,5$ мм; $|\Delta \alpha| \leq \leq 30' \div 1''$, то вычисляют окончательные значения координат точек A и B в системе генплана

$$X_1 = \frac{1}{2} (x'_1 + x'_2) - \frac{1}{2} S_{1,2} \cos \alpha_{1,2};$$

$$Y_1 = \frac{1}{2} (y'_1 + y'_2) - \frac{1}{2} S_{1,2} \sin \alpha_{1,2};$$

$$X_2 = \frac{1}{2} (x'_1 + x'_2) + \frac{1}{2} S_{1,2} \cos \alpha_{1,2};$$

$$Y_2 = \frac{1}{2} (y'_1 + y'_2) + \frac{1}{2} S_{1,2} \sin \alpha_{1,2}.$$

Вычисление координат пунктов строительной сетки. В системе координат строительной сетки координаты ее вершин определяют простым суммированием: к соответствующей координате начального пункта (юго-восточного угла сетки) последовательно прибавляют (алгебраически) значения проектных длин ее сторон.

Пусть X_1, Y_1 и x_1, y_1 — координаты некоторого пункта A соответственно в системе генплана и строительной сетки, а X, Y и x, y — то же, для текущего (произвольного) пункта сетки. Тогда для перехода от координат одной системы к координатам другой системы будем иметь уравнения

$$X = X_1 + (x - x_1) \cos \alpha - (y - y_1) \sin \alpha;$$

$$x = x_1 + (X - X_1) \cos \alpha + (Y - Y_1) \sin \alpha;$$

$$Y = Y_1 + (y - y_1) \cos \alpha + (x - x_1) \sin \alpha;$$

$$y = y_1 + (Y - Y_1) \cos \alpha - (X - X_1) \sin \alpha.$$

где α — дирекционный угол оси абсцисс строительной сетки в системе координат генплана.

Вынос в натуру строительной сетки. Обычно строительную сетку выносят на местность («разбивают») методом последовательных приближений:

выполняют предварительную разбивку основных фигур сетки и закрепляют их временными знаками;

определяют координаты предварительно разбитых точек;

вычисляют редукции, т. е. уклонения предварительно разбитых точек от их проектного положения;

редуцируют точки на местности, т. е. вводят в их положение поправки и закрепляют полученные новые места пунктов постоянными знаками;

осуществляют контрольные измерения;

разбивают и закрепляют промежуточные пункты.

В зависимости от размера и точности строительной сетки могут быть использованы различные методы выполнения перечисленных выше работ (этапов).

Рассмотрим последовательно каждый из перечисленных этапов.

Предварительная разбивка основных фигур сетки. Если площадь стройплощадки более 1 км^2 и имеет прямоугольную форму (например, $1600 \times 800 \text{ м}$), то целесообразно на местность вынести 6 пунктов, если же площадь по форме близка к квадрату (например, $1200 \times 1200 \text{ м}$), то достаточно ограничиться 4 пунктами. Для небольших участков, а также для сеток относительно невысокой точности, на местность можно вынести не фигуры, а базис — линию AB строительной сетки; проходящую по возможности в середине сетки и по местности, доступной для линейных измерений (рис. 48). Для надежной ориентировки сетки длина базиса не должна быть менее $600\text{--}800 \text{ м}$, а для небольших сеток — не менее половины их протяженности.

Все точки намеченных фигур (см. рис. 48) и не менее трех точек базиса (желательно две крайние A, B и центральную C) привязывают к ближайшим пунктам главной плановой основы строительной площадки. Обычно в результате этой привязки находят полярные координаты вершин фигур (точек базиса) относительно опорных пунктов (рис. 49). Используя данные привязки, вершины фигур

(точки базиса) выносят на местность и закрепляют временными знаками. Затем методом створных примеров и вешением предварительно разбивают основные квадраты (400×400 м) или прямоугольники (400×200 м) и закрепляют их вершины — пункты строительной сетки временными знаками.

Предварительная разбивка от вынесенного в натуру базиса обычно выполняется так: базис провешивают и измеряют, начиная от центральной точки, в обе стороны, разбивая попутно стороны основных фигур, предусмотренные проектом. При этом проверяют, во-первых, находятся ли все вынесенные точки базиса (на рис. 48 их три) в одном створе; во-вторых, соответствуют ли проекту расстояния, измеренные на местности. Если контроль дает удовлетворительный результат, т. е. расхождения лежат в пределах точности разбивки (иногда нужно учитывать и влияние исходных данных, т. е. точность плановой геодезической сети, использованной при

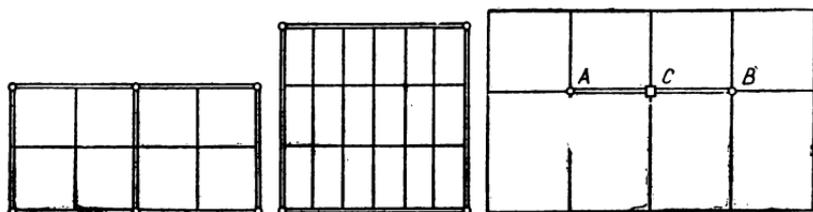


Рис. 48. Основные фигуры строительной сетки (кружками обозначены пункты, разбиваемые от главной плановой основы)

выносе в натуру), то вершины сетки, отмеченные сначала колышками, закрепляют временными знаками, например столбами. Центром служит кованый гвоздь с крестообразной насечкой, который устанавливают в створе по теодолиту и забивают в торец столба. Между центрами знаков повторно измеряют длины сторон.

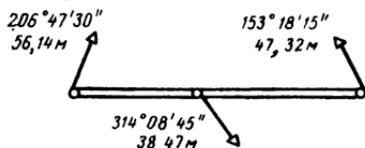


Рис. 49. Схема привязки вершин строительной сетки к пунктам главной плановой основы

○ — вершина строительной сетки;
 △ — пункт плановой основы (верхнее число — дирекционный угол, нижнее — длина стороны привязки)

Последующую разбивку от базиса можно выполнять разными методами. Наиболее простой сводится к тому, что базис продолжают на всю длину сетки, и в обе стороны от него через интервалы, соответствующие основной стороне сетки (400 м), разбивают на всю ширину сетки поперечники, откладывая вдоль них стороны основных фигур и закрепляя их вершины колышками. Через конечные точки поперечников прокладывают теодолитные ходы параллельно базису разбивки, совмещая их вершины с вершинами фигур сетки. Если эти ходы дают результат, достаточно хорошо согласованный с проектом, то колышки заменяют столбами.

Для оценки точности предварительной разбивки стороны AB , проектная длина которой L , может служить следующая приближен-

ная формула, оценивающая относительную величину средней квадратической погрешности:

$$\frac{m}{L} = \sqrt{\left(\frac{1}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{T}\right)^2 \left(\frac{l_1^2 + l_2^2}{L^2}\right)},$$

где $1/T_0$, $1/T$ — относительная погрешность соответственно геодезической сети, от пунктов которой произведена разбивка и самой разбивки;

l_1 , l_2 — расстояние от точек A и B до соответствующих пунктов геодезической сети.

Предельное допустимое расхождение $|L' - L|$ между контрольным значением L' , полученным при измерении отрезка AB с относительной погрешностью $1/T_K$, и проектным значением L с доверительной вероятностью $p=0,9545$ должно удовлетворять условию

$$\frac{|L' - L|}{L} \leq 2 \sqrt{\left(\frac{1}{T_K}\right)^2 + \left(\frac{1}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{T}\right)^2 \left(\frac{l_1^2 + l_2^2}{L^2}\right)}.$$

Пример. Пусть $L=800$ м, $1/T_0=1/20\,000$, $1/T_K=1/T=1/4000$, $l_1=l_2 \approx 50$ м. Определить предельное значение $|L' - L|$ при $p=0,9545$.

По приведенной выше формуле находим $|L' - L| \leq 0,41$ см. Таким образом, доминирующее значение имеет погрешность самого контрольного измерения.

Точность предварительной разбивки от базиса AB стороны l , параллельной ему и удаленной от него на расстояние L (при вешении с одной стороны), будет оцениваться следующей приближенной формулой:

$$\frac{m_l}{l} = \frac{1}{T} \sqrt{1 + \frac{5}{3} \left(\frac{m_\beta''}{20,6''} T \cdot 10^{-4} \frac{L}{l}\right)^2}.$$

где m_β'' — средняя квадратическая погрешность измерения угла (вешения линии), выраженная в секундах.

Предельно допустимое расхождение $|l' - l|$ между контрольным значением l' , полученным с относительной погрешностью $1/T_K$, и проектным значением l с доверительной вероятностью $p=0,9545$ должно удовлетворять условию

$$\frac{|l' - l|}{l} \leq 2 \sqrt{\left(\frac{1}{T_K}\right)^2 + \left(\frac{1}{T}\right)^2 + \frac{5}{3} \left(\frac{m_\beta''}{20,6''} 10^{-4} \frac{L}{l}\right)^2}.$$

Пример. Пусть $l=400$ м, $L=720$ м, $1/T_K=1/T=1/4000$, $m_\beta''=15''$; требуется определить $|l' - l|_{\text{пред}}$ при $p=0,9545$.

Подставляя данные значения в приведенную выше формулу, найдем $|l' - l|_{\text{пред}} \leq 0,31$ м.

Определение координат вершин предварительно разбитой сетки. Для этой цели могут применяться различные методы: триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их комбинации. Триангуляция может состоять из геодезических четырех-

угольников (наиболее жесткая система) и из треугольников, можно использовать и способ засечек (рис. 50, а) Трилатерация в принципе может состоять из тех же фигур (геодезических четырехугольников и треугольников), но в них должны быть измерены все стороны. В наиболее ответственных строительных сетках в основных фигурах (например, в каркасных фигурах, представленных на рис. 48 и отмеченных двойными линиями) рекомендуется измерять углы и длины сторон. Метод полигонометрии (рис. 50, б) в настоящее время является наиболее распространенным.

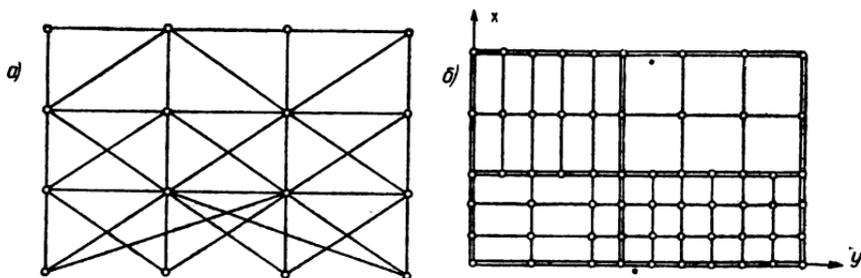


Рис. 50. Схемы определения координат вершин строительной сетки
 а — методами триангуляции, трилатерации и засечек; б — методом полигонометрии

Обычно точность строительной сетки соответствует принятой в геодезических плановых сетях. Измерения углов и расстояний, а также обработка результатов измерений выполняются с соблюдением требований инструкции для соответствующего разряда геодезической плановой сети.

Перед производством инженерных работ, для которых необходима особо высокая точность геодезической сети или специфическое построение ее, инструкция СН 212-73 разрешает создавать сети специального назначения (строительную сетку следует отнести именно к таким сетям) по программе, разработанной для каждого случая самостоятельно.

Координаты вершин вычисляют в системе строительной сетки, что приводит к существенным упрощениям. Для определенности будем считать, что ось ординат совмещена с направлением продольной оси площадки, имеющей большую протяженность, а ось абсцисс — с направлением поперечной оси строительной сетки — более короткой (рис. 50, б).

Редуцирование вершин сетки. Вычисленные координаты временных знаков, которыми закреплены вершины основных фигур сетки, позволяют непосредственно определить величину редукции. Так, если координаты пункта $X=50350,023$ и $Y=4200,009$, то знак нужно сместить на величину $\delta_x = -0,023$ м по оси абсцисс и на величину $\delta_y = -0,009$ м — по оси ординат.

Редуцировать (сместить) в проектное положение пункты основных фигур сетки, закрепленные временными знаками, целесообразно следующим способом. Центрируют теодолит над редуцируемым пунктом P , имеющим координаты $Y=4200,009$ и $X=50350,023$, и в двух —

четырёх метрах от него по сторонам сетки забивают колья диаметром порядка 10 см, к торцам которых прибивают планшеты — доски 20×30 см (поверхность которых горизонтальна). На восточном и западном планшетах намечают линию, параллельную оси ординат, а на

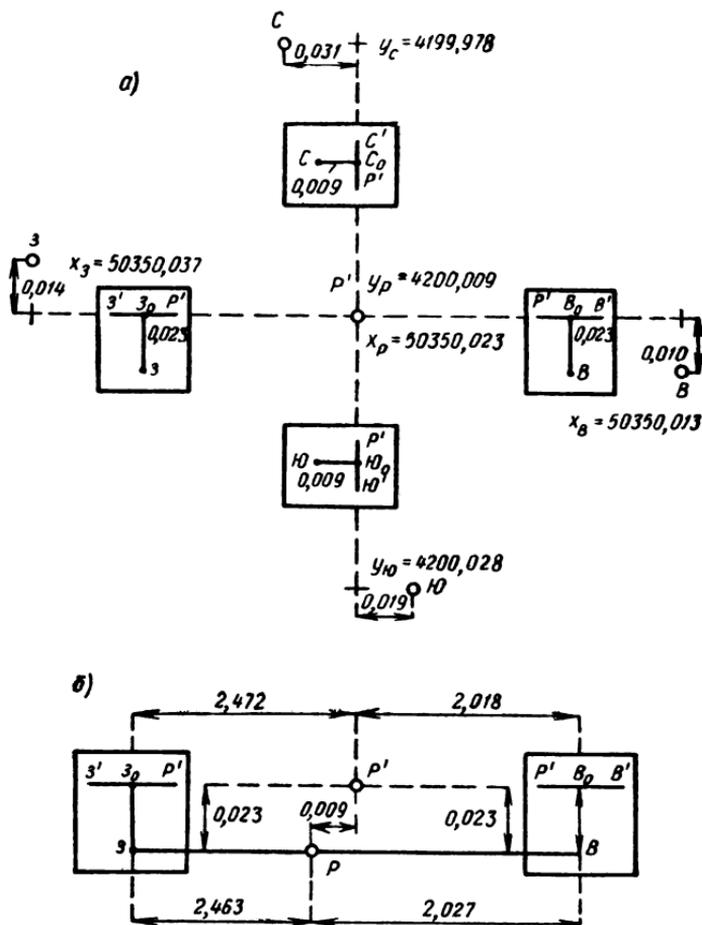


Рис. 51. Схема редуцирования

а — вынос координатных линий на планшеты; б — проектирование центра постоянного знака

северном и южном — параллельную оси абсцисс. Проектирование этих направлений показано на рис. 51, а. Чтобы на северном планшете наметить направление оси абсцисс, ориентируют вертикальную визирную плоскость теодолита по северному пункту С, имеющему ординату $Y_C = 4199,978$ м, но наводят не на его центр, а на специально установленный визир, смещенный от центра вправо на $0,031$ м,

т. е. на разность ординат данной точки P и точки C ($4200,009 - 4199,978 = +0,031$ м). Положение ориентированной таким образом плоскости фиксируется на северном планшете при двух положениях трубы и среднее представляется направлением $C'P'$. Эта линия соответствует координатной линии $Y = 4200,009$ м, поэтому в 9 мм влево от нее намечают точку C , одновременно на линии $P'C'$ отмечают точку C_0 , которая служит основанием перпендикуляра CC_0 , т. е. $CC_0 \perp C'P'$. Очевидно, точка C будет расположена на координатной линии $Y = 4200,000$. Аналогично поступают с южным планшетом, намечая сначала линию $P'Ю'$, а затем и точки $Ю_0$ и $Ю$. Сходным образом фиксируется ордината 50350,000 точками B и $З$ соответственно на восточном и западном планшетах (рис. 51, а).

Точки C_0 , $Ю_0$, B_0 , $З_0$ четко обозначают, после чего тщательно измеряют стальной рулеткой расстояние от этих точек до временного центра P' редуцируемого пункта, например: $З_0P' = 2,472$ м в $B_0P' = 2,018$ м (контроль: $З_0B_0 = 4,490$ м). Затем вычисляют расстояния от проектного центра P до точек C , $Ю$, B , $З$, которые также обозначаются знаками, удобными для выполнения визирования и промеров. Так, $ЗP = 2,472 - 0,009 = 2,463$ м и $BP = 2,018 + 0,009 = 2,027$ м (рис. 51, б). После этого роют котлован и вместо временного знака устанавливают постоянный.

Вершины фигур строительной сетки надлежит закреплять железобетонными или металлическими знаками с приваренными на верхних концах их (например, труб) металлическими пластинками, толщиной не менее 7 мм и размером 20×20 см.

Для максимальной сохранности знаков отметка верха знака должна быть согласована с проектом вертикальной планировки строительной площадки (не выступать над поверхностью будущего — красного рельефа). После установки постоянного знака с закрепленных точек C , $Ю$, B и $З$ методом створов и линейными промерами на его верх (металлическую пластинку) переносят центр, который и закрепляется (керном, тонкими насечками).

Если редуционные поправки δ_x и δ_y сравнительно невелики (до 10 см), то можно применить другой способ редуцирования, основанный на фиксации центра временного знака при помощи надежно установленного отвеса (центрира) и последующем переносе его на верхнюю поверхность пластинки постоянного знака, поставленного на месте временного. В этом случае направления координатных линий намечают непосредственно на самой пластинке и, откладывая поправки δ_x и δ_y , находят на ней место центра постоянного знака.

Возможны и другие варианты редуцирования, но всегда работы по перезакладке знаков усложняют разбивку и снижают ее точность. Поэтому в отдельных случаях применяют и другой метод разбивки сетки. Вместо временных знаков сразу же закладывают постоянные, указанной выше формы. На пластинках знаков сначала намечают временные центры, а затем (после уравнивания и вычисления координат сетки) выполняют на этой пластинке редуцирование и намечают постоянный центр. Недостатком этого способа (способа одностадийной разбивки) является повышенная точность предварительной разбивки: элементы редукиции не должны превышать 10 см.

Во всех случаях рекомендуется один пункт, обычно центральный (пункт C на рис. 51, а), сразу же закреплять постоянным знаком и оставлять за его центром проектные координаты, не подлежащие редуцированию.

С каждой стороны строительной сетки 2—3 ее пункта, располо-

женные на границах строительной площадки, в местах, наиболее удобных для пользования и обеспечивающих сохранность знаков, должны быть закреплены также металлическими сигналами, пирамидами, турами. В дальнейшем указанные пункты используются как исходные при восстановлении строительной сетки, а также при развитии ее при 2-й и последующих очередях строительства или реконструкции объекта.

Даже при хорошо составленном проекте строительной сетки часть ее знаков будет уничтожена в процессе строительства. Можно значительно снизить процент ликвидированных знаков, если заблаговременно, по мере возведения сооружений, выносить центры грунто-

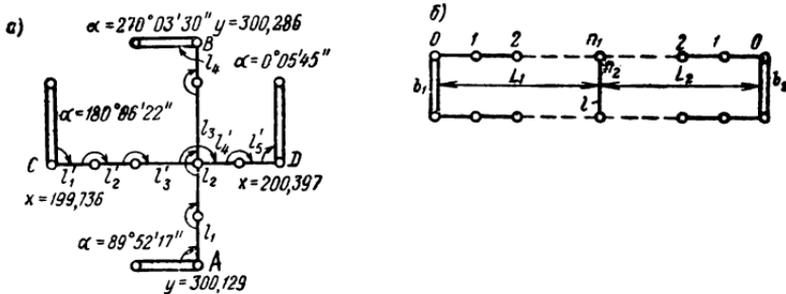


Рис. 52. Метод ходовых засечек

а — схема определения положения промежуточного пункта; б — оценка точности определения длины промежуточной стороны

вых знаков строительной сетки на стенные знаки, закладываемые в фундаменты возводимых сооружений. Работы по закладке ственных знаков и по переносу на них координат от ближайших пунктов строительной сетки следует выполнять в соответствии с руководством [77].

Разбивка и закрепление промежуточных пунктов. Разбивка вершин строительной сетки внутри ее основных фигур обычно выполняется вешением и линейными промерами с одного постоянного пункта сети на другой (после их редуцирования). Центры промежуточных пунктов сначала закрепляются кольями, которые при удовлетворительной сходимости длины хода с проектом заменяются постоянными знаками стандартного типа, на металлических пластинках которых намечают временный центр.

Координаты вершин, находящихся внутри основных фигур, удобно определять методом «ходовых» засечек, при котором по внутренним сторонам строительной сетки прокладывают угломерные ходы; длины сторон не измеряют, а на каждой внутренней вершине измеряют два угла, близкие к 180° и не связанные общими сторонами. При такой организации работ каждая определяемая вершина сетки будет лежать на пересечении двух вытянутых ходов (рис. 52, а): ход AB параллелен оси абсцисс, а ход CD — оси ординат.

Порядок вычислений следующий. Углы каждого хода увязывают самостоятельно между дирекционными углами сторон основных фигур: невязку с обратным знаком распределяют поровну между всеми углами каждого хода. По исправленным углам находят дирекцион-

ные углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ сторон l_1, l_2, \dots, l_n — хода, идущего из «южной» точки A в «северную» точку B и дирекционные l'_n углы $\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_n$ сторон l'_1, l'_2, \dots, l'_n хода от «западной» точки C до «восточной» D . Допуская, что стороны хода равны проектным длинам, вычисляют приращения координат: абсцисс — по ходам, идущим параллельно оси ординат, и ординат — по ходам, параллельным оси абсцисс, т. е.

$$\Delta y_i = l_i \sin \alpha_i; \quad \Delta x_i = l'_i \cos \alpha'_i = l'_i \sin (90^\circ - \alpha'_i).$$

Так как дирекционные углы α_i близки к 0° , а α'_i к 90° , то приближенный характер значений l_i и l'_i практически не повлияет на точность определения величины Δx и Δy . По этой же причине можно заменить синусы малых углов самими углами, выраженными в радианах. Углы, близкие к 360° , заменяют их дополнением до 360° , взятым со знаком минус

$$\begin{aligned} (\Delta y_i)_{\text{мм}} &= 0,484814 (l_i)_{\text{с}} \alpha_i; \\ (\Delta x_i)_{\text{мм}} &= 0,484814 (l'_i)_{\text{с}} \cdot (90^\circ - \alpha'_i), \end{aligned}$$

где α_i и $(90^\circ - \alpha'_i)$ — значения соответствующих углов в секундах; $(l_i)_{\text{с}}$ — длины сторон в сотнях метров;

$(\Delta x_i)_{\text{мм}}$ и $(\Delta y_i)_{\text{мм}}$ — приращения координат в миллиметрах.

Замена точных формул приближенными даже при $\alpha \approx 2^\circ$ даст относительную ошибку в определении приращения менее 0,0002, а так как само приращение будет меньше 0,035 длины стороны, то относительная линейная ошибка хода будет менее 0,000007.

Уравнение полученных по ходам невязок $\delta_x = \Sigma \Delta x - (x_D - x_C)$ и $\delta_y = \Sigma \Delta y - (y_B - y_A)$, по способу наименьших квадратов, сводится к распределению невязки δ между приращениями $\Delta x, \Delta y$ соответствующего хода пропорционально числам

$$K_i = \frac{l_i \lambda_i}{\sum_{j=1}^n l_j \lambda_j},$$

где λ_i — коэффициент, определяемый системой формул:

$$\lambda_i = \sum_{v=0}^{i-1} \xi_v; \quad \xi_v = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n L_i - L_v;$$

$$L_v = \sum_{j=1}^v l_j,$$

где ξ_v — расстояние от точки хода v до его центра тяжести;
 L_v — расстояние от начальной точки хода до точки с номером v ;
 l_j — длина стороны между пунктами $j-1$ и j (начальная точка имеет номер 0).

В табл. 94 дан пример вычисления чисел K_i ($i=1, 2, 3, 4$) для хода AB .

Таблица 94

i	l_j	L_{σ}	ξ_{σ}	λ_j	$l_j \lambda_j$	K_j
$C(A)$		0,00	+2,1			
1	1	1	+1,1	2,1	2,1	0,187
2	1	2	+0,1	3,2	3,2	0,286
3	1,5	3,5	-1,4	3,3	4,95	0,442
4(B)	0,5	4	-1,9	1,9	0,95	0,085
—	$\Sigma=4$	$\Sigma=10,5$ Ср. 2,1	$\Sigma=0,00$	—	$\Sigma=11,2$	$\Sigma=1,000$

Примечание. Длины сторон l_i даны в сотнях метров.

Последующее уравнивание координат промежуточных вершин выполняют по отдельным ходам.

Пример. Вычислить ординаты вершин сетки по ходу AB и абсциссы по ходу CD . Исходные данные и результаты вычислений приведены в табл. 95, 96.

Таблица 95

Номера точек	Левые углы	Дирекционные углы	α''	l_i	K_i	Δ_y	δx	Δ_y	y
A	90° 03' 14"	89° 52' 17"							
1	180 08 23	359 55 31	-269	1,002	0,187	-131	-4	-135	300,129
2	179 58 04	0 03 54	+234	1,000	0,286	+113	-5	+108	299,994
3	180 05 28	0 01 58	+118	1,501	0,442	+86	-8	+78	300,102
В	89 55 37	0 07 26	+446	0,498	0,085	+108	-2	+106	300,180
		270. 03 03							300,286
Получено						+176			
Должно быть						+157	-19	+157	+157
Невязка						+19			

Примечание. Длины сторон l_i даны в сотнях метров.

Центры промежуточных вершин редуцируют так же, как и центры вершин основных фигур. Обычно редукции для промежуточных пунктов менее 10 см, поэтому редукция выполняется непосредственно

Номера точек	Левые углы	Дирекционные углы	α''	l_i	K_l	Δx	δ	Δx	x
С	89° 51' 47"	180° 06' 22"							
1	89 51 47	89 58 09	-111	1,001	0,143	-54	+6	-48	199,736
2	180 03 15	90 03 27	+207	1,002	0,229	+101	+9	+110	199,688
3	180 01 42	90 06 42	+402	0,999	0,256	+195	+10	+205	198,798
4	179 56 18	90 08 24	+504	1,001	0,229	+244	+9	+253	200,003
Д	90 01 03	90 04 42	+282	0,999	0,143	+136	+5	+141	200,256
		0 05 45							200,397
Получено						+622			
Должно быть						+661	+39	+661	+661
Невязка						-39			

Примечание. Длины сторон l_i даны в сотнях метров.

на металлических пластинках (закладка постоянных знаков, минуя временные, целесообразна только в этом случае).

Геодезический контроль всех пунктов. Геодезические измерения и вычисления нельзя считать законченными, если не произведен заключительный контроль. Поэтому, закрепив вершины сетки постоянными знаками, приступают к контрольным измерениям: проверяют правильность редуцирования вершин сетки и получают дополнительные данные о точности ее построения.

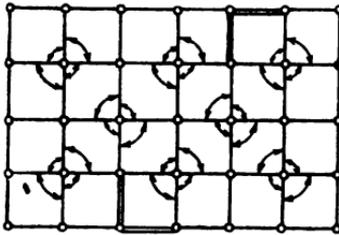


Рис. 53. Схема контроля угловых и линейных измерений

Контрольные измерения обычно проводят выборочно. Для этого измеряют некоторые линии по промежуточным сторонам сетки, а также стороны основных фигур. При этом рекомендуется применять преимущественно светодальномеры.

Контрольные угловые измерения стремятся организовать так, чтобы по возможности охватить все стороны сетки. Для этого рекомендуется инструмент типа Т2 устанавливать на вершине сетки в шахматном порядке (рис. 53).

Измерение длин сторон и углов сетки надлежит выполнять по программе, предусмотренной инструкцией СН 212-73 для плановых сетей соответствующего разряда.

Отклонение углов фигур строительной сетки от проектного их значения (90° и 180°), полученное в результате контроля, не должно превышать двойного значения средней квадратической погрешности измерения угла, установленной инструкцией для соответствующего класса главной плановой геодезической основы.

В заключение следует подчеркнуть, что указанный выше порядок выполнения работ в зависимости от условий строительной площадки и производства работ может быть изменен или уточнен.

Априорный расчет точности строительной сетки. При разработке проекта строительной сетки необходимо рассчитать возможную ее точность, исходя из конструкции сетки, метода определения координат вершин сетки и точности инструментов, используемых при ее построении.

Для последующих разбивок, как правило, наиболее важное значение имеет точность длины сторон сетки. Решение этого вопроса для произвольной строительной сетки выходит за рамки настоящего справочника из-за его сложности.

Чтобы вычислить точность косвенного определения длин сторон сетки методом ходовых засечек, будем считать, что все стороны основных фигур измерены с относительной ошибкой $1/T$ (на рис. 52, б они показаны двойными линиями), а промежуточные вершины определены указанными «угловыми» ходами, средняя квадратическая погрешность измерения угла m_{β} выражена в секундах.

Длина любой стороны между смежными «внутренними» пунктами легко находится по их координатам и практически равна соответствующему приращению Δx или Δy .

Средняя квадратическая погрешность косвенного определения длины стороны по уравненным координатам будет близка к средней квадратической погрешности стороны l , полученный как среднее арифметическое

$$l = \frac{1}{2} (l_1 + l_2),$$

где l_1 и l_2 — значения этой стороны, вычисленные соответственно от сторон b_1 и b_2 основных фигур (рис. 52, б). Эта средняя квадратическая погрешность m_l выражается формулой

$$\frac{m_l}{l} = \frac{1}{\sqrt{2T}} \sqrt{1 + NU^2},$$

где

$$N = \left(\frac{n_1}{3} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{L_1}{l} \right)^2 + \left(\frac{n_2}{3} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{L_2}{l} \right)^2;$$

$$U = \frac{m_{\beta}''}{20,6''} T \cdot 10^{-4};$$

n_i и L_i — число сторон и сумма их длин между определяемой стороной l и стороной b_i основной фигуры; $i=1,2$.

В табл. 97 приведены необходимые данные для вычисления относительной погрешности $\frac{1}{l} = \frac{m_l}{l}$, а также полученные для нее значения для восьми сторон l_1, \dots, l_8 , показанных на рис. 52, б. В расчетах принято: $1/T = 1/20\,000$ и $m_{\beta} = 5''$.

Таблица 97

l	n_1	L_1/l	n_2	L_2/l	N	NV^2	$1/l$
l_1	3	1,5	2	1	4,54	1,07	1:19 700
l_2	2	2	1	2	6,67	1,57	1:17 600
l_3	2	2	1	1	5,5	1,29	1:18 700
l_4	1	1	1	1	1,67	0,39	1:24 000
l_5	3	3	3	3	27	6,35	1:10 400
l_6	1	1	2	2	5,5	1,29	1:18 700
l_7	1	2	2	3	13,83	3,25	1:13 700
l_8	2	1	1	0,5	1,38	0,32	1:24 600

Из рассмотрения табл. 97 следует, что только две стороны (l_5 и l_7) имеют среднюю квадратическую погрешность (относительную) большую, чем соответствующие базы.

Таким образом, способ ходовой засечки, удобный для выполнения полевых работ и простой при обработке результатов измерений, оказывается достаточно точным для хода, содержащего не более четырех-пяти промежуточных точек.

Главная высотная основа

На территории строительства главную высотную основу составляют знаки, абсолютные высоты которых определяют проложением нивелирных ходов IIС, IIIС и IVС классов (табл. 98), привязываемых, как правило, не менее чем к двум маркам или реперам государственного нивелирования высшего класса.

Главная высотная основа должна обеспечить создание на строительной площадке рабочей высотной основы для разбивочных работ со средней квадратической ошибкой ее знаков ± 10 мм и возможность наблюдения за величинами деформаций возводимых сооружений со средней квадратической ошибкой ± 5 мм. В первом случае оно должно быть создано до начала строительства, т. е. в подготовительный период, а во втором — к началу работ по наблюдениям за деформациями. Для более точного определения величин деформаций главная высотная основа создается на базе специальных технических расчетов; при наблюдениях за деформациями пользуются, как правило, марками и реперами, высоты которых получены нивелированием IIС класса.

Знаки (марки и реперы) главной высотной основы должны так размещаться на строительной площадке, чтобы высотные отметки на ответственные объекты строительства могли быть переданы не менее чем от двух таких знаков и не более чем с трех станций нивелирного хода.

В число знаков главной высотной основы должны быть включены все сохранившиеся пункты нивелирования, заложенные при изыскании, а также все доступные пункты государственной геодезической сети и главной плановой основы, создаваемой на стройплощадке, включая пункты и знаки, закрепляющие вершины строительных сеток, главные оси сооружений и углы прилегающих к стройплощадке застроенных кварталов.

Таблица 98

Показатель	Классы нивелирования		
	II C	III C	IV C
Средняя квадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода η , мм	± 2	± 5	± 10
Систематическая ошибка на 1 км хода, мм	0,4	—	—
Допустимые невязки и расхождения сумм превышений прямого и обратного ходов, мм	$\pm 5\sqrt{L}$	$\pm 10\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{L}$
То же, если число штативов на 1 км хода больше 15	$\pm 1,2\sqrt{n}$	$\pm 2,5\sqrt{n}$	$\pm 5\sqrt{n}$
Максимальная длина хода, км:			
замкнутого	40	25	10
между пунктами высшего класса	—	15	5
между узловыми точками	10	5	3
Расстояние между рабочими реперами на стройплощадках, км	0,5	0,5	0,5
Расстояние между параллельно идущими ходами на стройплощадках, км	—	0,5	—
Среднее число пунктов на 1 км ² на территории строительства, не менее	—	10—15	—
Наибольшее расстояние от нивелира до река, м	50	75	100
Допустимая разность в плечах, м	1	2	5
Накопление неравенств в плечах в секции между соседними марками или реперами (по ходу) не более, м	2	5	10
Наименьшая высота визирного луча над поверхностью земли (дорожным покрытием) или предметом местности, м	0,5	0,3	0,2
Максимальная разность в превышениях, определенных по основной и дополнительной шкалам реек (черной и красной сторонам), мм	0,7	1,5	5
То же, в делениях барабана	15	30	—

Примечание. L — длина хода, км; n — число штативов.

Работы по созданию главной высотной основы складываются из: составления проекта размещения всех знаков нивелирования на территории строительства с учетом обеспечения ими строящихся объектов на всех стадиях их возведения, предусмотренных генеральным планом (стройгенпланом);

расчета точности определения абсолютных отметок, подтверждающего обеспечение соответствующих допусков, приведенных в табл. 98;

детального ознакомления (рекогносцировки) с территорией строительства для уточнения типов и местоположения запроектированных знаков и возможности их долговременной сохранности в период строительства и после сдачи объекта в эксплуатацию. При определении местоположения нивелирных знаков должны быть учтены ситуация местности и размещение на ней существующих сооружений, дорожная сеть и движение транспорта, предстоящее в период строительства перемещение грунта из котлованов и траншей, а также возможное изменение уровня грунтовых вод на стройплощадке и другие факторы, влияющие на изменение знаков по высоте;

составления сметы стоимости всех работ.

Проект главной высотной основы должен содержать схемы сети, показанные на стройгенплане с топографической основой в масштабах 1 : 5000 и 1 : 10 000, чертежи закладываемых знаков, описание состояния знаков, заложенных в период изысканий, описание пунктов, отметки, которые определяются при нивелировании высотной основы (уровень грунтовых вод и др.), и пояснительную записку с расчетом ожидаемой точности. Проект главной высотной основы до его осуществления подлежит утверждению в установленном порядке.

Главная высотная основа на территории строительства должна быть запроектирована преимущественно из замкнутых ходов (полигонов) или системы ходов. При значительном числе полигонов нивелирования III класса последние должны быть разделены на части ходами нивелирования II класса.

Для контроля возможных изменений отметок знаков главного высотного обоснования необходимо предусматривать повторное нивелирование II и III классов, периодичность которых должна быть установлена проектом. При этом для оценки устойчивости знаков в высотном отношении составляются и анализируются сводные таблицы и графики разностей превышений и отметок знаков, полученных непосредственно из полевых наблюдений разных циклов. На время перерывов нивелирные работы всех классов заканчивают на постоянном или временном репере или на трех переходных точках.

Ходы и сети нивелирования всех классов уравниваются совместно по классам способом эквивалентной замены, способом полигонов (проф. В. В. Попова) или узлов. При этом веса ходов принимаются обратно пропорциональными длинам ходов или числу штативов.

Оценивать точность результатов каждого класса нивелирования следует по средним квадратическим ошибкам на 1 км хода, вычисляемым по формуле (142)

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{v^2 : L}{n}}. \quad (142)$$

где v — невязка ходов, мм;

L — длина ходов, км;

n — число ходов.

Если число станций, проходящихся на 1 км хода, заметно колеблется в этих ходах, то пользуются формулой (143)

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{[v^2 : N]}{n l_{cp}}}, \quad (143)$$

где N — число станций;

$$l_{cp} = [L] : [N],$$

здесь $[L]$ — сумма длин всех ходов, км, а $[N]$ — число всех станций в этих ходах.

Если в нивелирных сетях кроме твердых имеются узловые точки, то для вычисления средней квадратической ошибки по формуле (142) за v принимают поправки нивелирных ходов, полученные из уравнения, а вместо n должно быть $n-k$, где k — число узловых точек в нивелирной сети.

В табл. 99 приведены основные требования к нивелирам и рейкам, которыми следует пользоваться при нивелировании IIC, IIIC и IVC классов. Этим требованиям удовлетворяют нивелиры и рейки,

Т а б л и ц а 99

Приборы и их показатели	Классы нивелирования		
	IIC	IIIC	IVC
<i>Нивелиры</i>			
Увеличение зрительной трубы, не менее	40X	30X	25X
Максимальная цена деления цилиндрического уровня на 2 мм, с	10—12	15	25
Цена деления барабана плоскопараллельной пластинки, мм	0,05	—	—
<i>Рейки</i>			
Максимальные ошибки метровых интервалов и всей шкалы, мм	±0,2 (штриховых)	±0,5	±1
Средние случайные ошибки дециметровых делений, мм	±0,15	±0,5	±1
Наименьшее деление, см	0,5	1 и 11/10 или 1 со смещением нулей пяток	1
Типы реек	а) Трехметровые штриховые с инварной полоской и круглым уровнем б) Подвесные	а) Шашечные трехметровые двухсторонние с круглым уровнем б) Подвесные	б) 1-5-3, и 4-метровые

предусмотренные ГОСТ 10 528—69 к серийному выпуску, а также ранее выпускавшиеся отечественные нивелиры — НА-1, Н1, Н2, НБ, НПГ, НВ-1 и др. и нивелиры зарубежных фирм (см. табл. 7, с. 38—39), удовлетворяющие требованиям соответствующего класса нивелирования, приведенным в табл. 98.

Рейки для нивелирования ИС, ИИС и ИВС классов устанавливаются на башмаки или костыли. Перед началом полевых работ нивелир и рейки исследуют и проверяют в соответствии с требованиями Инструкции*.

Нивелирование ИС класса

Нивелирование ИС класса выполняют по способу «совмещений» по одной паре башмаков (костылей) в прямом и обратном направлении для каждого хода и при благоприятных условиях видимости, ясных и отчетливых изображениях штрихов реек, после восхода солнца до 8—9 ч и с 16 ч, заканчивая работу примерно за полчаса до захода Солнца. Не разрешается нивелировать при сильном и порывистом ветре и резких колебаниях температуры воздуха и при колебаниях изображений, препятствующих точному совмещению биссектора сетки нитей зрительной трубы нивелира со штрихом рейки. Прямые и обратные ходы в каждой секции прокладывают, как правило, в разные половины дня. В длительную пасмурную погоду и осенью это правило может и не соблюдаться. Нормальное расстояние от нивелира откладывают на местности тонким стальным канатом, стальной рулеткой или землемерной лентой (ЛЗ), высоты визирного луча над поверхностью земли или дорожного покрытия и неравенство плеч должны выдерживаться в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 98. При работе нивелиром с самоустанавливающейся линией визирования указанные в табл. 98 допуски для неравенства плеч могут быть увеличены соответственно до 3 м на каждой станции и до 5 м в секции.

Перед началом работ на станции отсчеты по рейкам берут только после того, как нивелир примет температуру окружающего воздуха, для чего прибор за 45 мин до начала наблюдений должен быть помещен в тени. На станции нивелир должен быть тщательно защищен от солнечных лучей зонтом с белым верхом, переносить прибор с одной станции на другую разрешается только в чехле из плотной белой материи. На каждой станции результаты наблюдений записывают в журнал (табл. 100).

Отсчеты на нечетных станциях прямого хода берут в следующем порядке: по основной шкале задней рейки; то же, по передней рейке; по дополнительной шкале передней рейки; то же, по задней рейке. Отсчеты на четных станциях прямого хода производят так: по основной шкале передней рейки; то же, по задней рейке; по дополнительной шкале задней рейки; то же, по передней рейке. В обратном ходе наблюдения на нечетных станциях начинают с передней рейки, а на четных — с задней.

Перед отсчетами по рейкам прибор по уровню тщательно приводят в рабочее положение, наводят зрительную трубу на основную шкалу соответствующей рейки, ставят барабан микрометра на отсчет,

* Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов выпущенная в 1974 г. издательством «Недра».

равный 50, а элевационным винтом совмещают (примерно) изображения концов пузырька уровня и берут отсчет по дальномерным нитям. После этого тщательно совмещают элевационным винтом изображения концов пузырька уровня и вращением барабана микрометра наводят биссектор сетки нитей на ближайший штрих основной шкалы рейки и только после этого производят отсчет по рейке и по барабану микрометра.

На каждой станции подсчитывают превышения по наблюдениям основной и дополнительной шкалы. Для этого в процессе нивелирования обрабатывают полевой журнал, тем самым контролируя записи в нем. Причем необходимо соблюдать следующие равенства.

Величина $(24) = (2) - (6) = (1) - (5)$ является приближенным значением превышения h . Точное значение превышения h , т. е. $(15) = (13) + (14)$, где $(13) = (3) - (7)$, а $(14) = (4) - (8)$.

Кроме того, должны соблюдаться равенства: $(16) = (11) - (9)$; $(17) = (12) - (10)$; $(18) = (16) - (17)$; $(19) = (15) - (18)$ с точностью до 0,2 мм.

Подсчитывают сумму превышений

$$(27) = \Sigma (3) - \Sigma (7); \quad (28) = \Sigma (4) - \Sigma (8);$$

$$(29) = \Sigma (11) - \Sigma (9); \quad (30) = \Sigma (12) - \Sigma (10);$$

$$(32) = \Sigma (21) - \Sigma (22).$$

И, наконец,

$$\Sigma (15) = (27) - (28); \quad \Sigma (18) = (29) - (30);$$

$$(31) = \Sigma (15) - \Sigma (18);$$

$$(35) = \frac{1}{2} [\Sigma (15) + \Sigma (18)].$$

Полученные из этого выражения значения h в полудециметрах переводят в мм (36). Величина (37) является поправкой в найденное превышение за длину нивелирных реек. Величина (38) — окончательное значение превышения, полученная из прямого хода.

Разность превышений Δh прямого и обратного ходов при среднем числе станций, равном 15 на 1 км хода будет

$$\Delta h \leq \pm 5 \text{ мм } \sqrt{L}, \quad (144)$$

а при среднем числе станций в ходе более 15 на 1 км

$$\Delta h \leq \pm 6 \text{ мм } \sqrt{L}, \quad (145)$$

где L — длина хода, выраженная в км и определенная по длинам визирных лучей.

По окончании полевых и камеральных работ по нивелированию ИС класса составляется технический отчет с приложениями, предусмотренными Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов.

Образец записи в журнале нивелирования ПС класса

Ход от марки 3719 до грунтового репера 1425.
Условия работы: грунт—песчаный, бровка дороги

5 июля 1973 г.; начало 8 ч 40 мин; конец 9 ч 45 мин.
Изображение — отчетливое, спокойное, облачность 2.
Направление и сила ветра — северо-западное, умеренная

Номер шта- тыва	Номер рейки	Зарисовка привязки	Отсчеты по дальномерным нитям (1/2 мм)		Рейки (задняя— 3, перед- няя—П. И— превыше- ние)	Отсчеты по биссектору нитей (1/2 дм)				Контроль
			3/и'	n/d		Р	Б	Р	Б	
1	Под- весная—2	Марка 3719	0890(1)	5050(5)	З	07,0(3)	91(4)	66,3(11)	43(12)	59,252(25)
			0505(2)	4670(6)	П	48,5(7)	74(8)	107,8(9)	20(10)	59,246(26)
			385(21)	380(22)	З—П	-41,5(13)	+17(14)	-41,5(16)	+23(17)	
			-41,6(24)	+5/+5(23)	И	-41,483(15)		-41,477(18)		-6(19) -6(20)
2	2—1		5670	5605	З	50,7	67	110,0	17	59,250
			4470	4415	П	50,0	104	109,3	59	59,255
			1200	1190	З—П	+0,7	-37	+0,7	-42	
			+0,65	+10/+15	И	+0,663		+0,658		+5 -1

3	1-2	2830	2170	3	22,6	82	81,9	32	59,250
		1690	1010	П	15,9	7	75,1	56	59,249
		1140	1160	З-П	+6,7	+75	+6,8	-24	
		+6,60	-20/-5	И	+6,775		+6,776		-1 -2
4	2-1	5185	2380	3	46,3	15	105,5	62	59,247
		4080	1270	П	18,3	88	77,6	39	59,251
		1105	1110	З-П	+28,0	-73	27,9	+23	
		+28,05	-5/-10	И	+27,927		+27,923		+4 +2

Подсчет по секции от марки 3719 до грунтового репера 1425

3830 (Σ21)	3840(Σ22)	126,6(Σ3)	255(Σ4)	368,7(Σ11)	154(Σ12)
—	10(Σ2)	132,7(Σ7)	273(Σ8)	369,8 (Σ9)	174(Σ10)
		-6,1(Σ7)	-18(Σ8)	-6,1 (Σ9)	-20 (Σ0)
		-6,118(Σ15)	-6,120(Σ18)	+2 (Σ1)	

$l=0,4$ км (33) $n=4$ шт. (34)

Измененное превышение $h'=-305,9$ мм (36).

Ср. — 6,119 (1/2 дм) (35)

Поправка за среднюю длину метра реек $\delta h = +0,1$ мм (37).

Исправленное превышение $h=-305,8$ мм (38)

Примечание. В скобках указан порядок заполнения журнала.

Нивелирование IIIС класса

Как и нивелирование IIС класса нивелирование IIIС класса можно выполнять в прямом и обратном направлениях способом совмещения или «методом трех нитей», т. е. отсчет берут по трем горизонтальным нитям, пользуясь для определения превышений отсчетами по средней нити. Выбор способа нивелирования зависит от сетки нитей нивелира и реек.

Рейку при нивелировании устанавливают отвесно по круглым уровням на укрепленные на земле башмаки или костыли со сферическими головками. На заболоченных местах или на участках с рыхлым грунтом ножки штатива нивелира и рейки ставят на деревянные колья, прочно забитые в землю.

На каждой станции, устанавливая нивелир в рабочее положение, один подъемный винт ставят в направлении линии визирования. При «Методом трех нитей» отсчет на каждой станции берется в следующем порядке: по средней и дальномерным нитям по черной стороне задней рейки; то же, по черной стороне передней рейки; по средней нити по красной стороне передней рейки; то же, по красной стороне задней рейки.

Перед каждым отсчетом по рейке центр пузырька цилиндрического уровня нивелира совмещают с нульпунктом ампулы при помощи эливазионного или подъемного винтов, установленных в направлении линии визирования. Во время нивелирования прибор защищают от солнечных лучей светлым зонтом.

На время перерывов нивелирные работы IIIС класса заканчивают на постоянном или временном репере или на трех переходных точках, как и при нивелировании IIС класса. При привязках нивелирных ходов к знакам, отметки которых известны, для устранения ошибки, возникающей от неравенства разностей нулей на красных сторонах парных реек, необходимо на начальные и конечные точки хода ставить одну и ту же рейку, что достигается при четном числе станций (штативов) в данном ходе. Если при привязках к реперу или марке на них нельзя поставить или подвесить рейку, то все три нити прибора проектируют на стену, где укреплен такой пункт, и прочерчивают их проекции карандашом. После этого, пользуясь компарированной рулеткой с миллиметровыми делениями, измеряют по стене расстояния от центра марки или точки репера до проекции каждой нити. Во всех случаях привязок нивелирных ходов составляют схематический чертеж этой привязки, на котором показывают положение и номер рейки, находящейся на марке (репере), с указанием на ней средней нити сетки и отсчета или положение прочерченных на стене линий и расстояний от них до центра знака.

В журнале специальной формы записывают отсчеты по рейкам и вычисляют превышения на каждой станции. Превышения на каждой станции определяют по отсчетам, взятым по средним нитям, и для контроля — по отсчетам по дальномерным нитям. Каждая пара превышений, найденная по черным и красным сторонам * реек, не должна отличаться более чем на 3 мм. То же относится и к контрольным превышениям.

Предельную невязку для нивелирования IIIС класса вычисляют по формуле

$$\Delta h_{\text{пред}} = \pm 10 \sqrt{L}, \text{ мм}, \quad (146)$$

где L — длина нивелирного хода (в км) в одном направлении.

* С учетом разности нулей на этих сторонах.

Для определения L суммируют все задние и передние дальномерные отсчеты и умножают их на коэффициент дальномера зрительной трубы нивелира.

Если нивелирный ход проложен между двумя пунктами (реперами или марками), отметки которых известны (H_1 и H_2), то невязку такого хода (Δh) вычисляют по формуле

$$\Delta h = \Sigma h - (H_2 - H_1), \quad (147)$$

а для замкнутого хода

$$\Delta h = \Sigma h, \quad (148)$$

где Σh — сумма всех превышений данного хода.

Для нивелирных ходов, проложенных от одной точки в прямом и обратном направлениях, невязку Δh определяют по формуле

$$\Delta h = \Sigma h_1 - \Sigma h_2, \quad (149)$$

где Σh_1 и Σh_2 — суммы всех превышений соответственно прямого и обратного ходов.

При вычислении невязок нивелирных ходов по формулам 147 и 149 в суммы превышений предварительно вводят поправки за среднюю длину 1 м пары реек. Для этого определенные до нивелирных работ поправочные коэффициенты средней длины 1 м обеих реек умножают на соответствующее превышение и получают искомую поправку. Поправочные коэффициенты вычисляют интерполированием из результатов компарирования реек, произведенного перед началом нивелирных работ и по окончании их.

Невязки Δh , полученные в результате нивелирования для каждого хода, не должны превышать предельных, определенных по формуле 146.

Нивелирование IIIС класса необходимо выполнять при хорошей видимости реек. В летние солнечные дни не следует нивелировать в периоды, близкие к восходу и заходу Солнца. При переходе от прямого хода нивелирования к обратному, который должен начинаться только от постоянного знака, меняют рейки, т. е. четную из них ставят на место нечетной и наоборот. При нивелировании по способу совмещения на каждой станции работу заканчивают сравнением превышений, определенных по основной и дополнительной шкалам, разность которых не должна превышать 1,5 мм (30 делений отсчетного барабана). По окончании работ по нивелированию IIIС класса должен быть составлен технический отчет с приложением к нему: схемы ходов нивелирования, полевых журналов, материалов исследований нивелиров и компарирования реек, ведомости превышений, материалов вычислений и оценки точности, кроки грунтовых и стенных реперов и каталог высот и реперов.

Нивелирование IVС класса

При нивелировании IVС класса следует руководствоваться положениями, приведенными в табл. 98, а приборы, которыми необходимо пользоваться, указаны в табл. 99. Нивелирование IVС класса прокладывается в одном направлении и выполняется по способу «из середины».

Порядок наблюдений на станции следующий: устанавливают нивелир в рабочее положение, а рейки — на прочно вбитые в землю башмаки или костыли; наводят зрительную трубу на черную сторону

задней рейки, берут отсчеты по верхней и средней нитям сетки и записывают их в журнал нивелирования; наводят зрительную трубу на черную сторону передней рейки и производят отсчеты по верхней и средней нитям сетки; поворачивают переднюю рейку красной стороной к наблюдателю и берут отсчет по средней нити сетки; наводят зрительную трубу на заднюю рейку и берут отсчет по средней нити сетки и по красной стороне.

У самоустанавливающихся нивелиров перед каждым отсчетом пузырек цилиндрического уровня приводят на середину ампулы. Отсчеты по верхней нити берут только для вычисления расстояний от нивелира до реек. Прежде чем уйти со станции, наблюдатель проверяет измерения. Из отсчетов по средней нити сетки вычисляют разности нулей черных и красных сторон реек, превышения по отсчетам черной и красной сторон реек, среднее превышение и разность между ними. Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек с учетом разности нулей красных сторон, допускаются не более 5 мм. При переходе на следующую станцию реечки меняются местами: передний становится задним, а задний — передним. Расстояния от нивелира до реек отмеряют тонким стальным канатом, просмоленным бичевой или шагами. При перерывах в работе нивелирование заканчивают на постоянном или временном репере. В качестве последних могут служить вкопанные в землю столбы, пни спиленных деревьев, кованые гвозди, забитые в столбы, и т. д.

Для привязки к реперу рейку ставят на выступ стенного репера или на марку грунтового. Привязывают к стенным маркам при помощи специальной односторонней двухсторонней подвесной рейки. При отсутствии ее на стене под маркой отмечают острым карандашом проекции верхней и средней нитей сетки, а затем измеряют отвесное расстояние между центром марки и проекциями нитей. В журнале нивелирования привязку зарисовывают. Для нивелирования на заболоченной местности под ножки штатива и рейки вбивают колья до твердого грунта.

При предварительной обработке материалов нивелировок проверяют результаты компарирования реек и вычислений в журналах нивелирования. В них же ведут постраничный контроль: на каждой странице журнала подсчитывают суммы отсчетов по средней нити для черной и красной сторон задней и передней реек, а также суммы средних превышений и дальномерные расстояния. Разность между суммами отсчетов по задней и передней рейкам должна равняться удвоенной сумме превышений. Все результаты вычислений округляют до 1 мм.

Для нивелирования IVC класса установлена допустимая невязка $\pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина хода (км) или $\pm 5 \text{ мм} \sqrt{n}$, где n — число станций в ходе.

Завершается работа по нивелированию IVC класса составлением технического отчета с приложением к нему материалов, аналогичных прикладываемым к отчету нивелирования IIIС класса.

Рабочая плановая и высотная основа

Для съемочных и детальных разбивочных работ предназначенная рабочая или съемочная плановая и высотная основа, создаваемая на строительной площадке. Она строится в развитие главной планово-высотной основы и создается методами микротриангуляции, засе-

чек, теодолитных ходов и технического нивелирования (табл. 101). Сети и ходы рабочей основы уравниваются упрощенным способом, допустимые невязки распределяются пропорционально длинам сторон сети по ходу.

Число точек рабочей основы, используемой для съемочных работ, вместе с пунктами сетей высших классов и разрядов на 1 км² незастроенной территории должно быть не менее 4, 12 и 16 для съемок в масштабе соответственно 1 : 5000, 1 : 2000 и 1 : 1000.

Таблица 101

Показатель	Рабочая основа		
	плановая		высотная
	Теодолитные ходы	Микротриангуляция	Техническое нивелирование
<i>Средняя квадратическая ошибка определения:</i>			
горизонтальных углов, с длин сторон (относительная)	30 1:5 000	30 1:5 000	— —
наиболее слабой стороны (предельная)	1:3 000	—	—
превышения, мм	—	—	±20
<i>Допустимые невязки:</i>			
углов в треугольнике, с нивелирного хода при его длине L (км), мм	±60 —	±60 —	±50 \sqrt{L}
по числу штативов, мм	—	—	±10 \sqrt{n}
<i>Предельные длины:</i>			
сторон, км	0,3	0,6	—
ходов между пунктами высшего разряда, км	1,5	1,5	2,5
ходов между пунктами высшего разряда и узловыми точками, км	0,8	—	—
ходов между узловыми точками, км	0,6	—	1
замкнутого хода (полигона), км	3	—	10

Теодолитные ходы. Съемочные теодолитные ходы на территории строительства прокладываются между пунктами главной плановой основы в виде одиночных ходов или систем ходов с узловыми точками, а для разбивочных работ их следует прокладывать замкнутыми ходами с узловыми точками. В отдельных случаях теодолитные ходы могут опираться на пункты микротриангуляции.

Висячие теодолитные ходы допускаются в отдельных случаях при соблюдении условий, приведенных в табл. 102.

При разработке проекта теодолитных ходов, составляемого на плане наиболее крупного масштаба, должны быть учтены все находящиеся на площадке строительства пункты государственного и главного планового обоснования, которые могут быть использованы для привязки теодолитных ходов. На проект ходов необходимо наносить рамки планшетов и границы строительной площадки.

Территория съёмки	Предельные длины ходов L , км, число сторон n всякого хода в масштабах съёмки							
	1:5000		1:2000		1:1000		1:500	
	L	n	L	n	L	n	L	n
Незастроенная	500	2	300	2	150	1	150	1
Застроенная	350	3	200	3	150	3	100	3

Точки поворота теодолитных ходов следует размещать в таких местах, чтобы они могли максимально использоваться не только при съёмке ситуации рельефа, но и при разбивочных работах. При проектировании теодолитных ходов на застроенных территориях должна быть учтена возможность обязательного координирования углов капитальных зданий и сооружений, центров смотровых колодцев подземных коммуникаций и т. д., для создания постоянной плановой основы на строительной площадке. Теодолитные ходы, проектируемые для съёмки способом перпендикуляров, на застроенной территории должны прокладываться от снимаемых объектов на расстояниях 8, 6 и 4 м, а при использовании эккерсов на — 60, 40 и 20 м при съёмках в масштабах соответственно 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Проекты теодолитных ходов должны утверждаться в установленном порядке.

Углы поворота теодолитных ходов измеряют приборами с точностью не менее $0,5'$ при одном полном приеме с перестановкой лимба между полуприемами на 90° ; максимальная разница в углах, полученных из полуприемов, не должна превышать $45''$. Стороны теодолитных ходов измеряют в прямом и обратном направлениях оптическими дальномерами соответствующей точности, шкаловыми лентами и длиномерами АД-1М. Введение поправок за компарирование мерных приборов, выполняемое на полевом компараторе, обязательно, если длина мерного прибора отличается от номинальной более чем на 1 : 10 000.

Если разность температур воздуха при компарировании лент и измерении ими сторон хода превышает 8°C , то в эти стороны вводится поправка за температуру. Поправка за наклон сторон хода к горизонту учитывается, если угол наклона превышает 1° .

Микротриангуляция. Рабочая основа на открытой строительной площадке может строиться в виде несложных сплошных систем или рядов (цепочек) треугольников. Отдельные пункты рабочей основы можно получать вставками, применяя прямые, обратные или комбинированные засечки.

Треугольники микротриангуляции должны быть близки к равно-сторонним. Углы в них более 120° и менее 20° не допускаются и измеряются как в теодолитных ходах (с. 233). Угловые невязки в треугольниках не должны превышать $1,5'$.

При построении «свободных» сетей (цепочек) микротриангуляции следует измерять две стороны треугольников с относительной ошибкой для каждой не более 1 : 5000. Поправки за центрировку и редукцию вводятся в измеренные углы только в том случае, если величины линейных элементов превышают 1 : 10 000 длин сторон микротриангуляции.

При определении отдельных пунктов прямыми засечками, последние должны производиться не менее чем с трех пунктов главного планового обоснования. При этом углы между смежными направлениями более 120° и менее 30° не допускаются. Отдельные пункты могут определяться обратной (многократной) засечкой, но не менее чем с четырех пунктов плановой опорной сети высшего разряда и, чтобы искомый пункт не находился вблизи окружности, проходящей через три любых исходных пункта. Остальные пункты рабочей основы, получаемые комбинированными засечками, строятся в сочетании прямых и обратных засечек с участием не менее трех опорных пунктов.

Техническое нивелирование. На строительной площадке для определения абсолютных высот точек рабочей основы производится техническое нивелирование методом геометрического нивелирования, прокладываемого отдельными ходами, системами ходов с одной или несколькими угловыми точками или замкнутыми ходами между марками и реперами нивелирования I, II, III и IV классов и реперами главной высотной основы.

Проложению ходов технического нивелирования предшествует разработка проекта на весь объем работ, составляемого на планах (картах) наиболее крупного масштаба. Системы нивелирных ходов должны опираться не менее чем на два исходных репера (марки), а при выборе для них направлений следует использовать наиболее удобные для нивелирования места. Висячие ходы (в прямом и обратном направлениях) и замкнутые ходы, опирающиеся на один исходный репер (марку), прокладываются в исключительных случаях.

Марки и реперы прежних нивелировок и все пункты плановой рабочей основы, не включенные в сеть нивелирования IV класса, но находящиеся вблизи проектируемых ходов технического нивелирования должны быть включены в них.

При техническом нивелировании применяются нивелиры или теодолиты с цилиндрическим уровнем на зрительной трубе. Кратность увеличения трубы не менее 20X, цена деления уровня не более $45''$ на 2 мм. Кроме того, используются одно- и двухсторонние шашечные рейки с сантиметровыми или с двухсантиметровыми делениями. Привязывать ходы технического нивелирования к маркам следует с помощью подвесной реечки длиной 1,2 м с сантиметровыми делениями или проектированием средней нити сетки нивелира (теодолита) на стену выше или ниже марки.

Нивелир (теодолит) перед работой и периодически во время нее и после каждого сотрясения должен поверяться в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями. Рейки следует компарировать перед началом работы и определять для них неравенства высот нулей на черной и красной сторонах. Случайные ошибки дециметровых делений на рейках не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

Нивелирование выполняют в одном направлении по способу «из середины» (при нормальной длине визирного луча до 120 м), а отсчеты по рейкам берут по средней нити сетки. При благоприятных условиях (спокойное изображение, тихая пасмурная погода) работы с рейками, имеющими сантиметровые деления, допускают увеличение длины визирного луча — плеча до 200 м. Работая с нивелиром НТ (уровень при зрительной трубе, перекладывающейся в лагерах), следует пользоваться им как глухим.

Отсчеты по рейкам записывают в соответствующие журналы.

При работе с двухсторонними рейками после установки нивелира в рабочее положение визируют зрительной трубой на заднюю, а затем на переднюю рейку и берут отсчеты по их черным и красным сторонам. При работе с односторонними рейками на каждой станции после приведения нивелира в рабочее положение зрительной трубой визируют на заднюю рейку и делают отсчет по средней нити сетки прибора; визируют трубой на переднюю рейку и берут отсчет по средней нити сетки нивелира; изменяют высоту нивелира не менее чем на 10 мм, вновь приводят нивелир в рабочее положение и, визируя на переднюю рейку, делают отсчет по средней нити, сетки; зрительной трубой визируют на заднюю рейку и производят отсчет по средней нити сетки нивелира. Разности отсчетов, являющиеся неравенствами высот нулей черной и красной сторон реек, не должны отличаться более чем на 5 мм от соответствующих величин, полученных в результате компарирования реек.

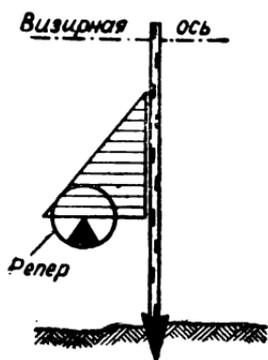


Рис. 54. Привязка к реперу

Расхождения в превышениях, определенные на станции по черным и красным сторонам реек с учетом разности высот нулей на красных сторонах (или при двух горизонтах инструмента), не должны превышать 5 мм. На каждой следующей станции разность должна иметь знак, обратный знаку этой разности на предыдущей станции. Если превышения, полученные по черным и красным сторонам реек или при двух горизонтах инструмента, отличаются более чем на 5 мм, то все наблюдения, выполненные на данной станции, переделывают. Ошибочные отсчеты в журнале зачеркивают и ниже записывают новые. Если ход технического нивелирования привязывают к стенному реперу, на который нельзя поставить рейку отвесно, то вблизи него ставят башмак (костыль,

колышек) так, чтобы вертикально поставленная на него рейка касалась репера. На репер меньшим катетом ставят прямоугольный треугольник (рис. 54), а больший катет должен подходить к рейке. Разность двух отсчетов, сделанных на рейке по средней нити зрительной трубы нивелира и по горизонтальному катету треугольника, будет соответствовать отсчету по рейке, установленной на репере.

При отсутствии треугольника нивелир следует поставить одним подъемным винтом против рейки (в 7—10 м), установленной отвесно по уровню на башмаке (костыле, колышке). Затем, совместить с краем рейки вертикальную нить сетки зрительной трубы нивелира, навести (при помощи подъемного винта или наклоном всего нивелира) любую горизонтальную нить сетки на центр репера и сделать отсчет по ней на рейке.

Чтобы не путать рейки, что особенно важно для двухсторонних, в журнале в столбце, озаглавленном «Примечание», записывают их номера.

Предварительная обработка журнала состоит из проверки всех вычислений, произведенных в нем на каждой станции, и постраничного контроля. Для этого на каждой странице журнала подсчиты-

вают сумму всех отсчетов по средней нити для черной и красной сторон задней рейки или сумму всех отсчетов по средней нити при двух горизонтах прибора; такие же суммы получают по передней рейке. Затем определяют сумму всех положительных и отрицательных превышений. После этого выполняют постраничный контроль. Подсчитывают те же суммы и производят такой же контроль для каждой секции хода (между постоянными и временными реперами) и для всего хода технического нивелирования. Предварительные вычисления проводят с точностью до 1 см.

По окончании технического нивелирования составляют отчет с приложением к нему схемы ходов, кроки заложённых точек, журналов нивелирования, материалов компарирования реек, ведомости уравнивания высот точек и каталога высот.

Типы знаков и центров для закрепления пунктов плановой и высотной основы на строительной площадке

Закреплять пункты главной и рабочей плановой основы строительных сеток, разбивочных осей, высотные отметки и особенно ответственные участки территории строительства необходимо устойчивыми знаками и реперами, удобными для постоянного пользования ими.

Все грунтовые центры и реперы геодезического обоснования следует закладывать преимущественно вровень с поверхностью земли. Глубина их закладки устанавливается в зависимости от геологических, гидрогеологических и гидрологических условий. При этом предпочтение должны отдавать коренным породам, возвышенным местам, местам с глубоким залеганием грунтовых вод и вдали от оползней, пльвунов, а также местам не подвергающимся затоплению, деформациям, т. е. центры и реперы закладывают не ближе чем в 200—400 м от котлованов крупных объектов. Все имеющиеся вблизи района работ капитальные здания и сооружения должны быть использованы для закладки в них настенных знаков.

В скальные породы центры и реперы (марки) закладывают на цементном растворе заподлицо с поверхностью скалы и оформляют сверху опознавательным знаком в виде тура. Наиболее ответственные центры и реперы должны быть защищены от возможных повреждений специальным предохранительным устройством.

Центры и знаки планово-высотной основы, заложённые на территории строительства, подлежат сдаче по акту под наблюдение за сохранностью дирекции строящегося предприятия и руководителю строительного участка, а заложённые вне территории строительства — исполкомам местных Советов депутатов трудящихся или с разрешения последнего — соответствующему землепользователю. Все заложённые центры и построенные знаки планово-высотной основы необходимо наносить на генпланы, стройгенпланы и на все разбивочные чертежи, выдаваемые для производства работ на строительной площадке.

Отчет по закладке всех центров и постройке знаков должен содержать общую схему расположения их, составляемую на планах масштаба 1 : 5000—1 : 10 000, описание их типов, журнал зарисовки и привязок всех пунктов или фотографии мест закладки центров и акт их сдачи под наблюдение за сохранностью.

На территории строительства, в зависимости от физико-географических условий местности, центры и реперы, закладываемые для закрепления вершин строительных сеток, разбивочных осей и пунктов главного и рабочего планово-высотного обоснования, могут быть разных типов.

Для закрепления вершин строительных сеток служит знак (рис. 55), представляющий собой забетонированную металлическую

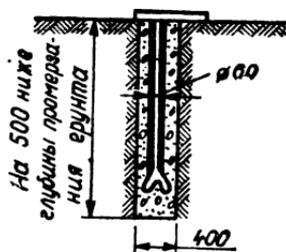


Рис. 55. Знак для закрепления точек строительной сетки

Рис. 56. Центр для районов подвижных песков

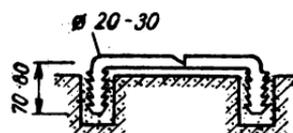
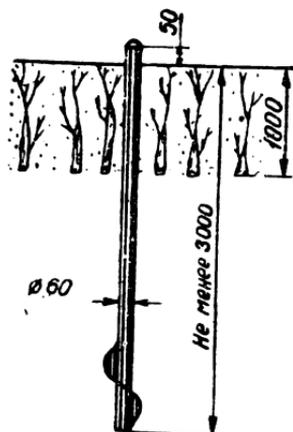


Рис. 57. Виды скоб для закрепления разбивочных осей

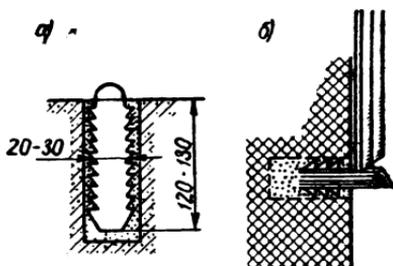


Рис. 58. Центры (реперы) для разбивочных осей

а — вертикальный; б — горизонтальный

трубку с пластинкой. На рис. 56 показан центр, закладываемый в районах подвижных песков. Для закрепления разбивочных осей и высотных отметок используют скобы (рис. 57), а также вертикальный и горизонтальный (из уголковой стали) реперы (рис. 58, а, б). Пункты триангуляции, полигонометрии и трилатерации ПС, ППС и IVС классов закрепляют грунтовыми центрами, показанными на

рис. 59, 60, 61 и 62. Они предназначены соответственно для районов: неглубокого (до 1,5 м) — тип 1 г.р., глубокого (свыше 1,5 м) промерзания грунта — тип 2 г.р., многолетней мерзлоты — тип 3 г.р. и для скальных грунтов — тип 4 г.р.

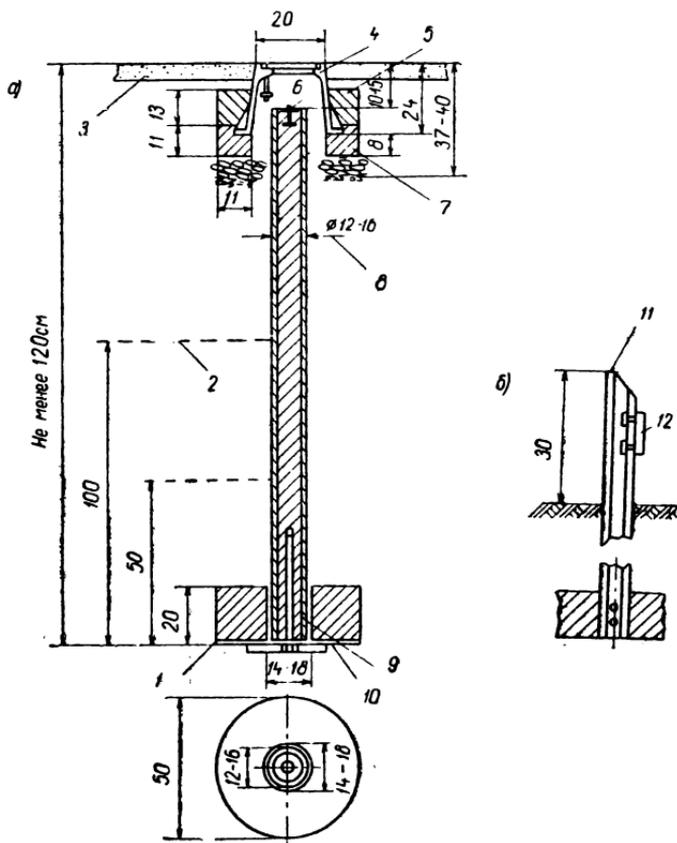
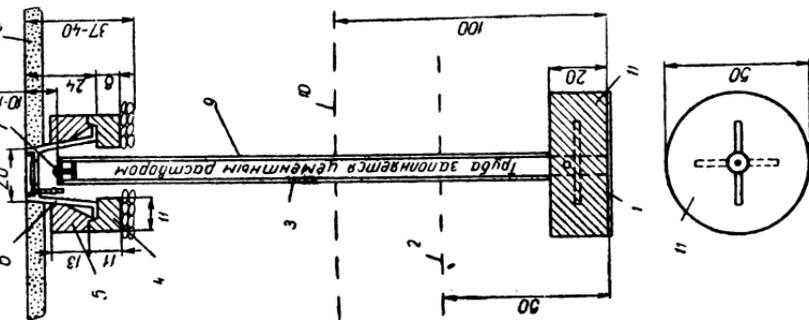


Рис. 59. Центр (тип I г.р.) для пункта триангуляции, полигонометрии и трилатерации 2, 3 и 4 классов для районов неглубокого промерзания грунта

а — центр из асбоцементной или железобетонной трубы; б — центр из рельса; 1 — бетонный якорь \varnothing 50 см; 2 — наибольшая глубина протаивания грунта; 3 — асфальт или поверхность земли, очищенная от дерна; 4 — чугунный колпак с крышкой; 5 — заливка из бетонного раствора; 6 — чугунная марка; 7 — бетонное кольцо (подушка колпака); 8 — асбоцементная или железобетонная труба, заполненная цементным раствором или железобетонный пилон круглого (12—16 см) или прямоугольного сечения; 9 — соединение на цементном растворе; 10 — слой (2—3 см) цементного раствора; 11 — рельс; 12 — металлическая скоба

Центры типов 1 г.р., 2 г.р., 3 г.р. и 4 г.р. закладывают преимущественно на незастроенных территориях, а на застроенной территории — в тех местах, где нельзя установить стеной знак и могут вестись земляные работы.

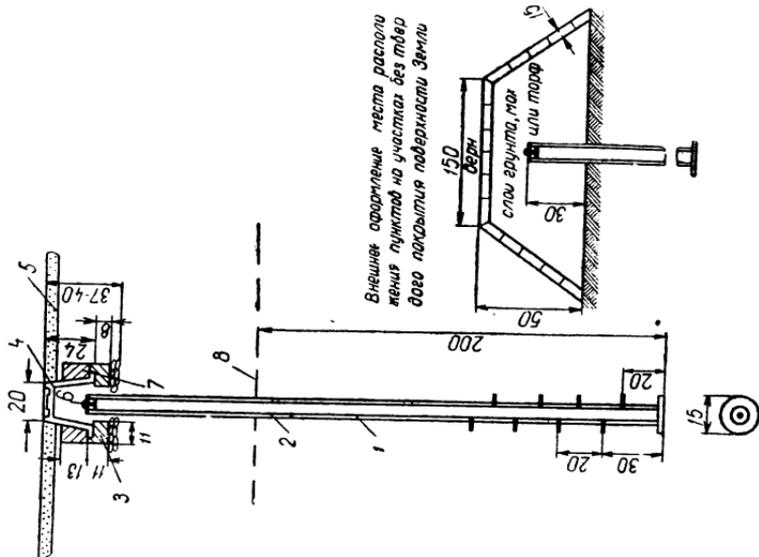
Рис. 60. Центр (тип 2 г. р.) для пунк-
та триангуляции, полигонометрии и
трилатерации 2, 3 и 4 классов для
районов глубокого промерзания грун-
та и многолетней мерзлоты



1 — слой (2—3 см) цементного раствора;
2 — наибольшая глубина протаивания грун-
та; 3 — противокоррозионный слой; 4 — бе-
тонное кольцо (подушка колодца); 5 — за-
ливка бетонным раствором; 6 — чугунный
коллак с крышкой; 7 — чугунная марка;
8 — асфальт или поверхность земли, очи-
щенная от дерна; 9 — металлическая тру-
ба \varnothing 60 см с толщиной стенки не менее
3 мм; 10 — наибольшая глубина промерза-
ния грунта; 11 — бетонный якорь \varnothing 30 см

Рис. 61. Центр (тип 3 г. р.) для пунк-
та триангуляции, полигонометрии и
трилатерации 2, 3 и 4 классов для
районов многолетней мерзлоты

1 — противокоррозионный слой; 2 — метал-
лическая труба \varnothing 60 см; 3 — кирпичная
кладка или бетонное кольцо; 4 — чугунный
коллак с крышкой; 5 — асфальт или по-
верхность земли, очищенная от дерна;
6 — чугунная марка; 7 — заливка бетонным
раствором; 8 — наибольшая глубина прота-
ивания грунта



Внешние оформленные места рассто-
лов женья пунктов на участках без твер-
дого покрытия подверженности Звонил

Центр типа 1 г.р. (см. рис. 59) состоит из бетонного якоря, асбоцементной или железобетонной трубы, оканчивающейся наверху заделанной в нее маркой, а внизу — болтом, и предохранительного чугунного колпака.

В сельских населенных пунктах, в лесопарковой защитной зоне и в других местах, где не предполагается строительство, вместо центра типа 1 г.р. разрешается закладывать центры, состоящие из выступающего на поверхность рельса, укрепленного в бетонном основании (см. рис. 59, б).

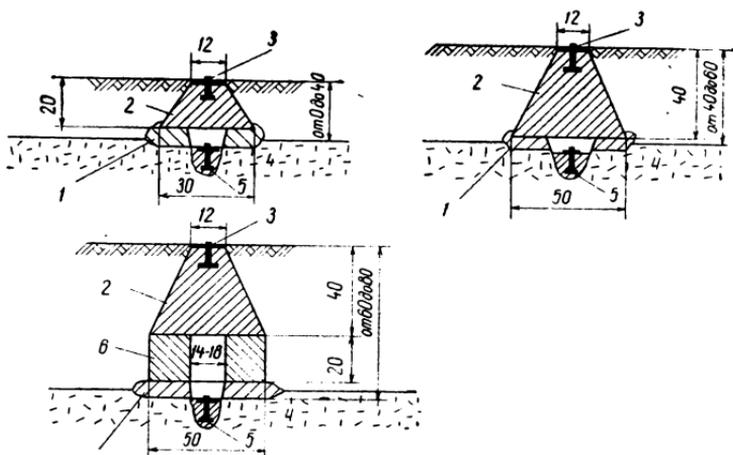


Рис. 62. Три вида центров (тип 4 г.р.) для пункта триангуляции, полигонометрии и трилатерации 2, 3 и 4 классов в скальных грунтах
 1 — бетонная подушка от 5 до 20 см или слой (2—5 см) цементного раствора;
 2 — бетонный монолит в виде усеченной четырехгранной пирамиды; 3 и 5 — чугунные марки; 4 — скальный грунт; 6 — бетонная плита

Центр типа 2 г.р. (см. рис. 60), как и центр типа 1 г.р., является трубчатым, основание его бетонного якоря закладывается на 50 и на 100 см ниже соответственно наибольшей глубины промерзания и оттаивания грунта.

Центр типа 3 г.р. (см. рис. 61), погружаемый бурением или протаиванием грунта, состоит из металлической трубы и многодискового якоря, представляющего один диск и восемь полудисков, приваренных к нижней части трубы, заканчивающейся наверху маркой. После пробуривания скважины нижняя часть ее (на 50—60 см) заполняется грунтом текучей консистенции, в который и погружается многодисковый якорь до основания скважины.

Центр типа 4 г.р. (см. рис. 62) состоит из марки, укрепляемой в скале на цементном растворе, и установленного над ней бетонного монолита, размер которого зависит от глубины залегания скалы.

На незастроенной территории, где невозможна установка стенового знака на пунктах триангуляции, полигонометрии и трилатера-

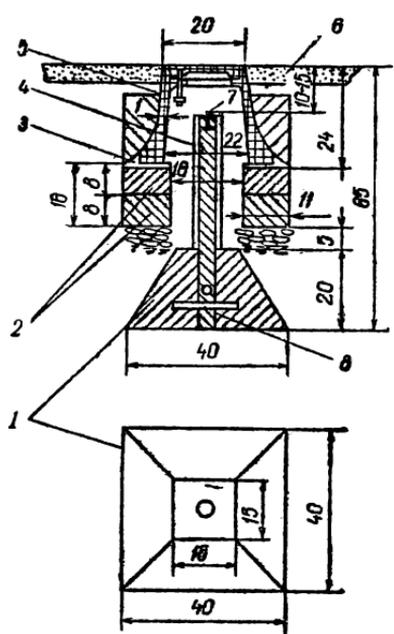


Рис. 63. Центр (тип 6 г. р.) пунктов триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1 и 2 разрядов и полигонометрии 4 класса в районах сезонного промерзания грунта

1 — бетонная четырехгранная пирамида (монолит) или конус; 2 — бетонное или кирпичное кольцо; 3 — скрепление на цементном растворе; 4 — противокоррозионный слой; 5 — чугунный колпак с крышкой; 6 — асфальт или поверхность земли, очищенная от дерна; 7 — чугунная марка; 8 — металлическая труба \varnothing 35–60 мм

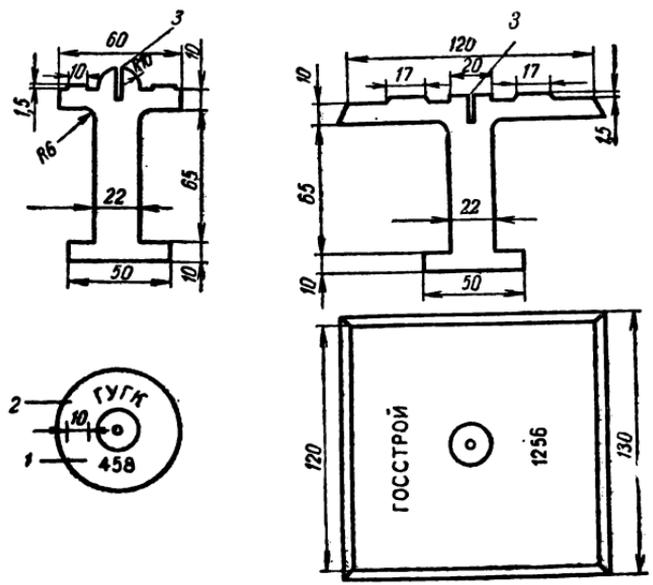


Рис. 64. Два типа марок

1 — номер марки; 2 — надпись, состоящая из начальных букв названия организации, производящей геодезические работы; 3 — отверстие \varnothing 2 мм

ции (в районах сезонного промерзания грунта), закладывают центр типа 6 г. р. (рис. 63). Он представляет собой бетонный монолит в виде усеченной четырехгранной пирамиды, в которой заделана металлическая труба, заканчивающаяся наверху приваренной чугунной маркой (рис. 64). Сверху такой центр накрывается для предохранения чугуном колпаком с крышкой и опорными бетонными кольцами или заменяющей их кирпичной кладкой.

На рис. 65 показаны стенные знаки типов 7 г. р. и 8 г. р., применяемые на застроенных территориях для закрепления пунктов полигонометрии 2, 3, 4 классов и 1 и 2 разрядов. Их же используют и для закрепления снесенного центра триангуляции и трилатерации 4 класса и 1 и 2 разрядов, а также и для закрепления главной плановой основы на строительной площадке.

Стенной центр типа 7 г. р., состоящий из металлического стакана, крепится дюбель-гвоздем в цоколе здания на 0,3—1,2 м от поверхности земли с помощью выстрела из строительного пистолета СМП-3м. Центром такого знака служит отверстие в его стакане.

В стенном знаке типа 8 г. р., соответствующему стенному чугунному реперу, центром служит отверстие в верхней части сферической головки.

Наземными центрами пунктов полигонометрии 2, 3, 4 классов и 1 и 2 разрядов и точек съемочного обоснования служат знаки, показанные на рис. 66. Их применяют на строительных площадках с твердым покрытием поверхности земли. Эти знаки представляют собой стенную нивелирную марку или металлический шаровый пояс (диск) с коническим углублением, укрепляемый в бетонных плитах усовершенствованного дорожного покрытия, тротуарах и т. д. при помощи строительного пистолета СМП-3м. На верхних поверхностях таких знаков отливают

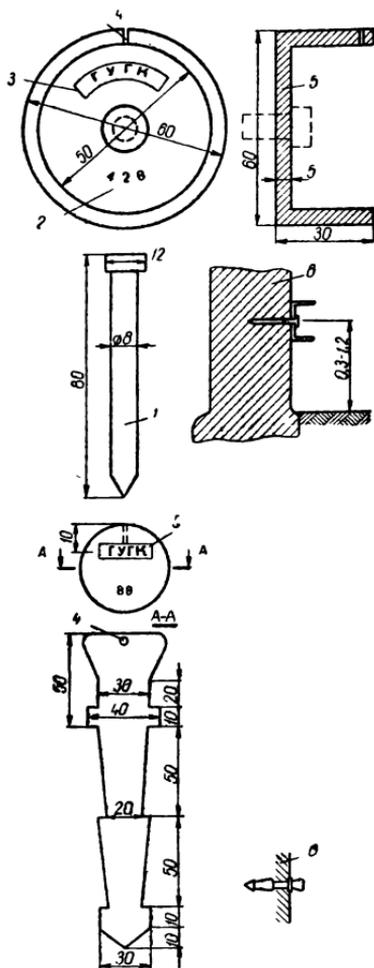


Рис. 65. Виды стенных знаков для пунктов полигонометрии 2, 3 и 4 классов и 1 и 2 разрядов

1 — дюбель-гвоздь; 2 — номер знака; 3 — надпись, состоящая из начальных букв организации, производящей геодезические работы; 4 — отверстие $\varnothing 2$ мм для установки визирного приспособления; 5 — стакан из малоуглеродистой стали; 6 — общий вид знака

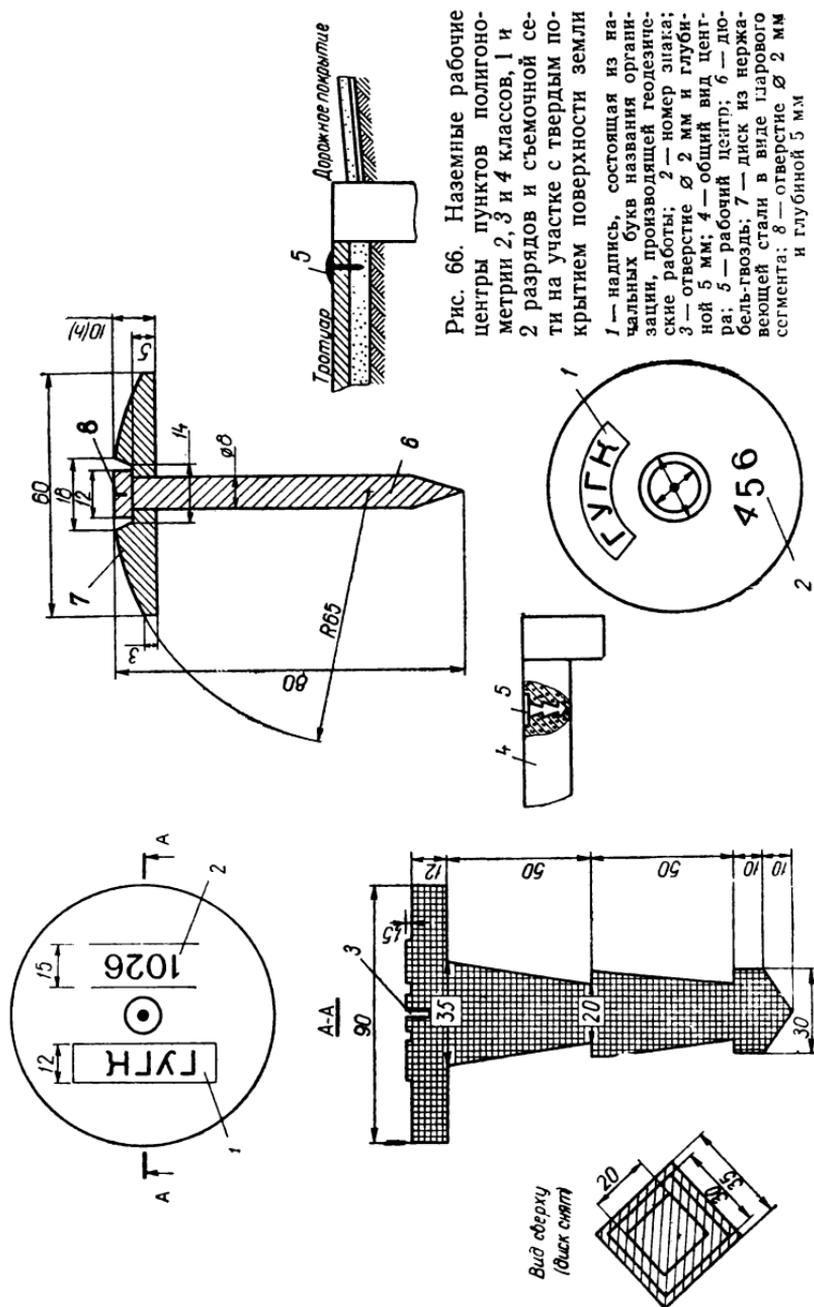


Рис. 66. Наземные рабочие центры пунктов полигонометрии 2, 3 и 4 классов, 1 и 2 разрядов и съемочной сети на участке с твердым покрытием поверхности земли

1 — надпись, состоящая из начальных букв названия организации, производящей геодезические работы; 2 — номер знака; 3 — отверстие \varnothing 2 мм и глубиной 5 мм; 4 — общий вид центра; 5 — рабочий центр; 6 — дюбель-гвоздь; 7 — диск из нержавеющей стали в виде глазового сегмента; 8 — отверстие \varnothing 2 мм и глубиной 5 мм

начальные буквы названия организации, их установившей, и номера знаков *.

На рис. 67 показана конструкция глубинного репера, опирающегося на твердые скальные грунты. Он представляет собой две колонны металлических труб, опущенных в буровую скважину. Внутреннюю трубу репера устанавливают в несжимаемом слое грунта (из-

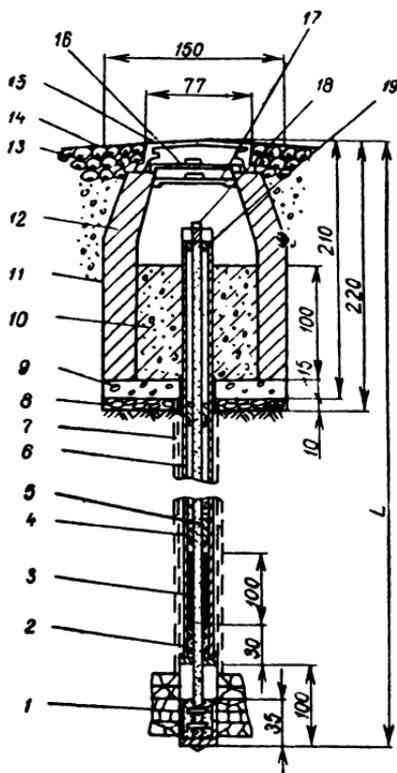


Рис. 67. Глубинный репер

- 1 — башмак репера; 2 — сальник; 3 — битум для заливки пространства между реперной и защитной трубами; 4 — деревянная диафрагма; 5 — реперная труба \varnothing 89 мм, покрытая асфальтовым лаком и закрепленная цементным раствором или битумом; 6 — защитная труба \varnothing 168 мм с оболочкой из асфальтового лака и ветоши; 7 — обсадная труба \varnothing 325 мм (вынимается после бурения); 8 — щебеночная подготовка; 9 — бетонный пол; 10 — засыпка из опилок, пропитанных битумом; 11 — два слоя толя или рубероида на клебемассе; 12 — типовой колодез; 13 — планировочная плита; 14 — отмостка высотой до 0,18 м; 15 — чугунный люк; 16 — металлическая крышка; 17 — реперная головка; 18 — резиновая диафрагма

вестняка) для фиксирования неизменяемого высотного положения точки, относительно которой измеряют осадки. Наружная труба его служит для устранения появляющегося с течением времени заиливания пространства между трубами, что может быть причиной передачи на внутреннюю трубу смещений наружных труб, вызываемых деформациями грунтов. У поверхности земли реперную трубу устанавливают в кирпичном колодце, изолированном от промерзания.

Для определения вертикальных перемещений (деформаций) фундаментов на нижней и верхней плитах его устанавливают плитную марку (рис. 68, а) и потайную (рис. 68, б). Первая представляет собой металлический болт (заклепку) со сферической головкой, заде-

* Центры геодезических пунктов для территории городов, поселков и промышленных площадок. М., «Недра», 1972.

ланный в плиту, а вторая состоит из металлической трубки, с приваренными зубцами в ее хвостовой части, закрывающейся крышкой, которая расположена заподлицо со стенкой здания. Во время наблюдения за деформациями крышку с такого знака снимают, а в отверстие трубки вставляют установочный шаровой болт.

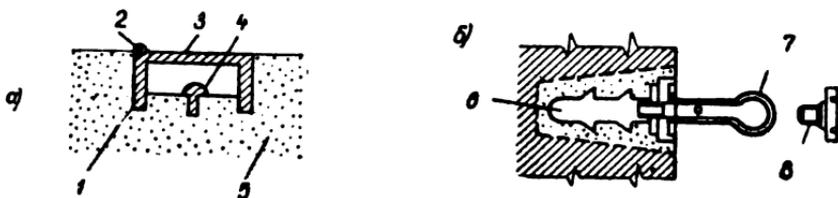


Рис. 68. Марки

a — плитная; *б* — потайная; 1 — труба \varnothing 100—120 мм; 2 — шарнир; 3 — крышка; 4 — болт \varnothing 20 мм со сферической головкой; 5 — бетонная плита; 6 — хвостовина; 7 — установочный шаровой болт; 8 — крышка

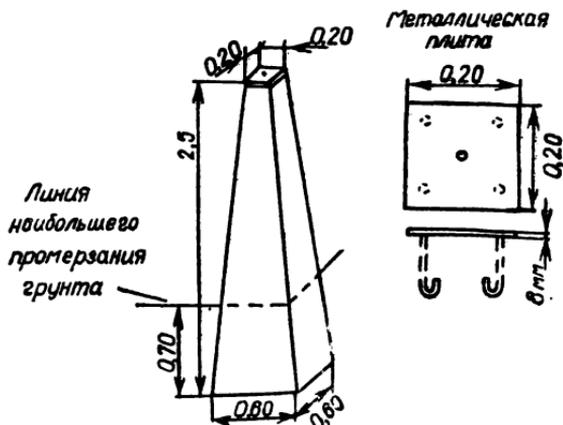


Рис. 69. Бетонный монолит для закрепления вершин строительной сетки в районах сезонного промерзания

Для закрепления вершин строительной сетки в районах сезонного промерзания могут служить бетонные монолиты (рис. 69) длиной 2,2—2,5 м, в верхнюю грань которых заделывают стальную плиту толщиной 6—8 мм.

Для наблюдения пунктов триангуляции, трилатерации и полигонометрии со смежных пунктов над центрами последних устанавливают четырехгранные простые пирамиды (рис. 70) из уголкового стали (50×50 или 35×35 мм), имеющие в верхней части визирный цилиндр, вертикальная ось которого должна находиться над центром пункта.

На застроенной территории центры триангуляционных (трилатерационных) пунктов закрепляют сигналами или надстройками (рис. 71), построенными на площадках башни, возвышающейся над крышей высокого каменного здания. Такая надстройка состоит из

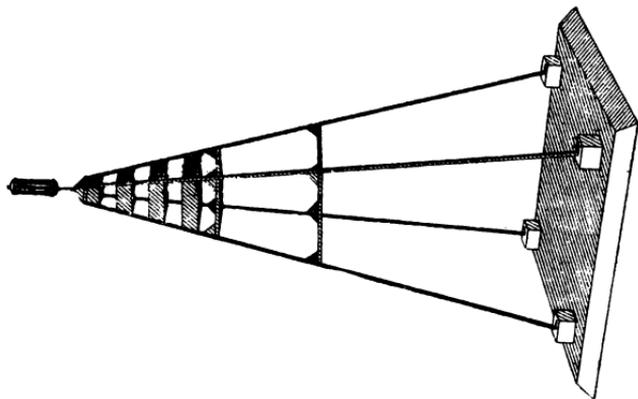


Рис. 70. Металлическая пирамида для наблюдения триангуляционных, трилатерационных и полигонометрических пунктов

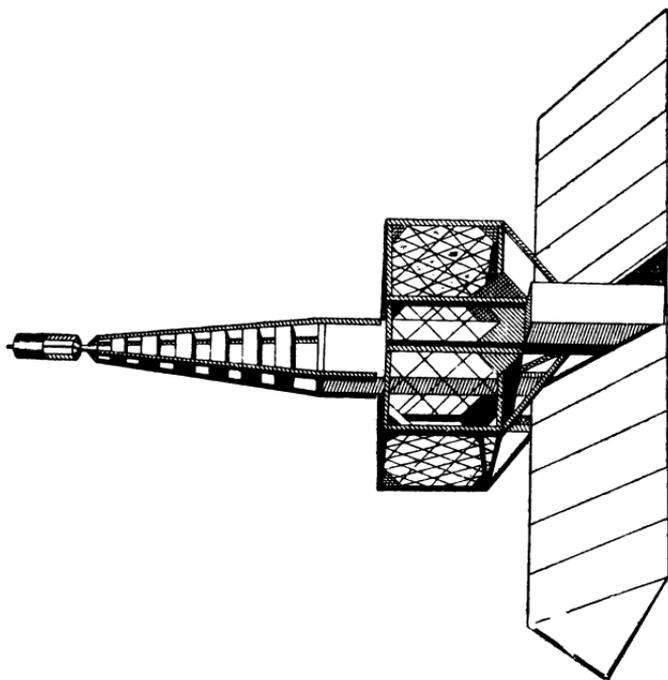


Рис. 71. Надстройка для закрепления центров триангуляционных (трилатерационных) пунктов

площадки (деревянной или металлической) для наблюдателя и столба (высотой 1,2—1,5 м и сечением 50×50 см), устанавливаемого на капитальной стене. В верхней и нижней частях столба закрепляют металлические марки (см. рис. 64); верхняя марка служит центром знака. К столбу прикрепляют пирамиду с визирным цилиндром. При наблюдениях с надстройки теодолит устанавливают непосредственно на столбе, для чего пирамиду с визирным центром предварительно снимают. Крепление визирного цилиндра к пирамиде позволяет перемещать его для установки геометрической оси цилиндра над центром пункта, что исключает введения в результаты наблюдений поправок за редукцию.

Пункты плано-высотных сетей, развиваемых как съёмочное обоснование, закрепляют на местности * знаками, обеспечивающими долговременную их сохранность.

Такие знаки выполняются в виде:

бетонного пилона сечением 12×12×90 см, в верхнюю часть которого заделан кованый гвоздь, а в нижнюю — для лучшего скрепления с грунтом — два металлических штыря;

бетонного монолита, представляющего собой четырехгранную пирамиду высотой 90 см, нижним основанием 15×15 см, верхним — 10×10 см, в верхнюю часть монолита заделан кованый гвоздь;

металлических труб диаметром 35—60 мм, отрезка рельса или уголкового стали сечением 50×50×5 мм или 35×35×4 мм и длиной 100 см с бетонным якорем, имеющим форму усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием 20×20 см, верхним — 15×15 см и высотой 20 см. К верхней части трубы (рельса, уголкового стали) приваривают металлическую пластинку для надписи, к нижней — металлические стержни (крестовину);

деревянного столба диаметром не менее 15 см с вырезом для надписи и крестовиной, устанавливаемого на бетонный монолит, форма которого — усеченная четырехгранная пирамида с нижним основанием 20×20 см, верхним — 15×15 см и высотой 20 см. В верхнюю грань монолита заделывают гвоздь или наносят на нее крестообразную насечку;

пня свежерубленного дерева диаметром верхней части не менее 25 см. На пне делают вырез для надписи и забивают кованый гвоздь;

марки, штыря, болта, забетонированных в основания различных сооружений или в скалу.

Наружное оформление долговременных знаков состоит из канавы длиной 2×2 м, глубиной 0,3 м, шириной по нижнему основанию 0,2 м и по верхнему — 0,5 м.

Временными знаками для точек съёмочных сетей могут быть: деревянные свайки диаметром 5—8 см, уголкового стали или металлические трубы, забитые в грунт на глубину 0,4—0,6 м с установленным рядом сторожком;

деревянные столбы диаметром 15—20 см, закопанные (забитые) на глубину 0,7—1,0 м;

пни свежесрубленных деревьев диаметром 10—20 см, обработанные в виде столба.

* На пахотных землях и болотах, на проезжей части дороги, вблизи размываемых бровок русел рек и берегов водохранилищ, а также в местах, нарушаемых строительством, закладывать знаки запрещается.

Временные знаки окапываются круглой канавой диаметром 0,6 м.

Центр временного знака обозначается на верхнем срезе столба масляной краской в виде креста с высверленным отверстием или с забитым в него гвоздем.

2. СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Фототеодолитная съемка

Полевые работы. Съемку выполняют фототеодолитом (с. 43).

Для того чтобы получить представление о снимаемом объекте, необходимо иметь два снимка, полученных при одинаковой ориентировке с различных точек базиса. Такие два снимка дают возможность определить координаты точек объекта и сокращенно называются стереопарой.

Фототеодолитную съемку применяют для создания топографических планов (в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500), главным образом, районов с горным и всхолмленным рельефом [42], а также при различного рода изысканиях (геологических, дорожных, при съемке оползневых районов и при наблюдениях за осадками зданий и сооружений и пр.). До начала работ составляется проект размещения фотостанций на имеющихся планах или картах наиболее крупного масштаба, который уточняется в дальнейшем при детальной рекогносцировке местности. Необходимое число фотостанций зависит от форм рельефа, принятого метода сгущения сети контрольными пунктами, масштаба съемки, а также методов съемки непрозрачиваемых на снимках участков местности («мертвых пространств»).

При составлении проекта размещения фотостанций необходимо учитывать также требования, предъявляемые к точности плана, технические возможности съёмочных камер и стереофотограмметрических приборов для камеральной обработки полученных снимков.

Так, для фотокамер с фокусным расстоянием 200 мм разрешаются предельные отстояния фотографирования в масштабе составленного плана 8 дм для стереоавтографа модели 1318, 10 дм — для стереоавтографа 1318 EL при средней ошибке нанесения контуров 0,5 мм и 16 дм — при средней ошибке 0,7 мм.

При составлении проекта размещения фотостанций рассчитываются длины базисов фотографирования, определяемых по формуле

$$B = \frac{Y_{\max}^2 m_p}{m_y f_k \cos \varphi},$$

где Y_{\max} — максимальное отстояние при работе на стереоавтографе, м;

m_p — средняя квадратическая ошибка определения продольного параллакса, мм;

- m_y — средняя квадратическая ошибка нанесения контура на план, м;
 f_k — фокусное расстояние фотокамеры, мм;
 Φ — угол равномерно отклоненной оси от перпендикуляра.

Величина угла должна быть меньше $31^\circ 30'$ и будет положительной при отклонении оптической оси влево, а отрицательной — при отклонении оси вправо. Превышение одного конца базиса относительно другого не должно быть более 10 мм в масштабе плана при камеральной обработке данной фотостанции.

Если фототеодолитная съемка выполняется без перекрытия или с одного базиса, то каждая стереопара обеспечивается четырьмя контрольными пунктами. Причем два пункта располагаются вблизи оптической оси: один на ближнем, другой на дальнем плане; либо два пункта помещаются на дальнем плане по краям снимка и по разные стороны оптической оси.

При осуществлении съемки с двух- и трехкратным перекрытием каждая основная стереопара должна обеспечиваться 1—2 контрольными пунктами, расположенными на дальнем плане. Стереопары, обеспечивающие съемку «мертвых пространств», снабжаются точками камерального сгущения, получаемыми при развитии графической сети. В качестве контрольных пунктов следует использовать маркированные пункты опорных геодезических сетей и точек съемочного обоснования, а также хорошо опознаваемые местные предметы в зависимости от масштаба съемки (отдельно стоящие деревья и кусты, камни, столбы, углы зданий и специально установленные маркировочные знаки и др.).

При составлении проекта размещения фотостанций необходимо учитывать простоту геодезического определения намечаемых контрольных пунктов. Контрольные пункты, опознанные на фотопанорамах, обводят кружком, подписывают и в специальном журнале указывают, для каких точек получены координаты и отметки.

Фотопластинки (проявленные) оценивают визуально на прижим и качество изображения, причем фотопластинки с прижимом, выраженный в изменении расстояний (более чем на 0,1 мм) между координатными метками, или низким качеством изображения бракуют. Если забракован хотя бы один негатив, переснимают всю стереопару.

На фотостанции необходимо измерять базис с относительной ошибкой не более 1 : 1500, ориентировать его не менее чем по двум пунктам и определять превышение одного конца базиса над другим.

Превышение концов базиса получают измерением вертикального угла на одном конце базиса, а ориентирование его измерением угла одним полным приемом теодолитами Theo-020, Theo-030 или другими равноточными им приборами.

Координаты и высоты станций фотографирования определяют развитием микротриангуляции, проложением теодолитных ходов, а при масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000 прямыми, обратными и комбинированными засечками, если эти пункты не совмещены с опорной геодезической сетью.

При полевом топографическом дешифрировании на фотопанорамах и контактных отпечатках опознаются все элементы и предметы местности, которые не могут быть узнаны камеральным путем, а также определяются качественные и количественные характеристики на дешифрируемые объекты.

Опознанные объекты или контуры на фотопанорамах обознача-

ются условными знаками со стрелкой, указывающей к чему относится пояснение.

Заснятые объекты должны опознаваться на местности непосредственно с точек фотографирования и при обходе снятого участка по маршрутам. Направление маршрутов устанавливается масштабом съемки и сложностью дешифрируемого объекта, причем обязательному дешифрированию подлежат линии связи и электропередачи высокого и низкого напряжения, промышленные, сельскохозяйственные и культурно-бытовые объекты, гидрографическая и дорожная сети и сооружения на ней. Кроме того, дешифрированию подлежат населенные пункты и отдельные строения, что в дальнейшем показывается на схемах, причем даются фотопанорамы населенных пунктов, снятые крупным планом с дешифрированием зданий и сооружений.

«Мертвые пространства» снимаются одновременно с производством полевых фототеодолитных работ либо по окончании камеральной обработки. При съемке, выполняемой одновременно с полевыми работами, отбивку границ «мертвых пространств» на местности осуществляют путем детальной рекогносцировки и стереоскопического просмотра контактных отпечатков.

Для съемки «мертвых пространств» применяются мензурная съемка на больших по площади участках, а также на небольших участках, когда имеются планы, составленные по материалам фототеодолитной съемки, и тахеометрическая съемка на незначительной площади участка, когда одновременно производятся и фототеодолитные работы на этих площадях.

На застроенных участках «мертвые пространства» (на планах масштабов 1:2000—1:500) снимаются только методом горизонтальной съемки. Рекомендуется определять координаты углов капитальных зданий, сооружений и колодцев подземных коммуникаций при создании основной опоры и при прокладке теодолитных ходов.

Камеральные работы. При выполнении всех полевых работ фототеодолитной съемки, на основе детального изучения их составляется проект камеральной обработки. Этот проект должен определять методику и последовательность сгущения сети контрольных пунктов, очередность обработки стереопар, принимаемые предельные отстояния и масштабы моделей стереообработки.

Сгущение сети контрольных пунктов осуществляется на стереоавтографе путем графических засечек с трех фотостанций (причем углы при искомой точке должны быть не менее 30°) или подбором связующих точек.

Длины сторон треугольников погрешности должны быть менее 0,3 мм, а расхождение по высоте, получаемое на основании отметок с трех фотостанций, не допускается более $\frac{1}{4}$ величины принятого сечения.

Корректируются стереомодели вспомогательных стереопар, предназначенных для съемки «мертвых пространств», по меньшему числу произвольно расположенных контрольных пунктов, включая и точки графической сети и связующие точки, находящиеся в непосредственной близости от площади съемки [42].

Ошибки ориентирования стереопар на стереографе не должны превышать в плане 0,2 мм для контрольных пунктов и 0,3 мм для точек графической сети и связующих точек, а по высоте 0,2 мм от принятого на плане сечения.

Для проведения горизонталей отсчеты, устанавливаемые на

счетчике высот, должны быть уменьшены на величины поправок за кривизну земли и рефракцию.

При равномерном склоне для расстояний между горизонталями менее 2 мм рекомендуется проводить только утолщенные горизонтالي при помощи стереоавтографа, а остальные определяют интерполированием; для расстояний между горизонталями до 3 мм, кроме утолщенной горизонтали, следует вычерчивать при помощи стереоавтографа еще только одну горизонталь, получая остальные интерполированием между ними.

Мензурная съемка

Мензурная съемка [1, 2, 22, 23, 42, 75] рассчитана на создание топографических планов непосредственно в полевых условиях, что дает возможность наиболее полно отразить ситуацию и рельеф местности и не пропустить характерных деталей.

Мензула, применяемая при съемке, представляет собой столик, состоящий из доски размером 60×60 см, скрепленной тремя винтами с подставкой, устанавливаемой на штатив при помощи станкового винта;

современная металлическая подставка имеет закрепляющие и наводящий микрометрические винты.

В практике строительства используют кипрегель-автомат КА-2 с прямой зрительной трубой. Кипрегель состоит из трех основных частей: линейки, колонки и зрительной трубы (с. 40).

Оптическая часть кипрегеля для определения рельефа местности имеет стеклянный лимб с призменным блоком и системой линз, позволяющей передать нанесенную на лимбе номограмму в окуляр зрительной трубы. Номограмма рассчитана на углы наклона от -45° до $+45^\circ$ и позволяет находить превышения с коэффициентом от -10 , -20 , -100 до $+10$, $+20$, $+100$. Кривая горизонтальных проложений, непосредственно читаемых по этой кривой, имеет коэффициент, равный 100.

Измерение вертикальных углов кипрегелем выполняется аналогично изложенному на с. 58. Превышение h (см. с. 62) определяется по табл. [21] и др.

Перед полевыми работами мензула и кипрегель проверяются.

Производство работ. Мензурная съемка выполняется на листах чертежной бумаги ручного отлива, а также на фотопланах, наклеенных на фанерные или алюминиевые листы (планшеты).

Изготовление планшетов. Фанерные листы для наклейки чертежной бумаги должны быть ровными, без сучков, обработаны шкуркой, а перед наклейкой чертежной бумаги их необходимо протереть тряпкой или щеткой-сметкой для очистки от древесной пыли.

Наклеивают бумагу столярным клеем, приготовленным следующим образом: плитки столярного клея заливают холодной водой так, чтобы вода их покрывала, и оставляют на сутки, после чего клей варят до средней густоты, поместив кастрюлю с клеем в емкость с водой. Горячий клей наносят тонким слоем щеткой на листы чертежной бумаги, дают им немного постоять, после чего бумагу наклеивают на фанеру, протирая чистой тряпкой поверхность бумаги, чтобы удалить пузырьки воздуха. На обратную сторону планшета

наклеивают формуляр, а края планшетов окантовывают тесьмой.

Планшеты рекомендуется складывать по 100—200 шт. и помещать под пресс. В таком положении планшеты хранятся 4—6 мес., после чего листы фанеры с наклеенной бумагой не коробятся и бумага меньше деформируется.

Листы алюминия шлифуют специальными шариками, промывают теплой водой и сушат. На высохшие листы алюминия наклеивают писчую бумагу № 2 клеем из крахмала, поверхность бумаги тщательно протирают для удаления пузырьков воздуха и высушивают в течение суток. Чертежную бумагу и с обратной стороны алюминиевого листа формуляр наклеивают тем же клеем. Затем 10 таких планшетов, переложенных листами бумаги, кладут под пресс на 30—40 мин. После этого листы ставят вертикально в стеллажах на расстоянии 1 см друг от друга, просушивают в течение 5—6 дней.

Перед началом работ на планшетах разбивают координатную сетку со сторонами 10×10 см при помощи штангенциркуля либо рамой инж. А. И. Леенсона, а чаще линейкой проф. Ф. В. Дробышева. Разбивку сетки поверяют, допуская расхождение в диагоналях дециметровых квадратов на 14,14 см не более 0,3 мм. После проверки сетки квадратов подписывают номенклатуру и углы рамки планшета, наносят по координатам опорные пункты и точки съемочного обоснования, указывают их названия (или номера) и их отметки с точностью до 1 см. Одновременно по данным абрисов наносят контуры ситуации и предметы местности, заснятые с теодолитных ходов.

Журнал топографической съемки должен быть пронумерован, а титульный лист в нем заполнен. Планшет прикрепляется к мензульной доске небольшими гвоздиками.

Перед началом работ необходимо инструктировать исполнителей: вычислителя и реечника. Вычислитель должен знать порядок записи в журнале, уметь пользоваться таблицами превышений; реечнику же необходимо выяснить, сколько обычных его шагов соответствует расстоянию 20 м, для чего расстояние в 40 м он должен пройти несколько раз, считая шаги. Необходимо показать реечнику, как располагать рейку при съемке контуров, угодий, ситуации, выбирать характерные точки для правильного изображения рельефа. С реечником следует установить общение с помощью сигналов.

Работу на станции начинают с того, что на двух точках планового обоснования ставят вехи, мензулу приблизительно ориентируют и центрируют над точкой стояния, для чего планшет располагают так, чтобы точка, нанесенная на планшете, находилась над той же точкой местности. Это достигается при помощи мензульной вилки, приводя предварительно верхнюю плоскость планшета в горизонтальное положение. Центрируют с точностью 5 см для масштабов 1:500 и 1:1000 и до 10 см для масштабов 1:2000 и 1:5000.

После этого ориентируют планшет по двум точкам, на которых установлены вешки, для чего, пользуясь скошенным краем линейки кипрегеля и наводящим винтом мензулы, совмещают вертикальную нить кипрегеля с вешкой. Проверяют центрировку и в случае отклонения от установленных допусков, центрируют и ориентируют мензулу заново. Ориентируют по линии длиной более 5 см, для этого находят координаты створных точек, по которым и ориентируют планшет.

Рекомендуется на хорошо видимых на местности точках опорной сети устанавливать вехи заблаговременно.

Определять место нуля необходимо заранее с ошибкой менее 1'. Результаты измерений следует записывать в журнал. Высота кипрегеля над точкой стояния отмечается на рейке резиновой тесьмой.

Предметы местности и контуры снимаются полярным способом, причем визируют кипрегелем при том же положении круга, при котором ориентировалась мензула. Пикеты, определяющие грунтовые дороги, берут только с одной стороны дороги и измеряют ее ширину. Если ширина дороги не выражается в масштабе, то пикеты берут по ее оси, а дорогу изображают на плане условным знаком.

При съемке дорог показывают материал покрытия и ширину проезжей части, а также все сооружения на них: мачты и все поворотные столбы линий электропередач и связи. Нечеткие очертания: редколесье, вырубки, поляны, кустарники и другие наносят на планшет так, чтобы можно было установить границы контура в натуре. При съемке леса определяют породу леса, среднюю высоту деревьев и их толщину на высоте одного метра. Отдельно стоящие деревья должны быть показаны на планшете при съемке в любом масштабе так, чтобы их центры совпали с центром условного знака. Подобным же образом изображают колодцы, столбы и другие предметы, не выражающиеся в масштабе плана. Названия рек и ручьев необходимо подписывать, а направления течений указывать стрелками.

С каждой точки стояния зарисовывают только тот рельеф, который непосредственно виден с данной станции, нельзя зарисовывать рельеф без сличения его с местностью. Перед съемкой рельефа речнику показывают вершины и подошвы скатов, вершины и устья лощин и их разветвления, перегибы седловин и скатов на водоразделах, в котловинах, ямах, воронках и по краям их, у берегов рек, прудов, озер, ручьев на уровне воды с тем, чтобы после съемки не только охарактеризовать местность по высоте в отдельных ее точках, но и получить направления скатов. При сечении рельефа более чем через 1 м на планшете выписывают отметки с точностью до 1 дм, а при меньшем сечении — до 1 см.

При небольших колебаниях высот целесообразно отметки определять горизонтальным лучом, нивелиром или кипрегелем. Горизонтали рисуют четко, ясно и подписывают в необходимых, легко читаемых местах. Направления скатов показывают бергштрихами. Крутые склоны балок, берегов и возвышенностей изображают горизонталями, в некоторых случаях горизонтали проводятся через одну.

Если съемка застройки выполнялась другим методом, то при съемке рельефа контролируют съемку и накладку застройки.

Тахеометрическая съемка

Когда нецелесообразно использовать мензультную съемку, применяют тахеометрическую как самостоятельную и в сочетании с другими видами работ. Тахеометрической съемкой пользуются при съемке узких полос местности, при дорожных изысканиях и в неблагоприятных для съемки климатических условиях.

В застроенных и незастроенных территориях городских земель тахеометрическая съемка производится для выявления рельефа и ситуации в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Она должна быть организована таким образом, чтобы параллельно с полевыми работами выполнялись и работы по составлению плана.

Станциями для тахеометрической съемки служат пункты опорной геодезической сети и точки съемочного обоснования, на которые должны быть переданы отметки при помощи нивелирования IVС класса и технического.

Работа по тахеометрической съемке еще больше, чем мензурная, зависит от подготовки исполнителей, а поэтому еще особенно тщательно следует инструктировать рабочих относительно установки рейки на характерных точках местности, позволяющих наилучшим образом определить направления скатов, тальвегов, лощин, седловин, разветвлений и устьев лощин и др.

Перед производством работ теодолит проверяют, вычисляют постоянные дальномера и место нуля вертикального круга. Поверки теодолитов изложены в разделе I, п. 2. Прибор устанавливают над пунктом, приводят его в рабочее положение, центрируют. Наводят зрительную трубу на вежу, стоящую на соседнем пункте или точке съемочного обоснования, совместив нуль лимба горизонтального круга с нулем алидады.

При определении пикетных точек, отражающих рельеф и ситуацию местности, измерения ведут при одном положении круга, для получения превышений трубу наводят на высоту прибора.

Ориентировку теодолита проверяют в процессе работы через 30 пикетов. По окончании работ на станции ориентировку прибора проверяют, наводя зрительную трубу на вежу, установленную на начальной точке, причем расхождения в отсчетах между первым и последним наведением не должны быть больше 1,5'.

Одновременно с ведением журнала на отдельном листе зарисовывают кроки, в которых показывают характерные линии рельефа (тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и др.). Кроки ведут примерно в одном масштабе и ориентируют по ходу, указывая не менее двух смежных пунктов и направление, по которому ориентирован теодолит. Пикеты, между которыми интерполируются горизонтали, соединяют стрелками. Номера пикетов в журнале должны совпадать с номерами в кроки. Для контроля выполненной работы необходимо определять несколько пикетов, взятых с других станций.

Ведение кроки — самая ответственная часть тахеометрической съемки, которая должна отражать рельеф и ситуацию снимаемого участка, показываемую условными знаками и пояснительными надписями. Рекомендуется на кроки обозначать рельеф схематически горизонталями, как он виден со станции.

По окончании съемки проверяют вычисления пикетов в журнале, составляют подробную схему станций с опорной сетью и съемочным обоснованием. Вычисления выполняют чернилами. Затем на планшетах размером 60×60 см с нанесенными (с соответствующим контролем) пунктами опорной геодезической сети и точками съемочного обоснования отмечают реечные точки (пикеты). Около пикетов пишут их номера и отметки, после чего накладывают контуры угодий, застройку с ситуацией, снятую при съемке проездов и внутриквартальных участков, которые нужно наносить на планшет до составления плана по материалам тахеометрической съемки. После этого проводят горизонтали и с каждого плана составляют кальки высот и контуров (за исключением съемки в масштабе 1:500) и делают сводку по рамкам.

Составленный в карандаше план тахеометрической съемки до вычерчивания тушью необходимо проверить в поле, для чего реко-

мендуется применять мензулу с кипрегелем. Контрольные пикеты, взятые при проверке, показывают цветной тушью на кальке высот.

Корректируют планшеты до вычерчивания их тушью, при этом проверяют правильность разбивки координатной сетки, правильность наклейки точек съемочного обоснования и выписки отметок, выбирают пикеты, подлежащие вычерчиванию. Эти пикеты отмечают цветным карандашом, их должно быть не меньше четырех на 1 дм² плана для масштабов 1 : 2000 и 1 : 5000 (для масштабов 1 : 1000 и 1 : 500 тушью показывают отметки всех пикетов). Исправленный исполнителем планшет передают на повторный просмотр корректору, после чего планшет вычерчивают тушью, строго соблюдая требования, предъявляемые к условным обозначениям. После этого исправляют все замечания корректора. Если необходимо получить с планшета литографские оттиски или синьки, то его размножают в нужном количестве фотомеханическим путем.

Основной недостаток тахеометрической съемки по сравнению с мензульной состоит в том, что в первом случае план составляется в камеральных условиях, поэтому возможны пропуски отдельных контуров и обобщений деталей рельефа.

Горизонтальная съемка застроенных территорий

Наиболее сложными работами являются съемки застроенных территорий города в масштабах 1 : 500, 1 : 1000 и 1 : 2000. Большое число предметов местности и элементов ситуации, зеленых насаждений, выходов подземных сетей, сложная конфигурация архитектурных деталей, требуемая высокая точность нанесения их на план для проектных работ заставляют выполнять съемочные работы с большой тщательностью и надежным контролем [57]. Горизонтальная съемка фасадов зданий и проездов, как правило, производится отдельно от внутриквартальной съемки.

При съемке застроенных территорий необходимо зарисовывать в абрис все контуры и предметы местности, подлежащие съемке, заносить обмеры фасадных линий по проезду и контуры всех строений внутри кварталов.

Абрис — это тетрадь в твердом переплете, наиболее рациональный формат ее 13×33 см. Если абрис в мягком переплете, то используют специальные корочки, делающие переплет более твердым. Бумага для абриса должна быть плотной и хорошего качества, количество листов обычно бывает около десяти, что позволяет без затруднений пользоваться им во время съемочных работ и при составлении плана.

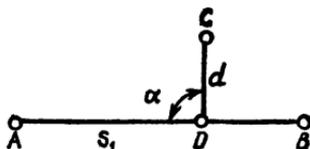
На заглавном листе абриса указывают наименование организации, ведущей съемку, номер абриса, район и год ее выполнения, фамилию производителя работ, масштаб съемки и адрес, по которому следует возвратить абрис в случае его утери. На первой странице помещается оглавление с наименованием улиц или населенных пунктов, страницы абриса нумеруются. Абрис заполняют только простым карандашом твердости 2Т или Т, съемочный ход наносят одной или двумя параллельными линиями на расстоянии около 1 см.

Все предметы местности зарисовывают в абрис в произвольном масштабе, используя принятые условные знаки для составления плана. Все записи в абрисе должны быть четкими, легко читаться (особенно цифры), прямые линии следует вычерчивать по линейке,

кривые — тщательно от руки. На контурах ситуации делают поясняющие надписи. Если встречаются предметы, незнакомые съемщику, то в абрисе дают подробное их описание или зарисовку внешнего вида. Если необходимо зарисовать отдельные детали, то следует выполнить это так, чтобы было ясно, к какому месту относится вынесенная деталь. Если съемочный ход нанесен двумя линиями, то ординаты и засечки прочерчивают пунктиром или тонкими сплошными линиями вправо от правой съемочной линии и влево от левой, абсциссы подписывают между двумя линиями, а ординаты — в середине их.

При занесении в абрис съемочного хода в одну линию абсциссы подписывают с противоположной стороны, у подошв ординат и за-

Рис. 72. Определение положения точки C методом перпендикуляров



сечек. Надписи на фасадных линиях делают по направлению подписываемых линий. Всю снимаемую ситуацию рекомендуется вычерчивать в абрисе более жирными линиями, а вспомогательные промеры — тонкими. При съемке зданий сокращенно указывают этажность, материал стен и номера домов.

Горизонтальную съемку застроенных территорий выполняют методами перпендикуляров, линейных засечек, полярных направлений, створов и комбинированным (т. е. мензулой в сочетании с теодолитом и обмером габаритов зданий).

Метод перпендикуляров (прямоугольных координат). При этом методе точка C определяется при помощи измерения в створе стороны AB заданной длины AD , а в точке D по перпендикуляру (расстоянию d), который и фиксирует точку C (рис. 72).

Практика работ показывает, что если снимаемые объекты расположены вблизи линии AB , то рациональнее применять метод перпендикуляров. Поэтому при съемке стороны основной геодезической опоры и теодолитных ходов следует по возможности располагать ближе к объектам съемки и придерживаться направления, параллельного главным осям сооружений.

Чтобы уменьшить ошибку створа, линию AB необходимо провешивать по теодолиту, определяя ряд створных точек через 60, 40 и 20 м соответственно для масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500, при пользовании лентой или рулеткой длиной 20 м. Применяя мерные приборы большей длины, расстояния между створными точками соответственно увеличивают. Так, например, из искомой точки C опускают перпендикуляр и при помощи стальной рулетки измеряют его длину, а по мерному прибору, лежащему между створными точками, берут отсчет, определяющий расстояние от основания перпендикуляра до начальной точки теодолитного хода или до пункта основной геодезической опоры.

Мерный прибор следует укладывать в створе линии с помощью теодолита, тогда ошибка уклонения от створа будет не более 2 см. Ошибка в отсчете по мерному прибору основания перпендикуляра,

как показала практика, тоже не больше 2 см или в угловой мере — порядка 30'.

Таким образом, ошибка Δd в определении длины перпендикуляра, построенного на глаз, будет

$$\Delta d = \frac{1}{2} \sin^2 30' d = \frac{1}{25\,000} d,$$

а ошибка m_{S_2} измерения длины AD вычислится по формуле

$$m_{S_2} = d \sin 30' = 0,01 d.$$

Отсюда видно, что ошибка Δd почти полностью определяется ошибками вычисления длины перпендикуляра и на нее не оказывает влияния ошибки 30', что касается величины m_{S_2} , то с ней приходится считать, так как она при длине перпендикуляра 8 м будет $m_{S_2} = 0,1$ $d = 0,08$ м.

Для того чтобы выдержать точность масштаба, следует длину перпендикуляров ограничивать и не допускать ее более 8, 6 и 4 м при съемке в масштабах соответственно 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Перпендикуляры большей длины необходимо дополнять засечками с таким расчетом, чтобы длины засечек с отрезками между отсчетами по мерному прибору образовывали треугольник, близкий к равностороннему. Засечки длиной более 20 м не допускаются. Для уточнения положения оснований перпендикуляра необходимо начальный конец рулетки приложить к снимаемой точке C ситуации и рулеткой описать дугу через лежащий мерный прибор, причем наименьший отсчет и определит длину перпендикуляра и координаты его основания.

При съемке ситуации методом перпендикуляров не рекомендуется брать очень короткие перпендикуляры, поскольку, например, 0,5 м в масштабе 1 : 500 равны 1 мм, а такую величину откладывать на плане измерителем трудно. Когда перпендикуляр пересекает контуры ситуации (лотки, мощение, тротуары и др.), следует отсчитывать точки пересечения от нуля рулетки по направлению к ленте. При определении углов квартала методом перпендикуляров проводят дополнительно две линейные засечки.

Для контроля, осуществляемого при составлении плана, необходимо обмерить габариты всех строений. Обмеры по фасадной линии и габаритов зданий тесьмяной рулеткой не разрешаются.

Съемка точек ситуации методом перпендикуляров позволяет вычислить координаты оснований перпендикуляров, углов зданий, кварталов, а также других твердых контуров ситуации.

При использовании эскера длину перпендикуляров разрешается несколько увеличивать с тем, чтобы искомую длину его можно было получить с ошибкой не большей 2, 4 и 6 см для масштабов соответственно 1 : 500, 1 : 1000 и 1 : 2000.

Метод линейных засечек. При этом методе мерный прибор также укладывают в створе съемочной линии по меткам, намеченным при помощи теодолита. От точек A и B (рис. 73), которые следует брать от целых метров ленты, чтобы упростить составление плана, измеряют рулеткой расстояния a и b до снимаемой точки ситуации K . Отсчеты по ленте необходимо брать таким образом, чтобы отрезок, образованный ими на ленте, составлял с a и b треугольник, близкий

к равносоставленному. Пересечение линейных засечек a и b определит положение точки K на плане.

Обычно для контроля берут третий промер c , чтобы убедиться в правильности полученной точки, т. е. нет ли ошибки в одном из трех промеров. Измеряют засечки стальной рулеткой, длина их не должна быть более 20 м.

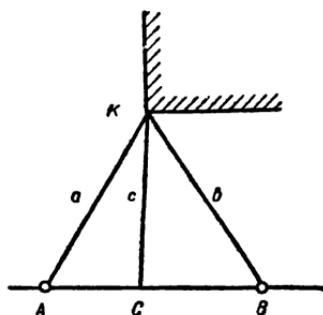


Рис. 73. Горизонтальная съемка застроенных территорий методом линейных засечек

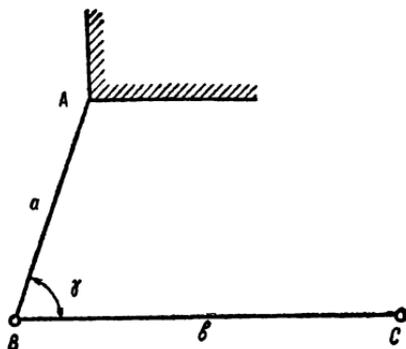


Рис. 74. Съемка точек ситуации методом полярных направлений

Метод полярных направлений. Данный метод следует применять для съемки точек ситуации, удаленных от съемочного хода на расстояния, указанные в табл. 103.

Таблица 103

Прибор для измерения расстояний	Масштаб съемки	Расстояния до контуров ситуации, м	
		твердых	нетвердых
Лента	1:500	120	150
	1:1000	180	200
	1:2000	250	300
Оптический дальномер	1:500	80	120
	1:1000	120	180
	1:2000	180	250
Нитяной дальномер	1:500	40	80
	1:1000	60	100
	1:2000	100	150

На точке съемочного хода или на створных точках линии этого хода устанавливают теодолит, которым измеряют угол γ до снимаемой точки A от стороны BC , а расстояние b (рис. 74) определяют лентой, стальной рулеткой, оптическим или нитяным дальномерами.

При съемке точек ситуации методом полярных направлений углы измеряют при одном положении круга, а перед определением на-

правлений на точки ситуации нули лимба и алидады совмещают и, закрепив алидаду, наводят трубу теодолита на соседний пункт хода, принимая его за начальное, о чем делают в абрисе соответствующую запись. Закрепив лимб и вращая алидаду по часовой стрелке, последовательно наводят трубу прибора на снимаемые точки ситуации, берут отсчеты по горизонтальному кругу теодолита и записывают их в журнал. Последний раз наводят зрительную трубу на начальное направление, отсчет на которое не должен отличаться от нуля более чем на $0^{\circ}02'$, в противном случае измерение направлений следует повторить.

Для контроля при составлении плана необходимо на местности измерять габариты строений и других твердых элементов ситуации.

Полярные направления разрешается использовать как линию съемочного хода для съемки второстепенной ситуации (бордюрный камень, лоток, границы угдий, деревья, кусты и т. д.) методами перпендикуляров и засечек.

Метод створов. Для того чтобы провести съемку дома № 5 (рис. 75), когда уже известны координаты точек *A*, *B* и *D*, выносят

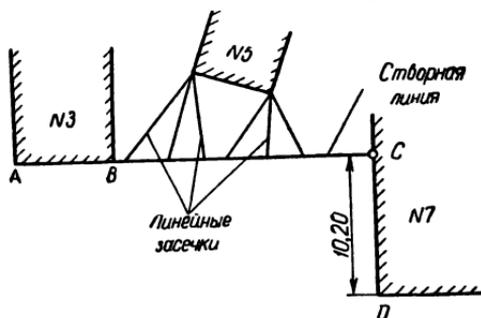


Рис. 75. Съемка дома № 5 методом створов

створ стены здания № 3 на стену здания № 7, получая при этом точку *C*. Для контроля измеряют расстояние *DC*. Таким образом, получают возможность с линии *BC* произвести съемку здания № 5 методами перпендикуляров и засечек.

Метод створов широко используется при съемке внутриквартальной ситуации, а также при полевом контроле составленных планов. Во всех случаях створные линии допускаются не более второго порядка, а створные точки на них устанавливаются по теодолиту.

Комбинированный метод. Для применения этого метода необходимо на планшет нанести по координатам углы кварталов, изломы фасадных линий и углы отдельных капитальных зданий, снятых с ходов съемочного обоснования.

Съемка деталей фасадов, проездов и внутриквартальной застройки производится при помощи мензулы и кипрегеля с тех же точек съемочного обоснования, створных точек и с пунктов полигонометрии. Применение этого метода хотя и создает наглядность планов в процессе их изготовления, но не освобождает от необходимости ведения абриса, в котором показываются обмеры внутриквартальной застройки, промеры с угла на угол, промеры по створу и диагональные связи. Определять переходные точки при съемке застроенной территории не разрешается.

Особое внимание при комбинированном методе съемки следует обращать на центрирование и ориентирование мензулы. Мензула центрируется при этом методе с точностью до 5 см при масштабах 1 : 500 и 1 : 1000 и — до 10 см при масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000. Для более точного ориентирования мензулы по коротким линиям съемочного обоснования на продолжении этих линий вычисляют координаты створных точек с тем, чтобы эта ориентирная линия была не менее 10 см на плане.

Съемка застроенных территорий в масштабе 1 : 5000 выполняется мензулой с обмером зданий и сооружений по их габаритам, с составлением плана непосредственно в поле. Расстояния до снимаемой точки ситуации измеряют при помощи ленты, стальной рулетки, оптического и нитяного дальномеров, они не должны превышать пределов, указанных ниже.

Масштаб съемки	Предельные полярные расстояния до твердых контуров, накладываемых по транспортиру, м
1 : 500	30
1 : 1000	60
1 : 2000	120

Обычно одновременно со съемкой ситуации комбинированным методом производится и съемка рельефа, что является преимуществом данного метода.

Особенности съемки отдельных предметов местности застроенных территорий. Такие предметы местности, как телеграфные, телефонные столбы, люки выходов подземных сооружений и другие, имеют сечение по форме близкое к кругу. При съемке колодцев подземных сооружений промеры делают до центров колодцев, а у люков, имеющих квадратную или прямоугольную форму, снимают два угла и измеряют ширину. При внутриквартальной съемке колодцы и отдельно стоящие предметы (столбы и прочее) должны быть связаны между собой промерами, особенно при съемке полярным методом. При съемке столбов (телеграфного, телефонного, осветительного и других) и деревьев промер делают до середины контура, к отсчету по рулетке прибавляют $\frac{1}{2}$ диаметра столба, дерева и других предметов. Деревянные рубленые дома, не имеющие завалинок, снимают по внутренним углам сруба.

При съемке нежилых деревянных строений, не имеющих ценности (самодельные сараи), снимают только четыре основные угловые точки, промежуточные незначительные изломы до 1 м съемке не подлежат. Деревянные заборы снимают по изломам без указания деревянных столбов. При съемке деревянных ворот и калиток столбы не снимают, обмеры делают по их внешним крайним точкам. Каменные столбы ворот и калиток подлежат съемке. При выполнении подеревных съемок в лесных массивах, парках и садах рекомендуется каждое дерево очерчивать мелом вокруг ствола во избежание пропусков. Для контроля деревьев, снятые полярным способом, связывают между собой промерами. При производстве подеревной съемки методом перпендикуляров выгодно применять эккер, прикрепленный к вешке на уровне глаза наблюдателя.

Камеральные работы по созданию планов застроенных территорий заключаются в построении координатных сеток на планшетах, накладке по координатам точек съемочного обоснования, составлении планов проездов и внутриквартальной ситуации по полевым абрисам,

корректуре поверки по полевым контрольным измерениям (связкам), в вычерчивании планшетов тушью и в исправлении их после вычерчивания.

Планы городских проездов и кварталов, как правило, составляют на плотной чертежной бумаге ручного отлива, наклеенной на высококачественную фанеру или алюминиевый лист (планшет) форматом 60×60 см с полезной площадью 50×50 см.

Накладку контуров ситуации и предметов местности в застроенной части города или поселка следует начинать со съемки проездов.

Планы проездов составляют в следующем порядке:

1. На плане на съемочной линии откладывают все расстояния (отсчеты по мерному прибору) до основания перпендикуляров и засечек, которые для удобства дальнейшей накладки точек ситуации подписывают (слабо без нажима) карандашом так, чтобы эти цифры можно было легко удалить с плана.

2. От этих оснований перпендикулярами и засечками наносят точки контуров и предметов местности, одновременно проверяя сравнением расстояния, полученные в результате накладки, с измеренными в натуре. Расхождение в результатах должно быть меньше точностимасштаба, в противном случае накладку этих точек повторяют. Если и в этом случае расхождение окажется недопустимым, то снова выполняют измерения в натуре, о чем делается соответствующая пометка на плане и в абрисе. После окончания работы по составлению плана участка все необходимые измерения в поле должны быть исправлены и отражены на плане.

3. При нанесении на план контура здания сначала накладывают все углы, определенные перпендикулярами и засечками, а затем другие точки ситуации, полученные методом полярных расстояний с помощью транспортира. При длинах, превышающих предельные полярные расстояния, накладку точек осуществляют по координатам.

После построения основных углов здания и проверки при помощи контрольных промеров приступают к построению всех пристроек, входов, приемников. В последнюю очередь производят накладку ситуации с висячих ходов, когда точки, снятые с основных и висячих ходов, хорошо между собой согласуются.

При накладке ситуации со съемочной линии, которая проходит по нескольким планшетам, следует выполнять накладку и за рамкой планшета, создавая необходимое перекрытие.

4. При накладке канав, откосов, контуров угодий смежные точки соединяют прямыми линиями в случае их прямолинейности и плавными кривыми при криволинейном контуре.

Одновременно с составлением плана проезда на нем показывают высотные отметки по поперечникам и другим точкам ситуации, нанося линии мягким карандашом с тем, чтобы их можно было легко удалить с плана. Отметки выписывают, как правило, слева от пикета, а при вычерчивании плана тушью или снятия с него копии на восковке — справа от пикета. Такой порядок подписи отметок дает возможность при корректуре проверить вычерченные тушью цифры.

Отметки колодцев, крышки которых находятся в разных уровнях с окружающей поверхностью земли, подписывают в виде дроби, в числителе которой указана отметка кольца колодца, в знаменателе — отметка окружающей поверхности. Вход в здание показывают кружком перед входом, а отметку его пишут слева от кружка. Отметки площадки перед входом, порога и пола здания пишут внутри контура.

После накладки планов проездов накладывают внутриквартальную ситуацию, соблюдая тот же порядок, что и при накладке проездов, и выписывая одновременно с левой стороны отметки пикетов. Выписанные на план отметки отмечают в нивелирном журнале с тем, чтобы проверить, все ли они указаны на плане.

Вся проделанная работа корректируется, при этом особое внимание должно быть обращено на поверку опорных зданий и конфигурацию их (все здания, как правило, прямоугольные). Проверяют отметки колодцев, урезов воды и особо тщательно — отметки подходов к рекам, ручьям, озерам. Все места, подлежащие исправлению, обводят на кальке контуров кружком или овалом, внутри которого ставят порядковый номер замечания. Замечания кратко излагают в корректурном листе.

Кроме камерального контроля производятся полевые контрольные измерения. Расхождение полевых измерений и данных, взятых с плана, должны быть меньше указанных в табл. 104.

Т а б л и ц а 104

Масштаб съемки	Допустимые расхождения контрольных промеров, взятых в натуре и с плана, см		
	в капитальных застройках	в контурах с четкими очертаниями	в горных и залежных районах
1:500	20	25	35
1:1000	40	50	70
1:2000	80	100	140
1:5000	200	250	350

После окончательной корректуры планшет вычерчивают в принятых условных знаках.

Вычерченный планшет вновь проверяют, составляя новый корректурный лист. После исправления замечаний камеральная работа считается законченной.

Вертикальная съемка

Для составления поперечных и продольных профилей улиц и проездов, проектов вертикальной планировки, а также проектов подземных сетей и сооружений (водопровод, канализация, газопровод и другие), дорожных работ, трамвайных линий и прочего необходим план, на который был бы нанесен рельеф местности.

На застроенной территории рельеф местности показывается горизонталями и отметками до 0,01 м. Горизонтали по изображениям строений проводят пунктиром. На плотно застроенной территории на планах масштаба 1:500 и на участках с разными уровнями, независимо от масштаба плана, рельеф характеризуют только отметками точек. Через свалки, карьеры, изрытые места, осыпи и по крутым обрывистым скалам, не имеющим естественного покрова, горизонтали также не проводят. Эти места должны быть околтурены и для характеристики их в высотном отношении определены отметки по контуру, а в отдельных местах внутри контура.

Нивелирные работы в застроенной части города состоят из нивелирования проездов, кварталов и участков. Проезды нивелируют для получения продольных и поперечных профилей и плана, необходимых для решения ряда инженерных задач, связанных с их проектированием и строительством. Если план проезда имеется, то все нивелируемые поперечники наносят на копию этого плана от существующей ситуации. При отсутствии плана поперечники разбивают с ведением абриса, в котором показывают привязку поперечников к фасадам зданий или другим предметам ситуации. Работы по нивелированию проездов рекомендуется вести одновременно с их съемкой. Разбивку пикетажа по фасадным линиям обычно совмещают со съемкой во время обмера фасадных линий 20-метровыми лентами, 20- или 50-метровыми стальными рулетками.

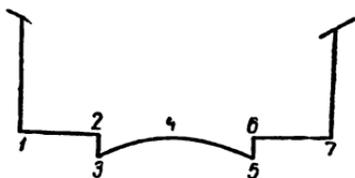


Рис. 76. Поперечный профиль улицы (проезда)

1, 7 — точки у фасадной линии; 2, 6 — верх бордюрного камня (бровки тротуара); 3, 5 — низ бордюрного камня (лотки); 4 — ось проезда

Нулевые (начальные) точки на фасадных линиях выбирают из твердых контуров (угол дома, квартала, каменного забора и другие) так, чтобы поперечники занимали примерно перпендикулярное положение к оси проезда. Расстояния при обмере фасадных линий отсчитывают от начальных точек нарастающим итогом через каждые 20, 30, 40, 50 или 100 м (устанавливаемые в зависимости от заданий проектной организации и масштаба имеющегося плана). Основания поперечников отмечают в застроенных участках мелом на заборах, стенах зданий, а на незастроенных участках — деревянными колышками, отмечая в то же время все точки перегиба рельефа местности.

При одновременной съемке проезда и разбивке пикетажа и поперечников зарисовку съемки проезда ведут на двух развернутых страницах абриса так, чтобы зарисованные фасады зданий и элементы ситуации обеих сторон проезда примерно соответствовали действительному их расположению в натуре. Зарисовку в абрисе необходимо вести так, чтобы можно было в нем разместить поперечники и надписи нумераций пикетов. Пикетаж по оси или лотку разбивают также лентами или стальными рулетками.

На усовершенствованных покрытиях (асфальт, бетон и другие) поперечники отмечают мелом, а на незамощенных проездах — деревянными колышками. Точки поворота оси проезда или лотка при отсутствии планов привязывают при помощи стальных рулеток тремя промерами к постоянным предметам местности и зарисовывают в абрисе с указанием строений, к которым сделаны привязки, и нанесением расположения оси нивелирования и поперечников с нумерацией пикетов.

Для составления поперечного профиля улицы или проезда на поперечниках необходимо отмечать характерные точки: у фасадной линии, верх бордюрного камня или бровку тротуара, низ бордюрного камня или лоток, ось проезда, а затем те же точки на противоположной стороне проезда (рис. 76). Когда на проездах имеются кюветы, необходимо отмечать бровки и дно кювета, а также все характер-

ные точки рельефа. Расстояние между нивелирными точками на поперечниках не должно превышать 20 м при плане масштабов 1 : 500 и 1 : 1000 и —40 м при плане масштаба 1 : 2000.

Запись нивелирования проездов ведут в нивелирном журнале, где указывают номера пикетов и отсчеты по черным и красным сторонам рейки. Одновременно отмечают в абрисе местоположение пикета, его номер (в кружке) и расстояние от него до основания поперечника. Пикеты в абрисе рекомендуется нумеровать цветным карандашом (в кружке). Когда имеется копия плана, пикеты и их номера отмечают непосредственно на копии.

Нивелирование проездов выполняется техническим нивелированием по двум сторонам рейки при одном горизонте прибора. Расстояние от прибора до реек не должно превышать 150 м при предельной невязке

$$f_h = 50 \sqrt{L} = 10 \sqrt{n} \text{ мм,}$$

где L — длина хода, км;
 n — число станций.

Расхождение в превышениях, полученных по разным сторонам реек, должно быть менее 20 мм.

По окончании работ сверяют нумерацию пикетов в нивелирном журнале с абрисом или копией плана.

На проездах должны быть пронивелированы выходы подземных сооружений: колодцы водопровода, канализации, связи (кольцо колодца), водосточные решетки. Если колодец выше или ниже уровня поверхности земли или покрытия, то определяют отметку земли или покрытия около колодца.

Нивелированию подлежат все входы в капитальные здания (отметки земли или покрытия у входа, порога и пола). Определяют отметки лотков против въезда во владение, лотков и осей улиц и проездов на их пересечениях, приемников (дна, верха и покрытия тротуара), верха и низа подпорных стенок через каждые 10 м, по верху и низу насыпи, откосов и насыпей, урезов воды, настилов мостов и путепроводов.

Как правило, нивелирование кварталов и участков застроенной территории выполняют после горизонтальной съемки, в результате которой получают копии планов. При наличии копии с планов работа по выявлению рельефа при помощи нивелира значительно упрощается. При отсутствии плана составляется специальный абрис.

Пикеты необходимо выбирать так, чтобы они отражали рельеф участка или квартала, для чего лучше их брать на некотором расстоянии от построек. Направление стоков воды следует показывать стрелками. Нивелирование рекомендуется выполнять так, чтобы с каждой станции иметь не менее двух пикетов, полученных с другой станции (перекрытие). Расхождение в отметках контрольных пикетов допускается до 20 мм. Контрольные пикеты следует выбирать на точках, высота которых не изменится за короткое время (каменные ступеньки, цоколи зданий, люки колодцев и выходов подземных сооружений, костыли, забитые в асфальт, и деревянные колышки, забитые в землю).

Определяют также отметки выходов подземных сооружений (колодцы, водосточные решетки, приемники), входов в капитальные здания со стороны двора, бровок, дна кюветов и каналов; у всех водоемов (рек, ручьев, прудов) отмечают урезы воды, забивая при этом

колышек до совпадения его верха с поверхностью воды. Нивелирование выполняют с соблюдением требований технического нивелирования, указанными на с. 233.

Вертикальная съемка незастроенных территорий производится мензулой, тахеометром, теодолитом и нивелиром. В зависимости от масштаба съемки и принятого сечения рельефа допускаются расстояния между пикетами и от прибора до рейки, приведенные в табл. 105.

Таблица 105

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Вид съемки		Максимальное расстояние, м			
		Мензульная, М	Тахеометрическая, Т	между пикетами	от прибора до рейки при съемке рельефа	от прибора до рейки при съемке ситуации	
						твердых контуров	нетвердых контуров
1:500	0,5	М	—	20	100	60	80
	0,5	—	Т	15	100	60	80
	1	М	—	30	150	60	80
	1	—	Т	20	150	60	80
1:1000	0,5	М	—	30	150	80	100
	0,5	—	Т	20	150	80	100
	1	М	—	60	200	80	100
	1	—	Т	50	200	80	100
1:2000	0,5	М	—	50	200	100	150
	0,5	—	Т	40	200	100	150
	1	М	—	70	250	100	150
	1	—	Т	60	250	100	150
	2	М	—	70	250	100	150
	2	—	Т	60	250	100	150
1:5000	0,5	М	—	70	250	150	200
	0,5	—	Т	60	250	150	200
	1	М	—	100	300	150	200
	1	—	Т	80	300	150	200
	2	М	—	120	350	150	200
	2	—	Т	100	350	150	200
	5	М	—	150	350	150	200
	5	—	Т	120	350	150	200

3. РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Общие сведения

Вынос проектов планировки и застройки городов, поселков, промышленных и сельскохозяйственных объектов строительства входит в разбивочные работы.

На строительной площадке к разбивочным работам относится вынос в натуру красных линий или осей улиц (проездов), главных,

основных и вспомогательных осей зданий, сооружений или геодезической строительной сетки, а также главных осей подземных инженерных сетей. Разбивочные работы на строительной площадке подразделяются на основные и детальные геодезические работы.

В основу работы по выносу в натуру основных геометрических элементов зданий, сооружений и подземных инженерных сетей входит разработка проекта производства геодезическо-маркшейдерских работ (ППГР).

Исходными данными проекта для выноса в натуру основных геометрических элементов должны быть: генеральный план стройплощадки; пункты главной геодезической плановой и высотной основы; координаты красных линий или осей проездов; координаты главных точек зданий, сооружений и коммуникаций, принятые за опорные при разработке проектной документации.

Планы, используемые для проектирования

Топографические планы, используемые в качестве графических материалов для проектов планировки, застройки и благоустройства городов и поселков, для проектирования и строительства промышленных предприятий и сооружений, объектов сельскохозяйственного строительства, а также для разрешения ряда инженерно-строительных вопросов [42, 57], составляются, как правило, в масштабах 1 : 5000 — 1 : 500 с высотой сечения рельефа, приведенной в табл. 106.

Т а б л и ц а 106

Характеристика рельефа участка съемки	Высота сечения рельефа, м, для масштаба			
	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
Равнинный с углами наклона до 2°	0,5—1	0,5—1	0,5	0,5
Всхолмленный с углами наклона до 4°	1—2	0,5; 1; 2	0,5	0,5
Пересеченный с углами наклона до 6°	2—5	1—2	0,5—1	0,5
Горный и предгорный	2—5	2	1	1

Примечание: горизонтали через 0,25 м проводят на планах масштаба 1 : 500, занятых асфальтированными территориями и спланированными площадками. Необходимость такого сечения должна быть обоснована в техническом проекте (программе) работ.

Планы в масштабе 1 : 5000 с высотой сечения рельефа, указанной в табл. 106, предназначаются для разработки генеральных планов городов и проектов размещения строительства первой очереди, инженерных сетей и коммуникаций, транспортных путей, инженерной подготовки; для проведения земельно-хозяйственного устройства и озеленения территории; для разработки проектов городских промышленных районов, сложных транспортных развязок, технического проекта застройки; для составления планов отдельных районов городов,

проектов детальной планировки на незастроенной территории города при несложном рельефе местности и решения ряда инженерно-строительных задач.

Генеральные планы крупнейших (с населением более 500 тыс. человек) и крупных (с населением от 250 до 500 тыс. человек) городов со значительной территорией, охватываемой проектом, составляются на топографическом плане в масштабе 1 : 10000.

На планах масштаба 1 : 5000 должны быть отражены все предметы местности в том же масштабе и предусмотренные для этого масштаба действующие условные знаки:

1. Опорная геодезическая сеть (пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии, нивелирования и точки теодолитных ходов, если последние закреплены на местности по типу полигонометрических знаков) наносится на планы по координатам, как правило, на незастроенных землях города, а на застроенных территориях эти данные наносят и подписывают в зависимости от загрузки плана.

2. Границы кварталов — застройки (все здания и сооружения с указанием материалов стен и назначения). Из нежилых построек (магазины, клубы, театры, склады и т. п.) только каменные, а из деревянных только те, которые имеют общественное значение (номера домов обозначают только на углах квартала). Архитектурные выступы, уступы и изломы фасадной линии заборов и ограждений наносят на план, если величина их больше 0,5 мм на плане.

На планах застроенных территорий не показывают: нежилые строения индивидуального пользования, занимающие менее 1,5 мм² на плане; границы владений внутри застроенных кварталов и заборы во владениях; индивидуальные приусадебные огороды; палисадники за красной линией кварталов; тротуары; линии связи и электропередач низкого напряжения; выходы подземных сетей в городах и на промышленных площадках, если нет специального задания на съемку; стенные реперы.

3. Складские районы, места расположения рынков, трамвайные парки и крупные гаражи, центральные и районные физкультурные базы и стадионы, специальные территории (домов отдыха, санаториев, дачных районов и т. п.), места расположения кладбищ.

4. Пути сообщения: железнодорожные, шоссейные, грунтовые трамвайные пути и сооружения на них (будки, мосты, километровые столбы и др.). Городские улицы (магистральные с указанием материала покрытия).

5. Линии связи: телефон, телеграф и электросети только на незастроенных территориях, а линии высоковольтных передач на застроенных и на незастроенных территориях с указанием мачт и поворотных столбов.

6. Водная сеть (береговые линии морей, реки, каналы, пороги) с местными предметами и застройки при ней. На плане через каждые 20 см подписывают отметки урезов воды рек и ручьев с указанием даты их определения.

7. Граница городской черты, полосы отвода железных и других дорог, территорий энергетических установок общего пользования и высоковольтных передач, территорий радиостанций, защитных зон и зон санитарной охраны водопровода в пределах городской черты существующих промышленных предприятий и другие.

8. Подземные коммуникации (водопровод, канализация, газификация, теплосети, электрокабели и другие) наносятся на отдельные планы или оттиски с них, прилагаемые к генеральному плану.

9. Контуры и характеристики угодий: лес, кустарник, луг, выгон, питомник и другие. Наименьшую площадь отдельных контуров, выделяемых на плане в зависимости от их хозяйственного использования, устанавливают для ценных в хозяйственном отношении угодий и расположенных внутри них участков, не имеющих хозяйственного значения, — 20 мм² на плане.

10. Ограждения с указанием материала (металлические, каменные, глинобитные, растительные и т. д.) и фундаментальные заборы (кирпичные, бетонные); толщина их указывается в том случае, если она вычерчивается в масштабе плана.

11. В контуре леса на плане показывают породу леса, среднюю высоту деревьев, толщину на высоте груди, среднее расстояние между деревьями, выделяются контуры вырубков, гарей, полян и сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса; на план наносятся отдельно стоящие деревья на незастроенных участках городских земель.

12. Участки, занятые фруктовыми садами, обозначаются условными знаками.

13. На контурах с карстовыми участками на плане показывают западинки («воронки»); на оползневых участках выделяют оползни оконтуриванием с отметками верха и низа их, стрелкой указывают направление сдвига «пьяный лес», а рельеф — специальными условными знаками.

14. Рельеф в горизонталях принятого сечения и отметки в характерных точках; условными обозначениями показывают обрывы, промоины и т. д.

В дополнение к условным знакам на планах делают поясняющие надписи, дополняющие характеристику изображенных предметов.

Планы в масштабе 1 : 2000 с высотой сечения рельефа, приведенной в табл. 106, предназначаются для разработки генеральных планов поселков; для составления проектов детальной планировки отдельных районов города (поселка), разбивочных чертежей с привязкой красных линий к опорным зданиям, сооружениям и к геодезическим пунктам; для разработки технических проектов застройки, инженерной подготовки и озеленения территории на застроенных землях города (поселка).

На этих планах должны быть показаны все предметы местности, выражающиеся в масштабе 1 : 2000 и предусмотренные действующими условными знаками:

1. Пункты опорной геодезической сети (триангуляции, трилатерации, полигонометрии и теодолитных ходов, только закрепленные на местности), нанесенные по координатам с их отметками.

2. Городские (поселковые) кварталы с показом всех зданий и сооружений, их этажности, назначения (общественные, жилые, нежилые), материалов стен, номеров домов, границ владений, ситуации внутри квартала (сады, огороды и прочее), архитектурные выступы зданий, занимающие более 0,5 мм на плане.

3. Линии связи (телеграф, телефон) и электропередачи, их мачты и столбы.

4. Пути сообщения с указанием столбов опоры, материала покрытия проездов, тротуаров и прочее.

5. Линии подземных сетей и сооружений с точным показом их выходов (смотровые колодцы) в данном масштабе.

6. Водные сети с находящимися на них сооружениями и застрой-

кой. На плане через каждые 20 см подписывают отметки урезов воды рек и ручьев с указанием даты их определения.

7. Отметки входов в капитальные здания и отметки пикетов из расчета не менее четырех пикетов на 1 дм² плана.

8. Предметы местности на проездах и внутри кварталов, в садах и бульварах (столбы, отдельно стоящие деревья).

9. Контуры всевозможных угодий с характеристикой последних (лес, луг, выгон и т. д.) и выделением контуров ценных в хозяйственном отношении участков, занимающих на плане данного масштаба площадь 20 мм². Контуры участков, не имеющих хозяйственного значения, показывают на плане, если их площадь занимает на плане данного масштаба 50 мм².

10. Участки, занятые лесом с указанием на плане породы и средней высоты деревьев, толщины их на высоте груди, среднего расстояния между деревьями, контуров вырубок, гарей, полян и сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса.

11. Рельеф местности в горизонталях принятого сечения или в отметках (внутриквартальная нивелировка).

В дополнение к условным обозначениям на планах делаются поясняющие надписи, характеризующие изображенные предметы, а также подписи отметок высот, глубин, выемок, ям и другие.

Планы в масштабе 1 : 1000 с высотой сечения рельефа, приведенной в табл. 106, предназначаются для составления генерального плана и рабочих чертежей при проектировании на застроенных и незастроенных территориях малоэтажного и поселкового строительства; для решения проектов вертикальной планировки и проектов озеленения территории; для разработки планов существующих подземных сетей и сооружений; для привязки зданий и сооружений к участкам строительства.

На этих планах должны быть показаны все предметы местности, выражающиеся в масштабе 1 : 1000 и предусмотренные действующими условными знаками.

Планы в масштабе 1 : 500 с высотой сечения рельефа, данной в табл. 106, предназначаются для разработки проектов застройки жилых районов, кварталов, улиц и площадей; для составления исполнительного генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки с густой сетью подземных коммуникаций, промышленных предприятий, для решения вертикальной планировки, составления планов существующих подземных сетей и сооружений к участкам строительства на застроенных территориях города.

На планах в масштабе 1 : 500 наносятся все подробности местности, выражающиеся в этом масштабе и предусмотренные условными знаками.

На планах в масштабах 1 : 1000 и 1 : 500 показываются:

1. Пункты опорной геодезической сети и съемочного основания, нанесенные по координатам и изображенные условными знаками.

2. Все здания и сооружения жилые и нежилые с указанием их этажности, назначения, материала стен, с архитектурными выступами и изломами фасадной линии (если на плане данного масштаба они выражаются более чем 0,5 мм), номера домов, границы владений, ситуации внутри квартала (сады, огороды и прочее), улицы и площади.

3. Ситуации на улицах и площадях, памятники, трамвайные и рельсовые пути, трамвайные и троллейбусные мачты, фонари освеще-

ния, столбы телефонных, телеграфных и электрических проводов, покрытие проезжих частей улиц с указанием материала, линии владений. Канавы, лотки, решетки дождеприемников, водостока, выходы подземных сетей, люки смотровых колодцев, водопровода, канализации, теплосети, водостока, телеграфной сети и другие.

4. Отдельно стоящие деревья и деревья диаметром более 5 см, расположенные на проездах и площадях внутри кварталов и дворов, аллеях, скверах и садах. Фруктовые деревья и участки, занятые яблонниками и виноградниками, показываются условными знаками в границах сада.

5. Контуры и характеристики угодий, лес, кустарник, выгон, луг, питомник и другие; на плане показывают породу леса, среднюю высоту деревьев, толщину на высоте груди; выделяют контуры вырубок, гарей, полян и сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса; наименьшая площадь контуров, изображаемая на планах, для участков, ценных в хозяйственном отношении, — 20 мм², а для участков, не имеющих хозяйственного значения, — 50 мм².

6. Береговые линии морей, озер, рек, ручьев; все сооружения портов, пристаней, причалов и все прочие постоянные сооружения, плотины, шлюзы, дамбы и другие. На плане через каждые 20 см подписываются отметки урезов воды рек, ручьев с указанием даты их определения.

7. Ограждения с указанием материала (металлические, каменные, глинобитные, деревянные, растительные) и фундаментальные заборы с показом толщины их, если она выражается в масштабе плана.

8. На заболоченных участках подписываются их проходимость, глубина и растительный покров, а на карстовых территориях все западни, «воронки», «пьяный лес».

9. Рельеф в горизонталях принятого сечения и отметки в характерных точках. Условными обозначениями наносятся на план обрывы, промоины и т. д.

В дополнение к условным знакам на планах помещают поясняющие надписи.

Способы проектирования

В настоящее время применяются три способа проектирования: графический, аналитический и комбинированный.

Графический способ наиболее простой и распространенный. Он заключается в том, что все необходимые величины берутся с плана графически с помощью чертежных инструментов. Естественно, что точность этих данных будет зависеть от масштаба плана и его соответствия местности. Чем масштаб плана крупнее, тем точность будет больше, и наоборот. При отсутствии значительных деформаций плана точность графического проектирования можно выразить приближенно формулой

$$m = \delta M, \quad (150)$$

где m — ошибка определения положения точки на плане;

δ — ошибка определения длины отрезка на плане;

M — знаменатель численного масштаба плана.

Из формулы (150) видно, что при одной и той же величине δ графическая точность зависит от масштаба плана. Если взять масштаб плана 1 : 2000, то при $\delta = \pm 0,14$ мм будет иметь $m = \pm 0,14 \text{ мм} \times \times 2000 = \pm 0,28$ м, а для плана масштаба 1 : 500 соответственно $m = \pm 0,14 \text{ мм} \times 500 = \pm 0,07$ м.

Значительное влияние на точность проектирования оказывает величина δ , для уменьшения которой требуется большой навык в работе с планом.

Аналитический способ заключается в том, что для каждой точки проекта определяют аналитически координаты x и y . Этот способ наиболее точный, но требует значительных вычислений при разработке проектов и большого числа исходных аналитических опорных пунктов.

Комбинированный способ сочетает в себе элементы аналитического и графического способов. Он широко применяется не только в проектно-планировочных работах, но и при проектировании отдельных инженерных сооружений.

Точность разбивочных работ

Точность определения в натуре размеров отдельных частей сооружения относительно его основных осей зависит, по определению д-ра техн. наук А. Ф. Лютца, от следующих факторов: точности получения размеров отдельных элементов сооружения в процессе проектирования; материала, из которого возводится сооружение; места расположения сооружения; наличия или отсутствия специального оборудования (кранов, трансмиссий), непосредственно связанного с возведением частей сооружения; размера сооружения; порядка и способа производства строительных работ; назначения сооружения, эстетических соображений и других.

Размеры отдельных частей сооружения в процессе проектирования могут быть получены специальными расчетами по готовым нормам и стандартам, по конструктивным соображениям и графически.

При разбивке осей нужно принимать во внимание материал, из которого возводится сооружение. Так, например, наиболее высокая точность требуется при монтаже металлических конструкций, средняя — при возведении сооружений из камня и бетона, и на последнем месте идет точность при разбивке осей земляных сооружений.

Место расположения сооружения имеет большое значение. Так, при разбивке основных осей сооружения, возводимого в городе, требуется большая точность, чем разбивка осей сооружения на свободном участке. Оси сооружения в воде разбиваются менее точно, чем на суше, и т. д.

Точность разбивки осей при наличии специального оборудования (кранов, трансмиссий и т. п.), непосредственно связанного с возведением частей сооружения, должна быть повышенной.

Следует учитывать и размеры сооружения, так как с увеличением их возрастает и относительная точность разбивочных работ. Так, например, допускаемая относительная продольная ошибка взаимного положения опор моста зависит от его длины.

Порядок и способ производства строительных работ также влияют на точность разбивки. Так, например, при крупноблочном строительстве точность разбивочных работ должна соответствовать точности монтажа отдельных деталей сооружения.

Перед выносом проекта на местность следует установить необходимую для этого точность.

Известно, что при разбивке отдельных точек инженерных сооружений требуется точность, определенная техническими условиями.

разбивки. Например, при выносе красных линий застройки допускается ошибка от ± 3 до ± 5 см, при облицовке мраморной плиткой $\pm 0,3$ см, при разбивке осей опор моста от $\pm 1,5$ до $\pm 2,5$ см и т. д. Отсюда следует, что одного общего метода выноса проекта на местность с применением одних и тех же приборов назвать нельзя. При этом необходимо учитывать, что, например, при разбивке осей опор моста указанная ошибка (от $\pm 1,5$ до $\pm 2,5$ см) возникает только относительно положения осей, но не является ошибкой относительно опорной геодезической сети. Точно так же ошибка (от ± 3 до ± 5 см) при разбивке красной линии застройки относится лишь к расположению красной линии в пределах одного квартала

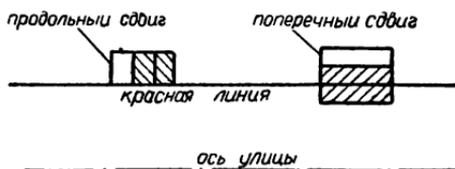


Рис. 77. Продольный и поперечный сдвиги к красной линии

или группы смежных кварталов, но ни в коем случае не является ошибкой относительно опорной геодезической сети. Все эти обстоятельства должны быть учтены при решении вопроса о том, с какой точностью нужно выносить отдельные точки проекта, чтобы обеспечить точность разбивки, предусмотренную СНиП.

Выносят на местность проекты планировки или отдельных инженерных сооружений различными способами, в основе которых лежат разные измерительные действия. Известно, что каждое измерение характеризуется своими случайными и систематическими ошибками. Величины этих ошибок обуславливаются типами геодезических приборов и способами измерений.

При этом ошибки выноса в натуру линий и углов проекта состоят из отдельных ошибок, влияние которых не должно превышать предела, установленного для данного сооружения. Не следует забывать, что имеют значение не только величины установленных предельных ошибок, но и их направления. Так, при разбивке красных линий застройки продольный сдвиг зданий и сооружений вдоль красной линии не имеет большого значения, так как для санитарных разрывов и противопожарных расстояний сдвиги порядка 5 см не существенны.

Иначе обстоит дело со сдвигом в направлении, перпендикулярном к оси красной линии (рис. 77). В этом случае приходится строго выдерживать установленную предельную ошибку. Следовательно, при расчетах и выносе в натуру красных линий застройки и отдельных инженерных сооружений поперечный сдвиг имеет решающее значение, особенно при разбивке отдельных сооружений, расположенных вдоль красной линии. Таким образом, учет ошибок, сопровождающих измерительные действия при выносе проектов на местность, существенно отличается от учета их при создании опорных сетей. Если при создании опорных сетей требуется обеспечить заданную точность положения точки в любом направлении, то при выносе проектов в натуру это расположение пунктов принимает определенное направление.

Само собой разумеется, что работа по выносу проекта в натуру

независимо от ее точности, должна быть всегда организована так, чтобы полностью исключалась всякая возможность грубой ошибки, а для этого необходим полноценный контроль всех вычислительных и измерительных действий.

Осуществление проекта в натуре выполняется путем выноса отдельных точек, прямых и кривых линий определенной длины, углов заданной величины и некоторых других величин. Точность, с которой могут быть произведены эти действия, зависит от методов измерений и применяемых приборов.

Методы построения проектной точки на местности

Наиболее распространенными методами определения точек на местности являются полярный, угловых засечек, прямоугольных координат и линейных засечек.

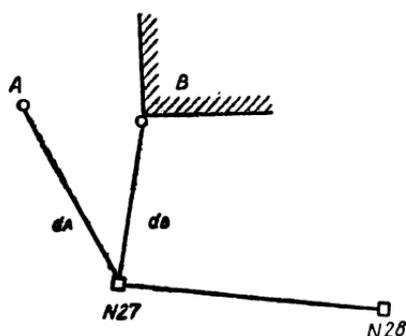


Рис. 78. Определение на местности проектной точки полярным способом

Полярный способ. Определение положения проектной точки в натуре полярным способом заключается в построении на местности проектного угла и проектной длины линии от ближайшего опорного пункта, координаты которого известны. Пусть (рис. 78) требуется определить на местности точки A и B , проектные координаты их соответственно будут X_A, Y_A и X_B, Y_B . Пользуясь этими координатами и координатами ближайшего опорного пункта № 27 (X и Y), вычисляют дирекционные углы и длины линий по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{Y_A - Y}{X_A - X}; \quad \operatorname{tg} \alpha_B = \frac{Y_B - Y}{X_B - X}; \quad (151)$$

$$d_A = (Y_A - Y) \operatorname{cosec} \alpha_A = (X_A - X) \sec \alpha_A; \\ d_B = (Y_B - Y) \operatorname{cosec} \alpha_B = (X_B - X) \sec \alpha_B. \quad (152)$$

Имея величину дирекционного угла и расстояние d , определяют положение точки на местности следующим образом: прибор центрируют над точкой № 27 и ориентируют лимб по линии № 27 — № 28. Для этого устанавливают отсчет по первому верньеру, равный величине дирекционного угла линии № 27 — № 28, и, закрепив алидаду, вращением лимба наводят трубу на точку № 28, после чего и лимб закрепляют.

Затем вращением алидады устанавливают отсчет по тому же верньеру, равный вычисленному значению дирекционного угла α_A , и, отложив по этому направлению полярное расстояние d_A , полу-

чают на местности проектную точку A . Так же находят положение и точки B .

Точность определения положения проектных точек A и B целиком зависит от точности определения положения точки, принятой за исходную, и точности построения направлений и откладывания полярных расстояний d_A и d_B .

Для точки, лежащей посередине хода (в самом слабом месте), можно считать, что после уравнивания средняя квадратическая ошибка опорного пункта, с которого производится разбивка, равна

$$m_1 = \frac{M}{2} = \pm 0,066 \text{ м.} \quad (153)$$

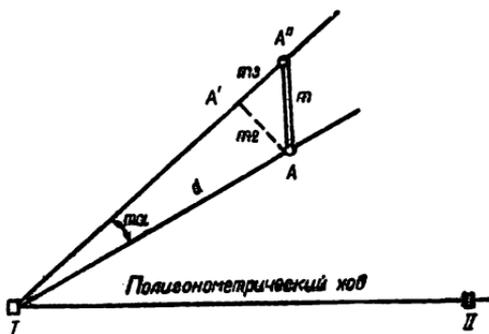


Рис. 79. Графическое изображение погрешности в построении угла при определении положения проектной точки A

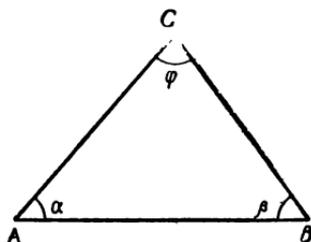


Рис. 80. Определение на местности проектной точки способом угловой засечки

Ошибка m_α в построении угла даст в положении проектной точки A (рис. 79) среднюю квадратическую погрешность

$$m_2 = \frac{m_\alpha}{\rho} d, \quad (154)$$

а ошибка m_d в откладывании проектного расстояния d даст

$$m_3 = m_d = \mu \sqrt{d} \quad (155)$$

Таким образом, полярная средняя квадратическая погрешность положения проектной точки A будет

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}. \quad (156)$$

Полагая $m_\alpha = \pm 15''$, $d = 200$ м и $\mu = 0,001$, будем иметь $m_2 = \pm 0,015$; $m_3 = \pm 0,014$; $m = \pm 0,069$.

Полученный результат показывает, что влияние ошибок исходных опорных пунктов обычно значительно превышает влияние погрешностей собственно разбивки.

Полярный способ разбивки проектных точек в натуре может применяться при разбивке красных линий застройки и отдельных точек сооружения в условиях закрытой местности или внутри застроенной городской территории.

Способ угловых засечек. При наличии развитой полигонометрической сети и других опорных пунктов проектную точку можно вынести на местность засечкой с двух опорных пунктов A и B , используя линию между ними в качестве базиса. Точка C на пересечении линий, проведенных из точки A под углом α и из точки B под углом β (рис. 80), будет искомой.

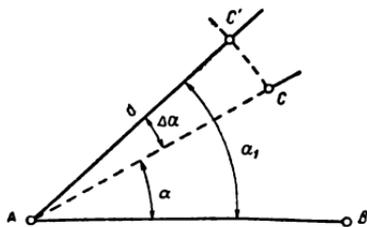


Рис. 81. Построение на местности угла заданной величины

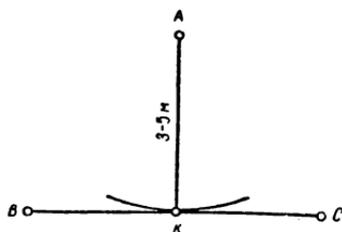


Рис. 82. Определение на местности проектной точки способом перпендикуляров

Этот способ широко применяется на практике в тех случаях, когда линейные измерения от опорных точек до определяемой точки сделать нельзя. Особенно часто он используется при разбивке опор мостов, плотин и других инженерных сооружений и является одним из основных способов разбивки, осуществляемых в настоящее время на практике.

Для того чтобы построить на местности угол $\alpha = 40^\circ 30' 10''$ с точностью до $10''$ теодолитом, точность которого равна $1'$, поступают так: при точке A (рис. 81) откладывают угол, приблизительно равный α , например $\alpha_1 = 40^\circ 30'$, и закрепляют точку C' . Затем измеряют этот угол по способу повторений или по способу круговых приемов с точностью $\pm 10''$; пусть он оказался равным $40^\circ 29' 50''$. Таким образом, ошибка построенного угла α_1 будет

$$\Delta\alpha = 40^\circ 30' 10'' - 40^\circ 29' 50'' = 20''.$$

Очевидно, что к отложенному углу следует прибавить величину $20''$, чтобы получить заданное его значение. Так как точность минутного теодолита для этого недостаточна, угловые измерения заменяют линейными, для чего сначала измеряют длину AC' . Пусть $AC' = 100$ м, тогда отрезок CC' будет

$$CC' = AC' \operatorname{tg} \Delta\alpha = \frac{AC}{\rho} \Delta\alpha,$$

т. е. $CC' = 9,7$ мм.

Найденную величину CC' откладываем от точки C' по перпендикуляру к AC' . Полученная точка C будет искомой.

Способ прямоугольных координат. Этот способ применяется в тех случаях, когда отдельные точки сооружений или контуры зданий определены относительно линий теодолитных или полигонометрических ходов (или других линий) с помощью двух отрезков, откладываемых один по направлению линии хода, а второй — по перпендикулярному к этой линии направлению. Точность нанесения точки на план будет тем выше, чем лучше условия измерения длин линии на местности и чем меньше длина перпендикулярного отрезка. Большое значение при этом имеет способ построения прямого угла. При съемке проездов, фасадов и внутриквартальной прямой угол при длине перпендикуляра 3—5 м строят рулеткой простым геометрическим приемом, основанным на том, что окружность, описанная из точки A , должна касаться линии BC в точке K , являющейся основанием перпендикуляра (при этом отсчет по рулетке будет наименьшим) (рис. 82). Измерение расстояний BK и AK вполне достаточно для определения положения точки на плане. Если длина перпендикуляра AK больше 5 м, то для построения прямого угла при точке K применяется экер, если длина перпендикуляра больше 25 м, прямой угол строят теодолитом.

Для решения обратной задачи, т. е. для выноса точки проекта A с плана на местность, необходимо иметь длины отрезков BK и AK , взятые графически с плана, либо полученные аналитически. Точки проекта на местность выносят с точностью, предусмотренной для съемочных работ. Если на местности разбита строительная сетка, т. е. уже построены прямые углы, то способ прямоугольных координат имеет большое преимущество перед другими способами разбивочных работ. В этом случае уже не требуется вычислять дирекционные углы и расстояния для выноса точки проекта на местность, а все дело сводится к вычислению разностей координат X_A и Y_A данной точки A и координат углов строительной сетки X и Y . Пусть, например, требуется вынести в натуру отдельные точки сооружения A и B (рис. 83), координаты которых равны $X_A = 325,4$; $Y_A = 480,2$; $X_B = 485$; $Y_B = 520,4$.

Имея строительную квадратную (или прямоугольную) сетку на местности со сторонами, равными 200 м, находят разности абсцисс точек A и B и ближайших точек строительной сетки: $\Delta X_A = 325,4 - 200 = 125,4$; $\Delta X_B = 485 - 400 = 85$. Так же определяют разности ординат $\Delta Y_A = 480,2 - 400 = 80,2$ $\Delta Y_B = 520,4 - 400 = 120,4$. Затем, установив прибор в точке M (вершина квадрата), ориентируют лимб по линии сетки и измеряют стальной лентой или рулеткой со стороны оси от точки M расстояние ΔX_A и от точки K — соответственно расстояние ΔX_B ; получают точки m и n , которые закрепляют кольями с гвоздями. Далее прибор переносят в точку m и, ориентировав его по линии Mm , строят прямой угол; по найденному направлению mA откладывают $\Delta Y = 80,2$ м и получают точку проекта A . Затем переносят прибор в точку n и так же определяют точку проекта B .

В длины отрезков ΔX и ΔY вводятся все поправки за переход от линий плана к линиям местности. Практически точность определения положения точки по способу прямоугольных координат, как и в способах полярном и засечек, зависит, во-первых, от ошибок, полученных при определении опорных пунктов, и, во-вторых, от ошибок, сопровождающих непосредственное определение проектной точки на местности.

Способ линейных засечек. Этот способ дает хорошие результа-

ты определения точек на местности, если длины линий не превышают 20 м и угол между ними составляет не менее 40° и не более 140° .

Чтобы вынести точку проекта на местность способом линейных засечек, необходимо по плану найти расстояния a и b от опорных геодезических пунктов или опорных зданий и сооружений до точки, подлежащей выносу в натуру (рис. 84). Затем, пользуясь этими расстояниями (a и b), прочерчивают на местности дуги, пред-

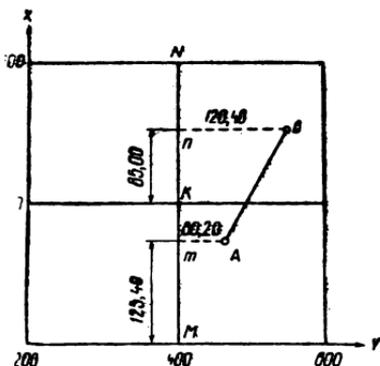


Рис. 83. Определение на местности проектной точки от строительной сетки

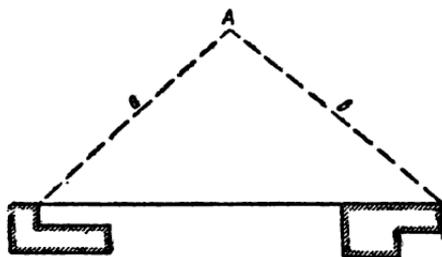


Рис. 84. Определение на местности проектной точки методом линейных засечек

варительно приложив один конец ленты или рулетки к соответствующим опорным точкам на местности, используемым в качестве исходных. Пересечение дуг радиусами a и b определяет положение искомой точки А.

Вынос в натуру проектных отметок и красных линий

Проектные отметки на местности необходимы для выноса в натуру проекта вертикальной планировки, которая сводится в конечном счете к определению на местности отдельных точек проекта и их отметок (см. раздел I, п. 3).

План красных линий — часть проекта детальной планировки города, в котором устанавливают красные линии улиц (проездов), площадей с их вертикальными отметками с учетом существующей опорной застройки, инженерного оборудования и благоустройства. Планом красных линий устанавливается сетка кварталов, улиц (проездов), а также определяются размеры площадей города. На основании плана красных линий выдаются координаты красных линий и отметки для застраиваемых в городе участков.

При разработке проектов детальной планировки и застройки города составляются разбивочные чертежи с указанием привязок красных линий к опорным зданиям и сооружениям.

Для городских улиц и площадей (рис. 85) с координатами и красными отметками по углам кварталов и в местах перегибов со-

ставляют разбивочные чертежи, которые и являются геодезическими проектами выноса красных линий в натуру.

Разбивочный чертеж детального проекта планировки (рис. 86) разрабатывается на топографическом плане масштабов 1:1000 или 1:2000. Исходными аналитическими данными служат координаты углов опорных зданий и сооружений. Опорными зданиями и соору-

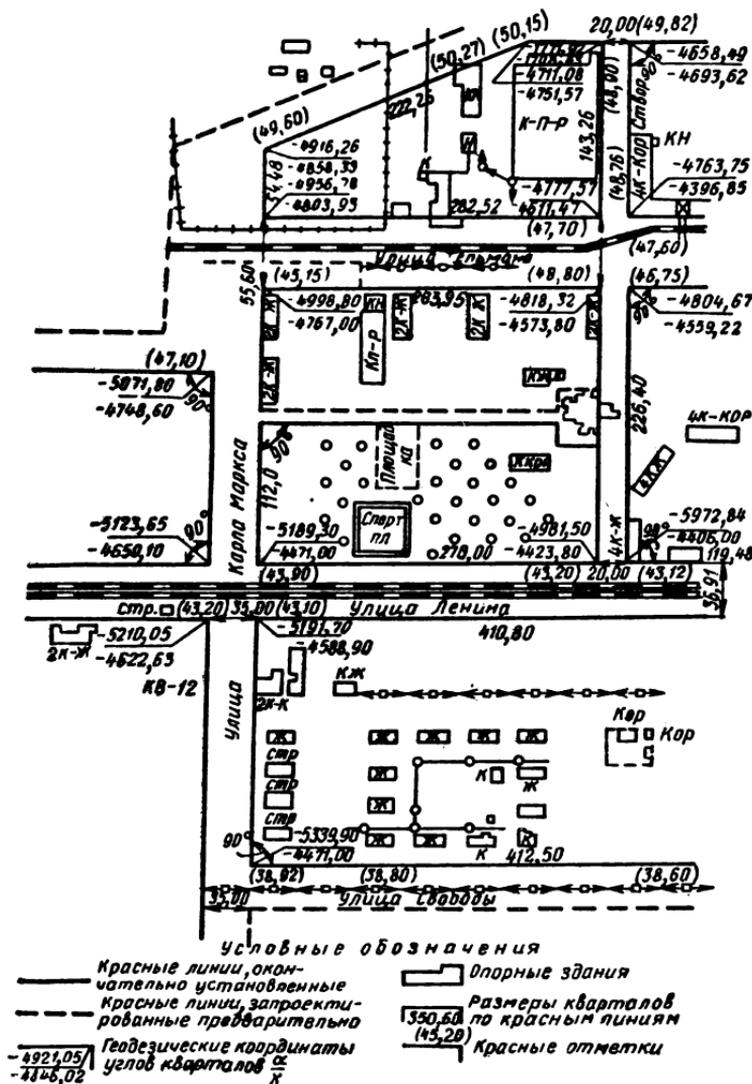


Рис. 85. Разбивочный чертеж с привязкой к красным линиям

Эти направления служат основой для определения осей всех остальных проездов и улиц. Иногда для особо сложных, несимметричных профилей улиц или проездов разбивают оси проезжей части.

В незастроенных частях городских территорий обычно используют координаты, взятые с плана графически, для чего на плане фиксируют основное (магистральное) направление, в начальной и конечной точках которого графически получают координаты. По определенным таким образом координатам вычисляют дирекционный угол и расстояние между начальной и конечной точками основного направления. После этого графически с плана берут длины линий между точками пересечения основной магистрали (оси) с осями других, пересекающих ее, улиц и проездов. Полученные отрезки линий по основной магистрали суммируют и сравнивают с длиной этой же магистрали, вычисленной по координатам. Невязку распределяют пропорционально длинам линий. Таким образом, получается необходимая точность в определении промежуточных точек, которые используют для дальнейшей разбивки проектных данных. Разбивочные чертежи сопровождаются пояснительными записками и вычислениями.

Разбивочные чертежи детального проекта застройки разрабатываются на топографическом плане масштаба 1 : 500 или 1 : 1000, на который наносят по координатам данные разбивочных чертежей детального проекта планировки. Нанесение на планы масштаба 1 : 500 или 1 : 1000 данных разбивки детального проекта планировки дает возможность проектировщику разрабатывать проект застройки с учетом решений, принятых в детальном проекте планировки.

По окончании графических проектных работ на плане приступают к определению координат углов красных линий кварталов с учетом запроектированных длин кварталов, ширины улиц и проездов. Исходными данными для разбивочного чертежа детального проекта застройки служат координаты точек осей улиц и проездов, полученные при составлении разбивочных чертежей детального проекта планировки, и координаты опорных зданий.

Увязка внутриквартальной застройки начинается с красных линий квартала: суммируют проектные длины фасадов зданий и величины разрывов между ними, взятые графически с плана. Подсчитанную таким образом общую длину сравнивают с длиной красной линии квартала, вычисленной по координатам углов квартала. Полученную невязку распределяют на разрывы пропорционально их длинам. Примерно таким же образом увязывают размеры застройки, разрывы между ними и проезды внутриквартальной территории.

На разбивочном чертеже детального проекта застройки показывают координаты угловых точек красных линий, а все увязанные размеры деталей проекта выписывают с точностью до 1 см.

Методы расчета красных линий

План красных линий, как указывалось выше, разрабатывается на топографических планах масштабов 1 : 2000—1 : 500 и является документом, на основе которого рассчитываются красные линии.

При расчете координат точек красных линий обычно применяется один из трех методов: графический; аналитический (определение координат по данным детальных съемок); комбинированный (сочетание графического и аналитического).

Графический метод определения координат. Этот метод заключается в том, что положение точек красных линий на плане относительно осей координат x и y определяется графически с помощью циркуля и масштабной линейки. От точности полученных координат точек на планах того или иного масштаба будет зависеть и точность определения точек красных линий на местности. Так, например, до получения графически с плана координат точки A (рис. 88) необходимо измерить циркулем расстояния af и ak . Координаты точки A вычисляются по формулам

$$X_a = R + af; \quad Y_a = P + ak, \quad (157)$$

где R и P — координаты юго-западного угла квадрата сетки координат, в котором находится точка A .

Точность определения точки A будет зависеть от точности измерения отрезков af и ak , на которую влияют инструментальные ошибки, деформация бумаги и другие.

Для уменьшения влияния этих ошибок необходимо измерить на плане еще и отрезки fb и kd , дополняющие af и ak до размеров квадрата координатной сетки плана. В этом случае координаты точки A вычисляются по формулам

$$X_A = R + \frac{Q}{af + fb} af;$$

$$Y_A = P + \frac{Q}{ak + kd} ak,$$

где Q — теоретический размер стороны квадрата координатной сетки.

При таком определении координат точек ошибка за деформацию бумаги будет исключена.

Пример. Пусть для точки A (см. рис. 88) имеем $R=300$, $P=200$, $Q=100$, а отрезки, измеренные циркулем по плану, равны $af=31,2$, $ak=71,2$, $fb=69,6$ и $kd=28$.

Подставив эти значения в формулы для получения координат точки A , найдем

$$X_A = 300 + \frac{100}{31,2 + 69,6} \cdot 31,2 = 330,95;$$

$$Y_A = 200 + \frac{100}{71,2 + 28} \cdot 71,2 = 271,77.$$

При расчете красных линий проезда, проходящего через опорную застройку, определять графически координаты углов опорных

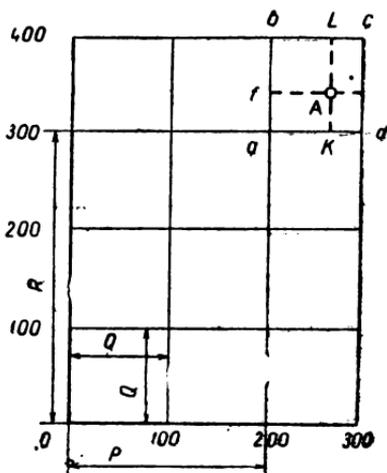


Рис. 88. Графическое определение координат точек

зданий не рекомендуется, так как при выносе красной линии в натуру она уже не совпадает на местности с углами опорных зданий.

Графический метод получения координат точек и линий применяется при предварительном расчете красных линий и подготовительных работах к строительству.

Аналитический метод определения координат по данным детальной съемки. Сущность этого метода состоит в том, что координаты углов зданий вычисляют по материалам детальных съемок (съемка фасадов в масштабах 1:500—1:2000) или на основе специально проложенных для этого теодолитных ходов.

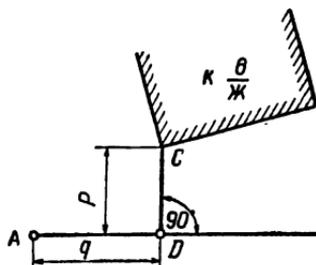


Рис. 89. Определение координат искомой точки по данным съемки, выполненной способом перпендикуляров

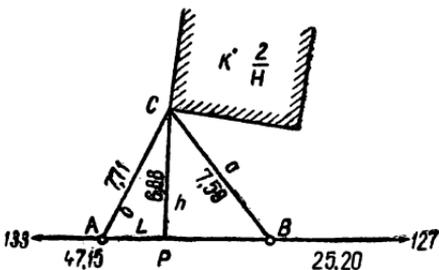


Рис. 90. Определение координат искомой точки по данным съемки, выполненной способом засечек

Аналитическое вычисление координат и длин красных линий обеспечивает необходимую точность. При аналитическом методе координаты углов опорных зданий получают тремя способами: перпендикуляров, засечек и полярным.

Способ перпендикуляров. Для определения координат угла C (рис. 89) опорного здания промеряют по перпендикуляру расстояния от съемочной линии AB до угла опорного здания и от поворотной точки A до основания перпендикуляра.

Пусть даны для получения координат точки C расстояния $AD = q = 23,2$ м; $DC = p = 2,73$ м; координаты точки A будут $X_A = +372,84$, $Y_A = +729,43$; дирекционный угол $\alpha_{AB} = 89^\circ 33'$. Координаты точки C вычисляют по схеме, данной в табл. 107.

Т а б л и ц а 107

Точки	Дирекционные углы	sin	cos	Длины сторон, м	Приращения м,		Координаты, м	
					Δx	Δy	X	Y
A								
D	$89^\circ 33'$	0,99999	0,00785	23,20	+0,18	+23,2	+372,84	+729,43
C	$359^\circ 33'$	0,00785	0,99999	2,73	+2,73	-0,02	+375,57	+752,61

Способ засечек. Когда съемочная линия проходит от угла опорного здания на расстоянии более 3 м, его определяют с этой линии двумя примерно равными линейными промерами так, чтобы угол при точке C (рис. 90) был не менее 50° и не более 90° . Для контроля измеряют также и длину перпендикуляра. Для вычисления координат точки C необходимо найти углы треугольника ABC по одной из следующих формул:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A,$$

откуда

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad (158)$$

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p-c)(p-b)}{p(p-a)}}, \quad \text{где } p = \frac{a+b+c}{2}; \quad (159)$$

$$k = \frac{b^2 - a^2}{c}; \quad x = \frac{1}{2}(c+k); \quad h^2 = b^2 - x^2; \quad (160)$$

$$\sin A = \frac{h}{b}.$$

После получения угла A углы B и C легко находятся по формуле синусов. Затем вычисляют координаты угла опорного здания C по координатам пунктов съемочного хода № 133 и 127 и дирекционному углу линии 133—127.

Полярный способ. Этот способ применяется в тех случаях, когда теодолитный ход проходит далее 15 м от угла опорного здания. Тогда координаты точки C (рис. 91) находят измерением угла ABC или DBC теодолитом и расстояния BC — лентой или стальной рулеткой.

Комбинированный метод расчета координат точек красных линий. Данный метод наиболее часто применяется на практике и сочетает в себе элементы графического и аналитического методов. Так, например, нередки случаи, когда красные линии проездов, проектируемых на незастроенных территориях города, являются продолжением красных линий существующей застройки или расположены на незастроенных городских территориях. В этих случаях обычно используют координаты, взятые с плана графически. По определенным таким образом координатам вычисляют дирекционные углы и расстояния между начальными и конечными точками красных линий.

Примеры расчета красных линий. Рассмотрим случаи, часто встречающиеся при расчете красных линий:

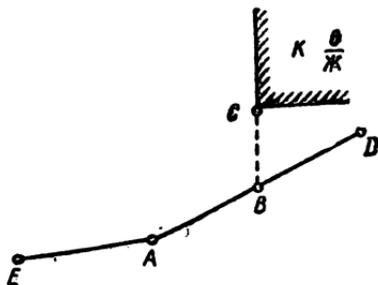


Рис. 91. Определение координат искомой точки по данным съемки, выполненной полярным способом

1. Даны координаты точек $A (X_A, Y_A)$ и $B (X_B, Y_B)$. Найти расстояние между ними S и дирекционный угол α линии AB .

Вычисления ведут по следующим формулам и по табл. 107:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x};$$

$$S = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}.$$

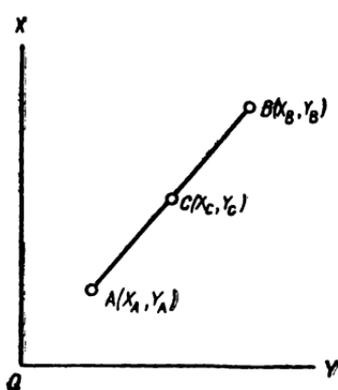


Рис. 92. Определение координат точки, расположенной в середине отрезка линии

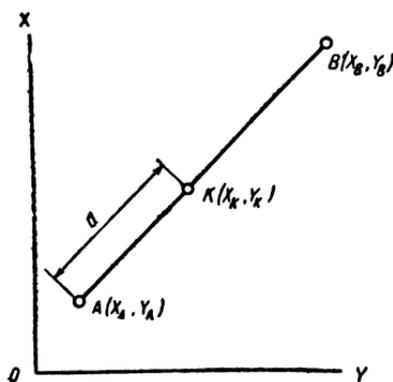


Рис. 93. Определение координат точки, расположенной на расстоянии d от точки A

2. Даны координаты точек $A (X_A, Y_A)$ и $B (X_B, Y_B)$ (рис. 92). Найти координаты точки $C (X_C, Y_C)$, расположенной на середине линии AB .

Координаты точки $C (X_C, Y_C)$ определяют из выражений

$$X_C = \frac{X_A + X_B}{2}; \quad Y_C = \frac{Y_A + Y_B}{2}.$$

3. Найти координаты точки K , лежащей на линии AB на расстоянии d от точки A (рис. 93).

Координаты точки K вычисляют по формулам.

$$X_K = X_A + d \cos \alpha;$$

$$Y_K = Y_A + d \sin \alpha,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

4. Определить координаты точки пересечения M продолжений линий AB и CD (рис. 94).

Для вычисления дирекционных углов и длин линий между точками A, B и C, D используют формулы 1-го примера

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; S_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\cos \alpha_{AB}};$$

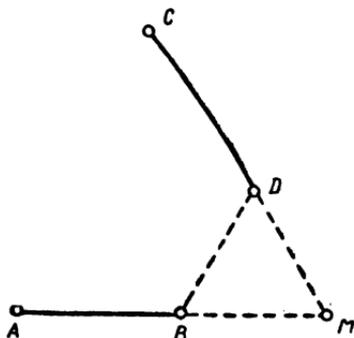
$$\operatorname{tg} \alpha_{CD} = \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C}; S_{CD} = \frac{Y_D - Y_C}{\sin \alpha_{CD}} = \frac{X_D - X_C}{\cos \alpha_{CD}}.$$

Аналогично находят дирекционный угол и длину линии BD .

$$\operatorname{tg} \alpha_{BD} = \frac{Y_D - Y_B}{X_D - X_B}; S_{BD} =$$

$$= \frac{Y_D - Y_B}{\sin \alpha_{BD}} = \frac{X_D - X_B}{\cos \alpha_{BD}}.$$

Рис. 94. Определение координат точки пересечения M продолжений линий AB и CD



По дирекционным углам $\alpha_{AB}, \alpha_{CD}, \alpha_{BD}$ вычисляют углы треугольника MBD , после чего находят координаты точки M .

Рассмотренную задачу можно решить также по формулам Гаусса

$$X_M - X_B = \frac{Y_D - Y_B - (X_D - X_B) \operatorname{tg} \alpha_D}{\operatorname{tg} \alpha_B - \operatorname{tg} \alpha_D};$$

$$Y_M - Y_B = (X_M - X_B) \operatorname{tg} \alpha_B = (X_M - X_D) \operatorname{tg} \alpha_D.$$

5. Даны координаты точек A, B и C (см. рис. 92). Требуется определить, находятся ли они в створе.

Если эти три точки будут находиться в створе, то дирекционный угол линии AB должен равняться дирекционному углу линии CB . Для контроля определения $\operatorname{tg} \alpha$ вычисляют значения $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$, по которым дважды находят длину S .

Находятся ли точки A, B и C в створе, иногда определяют по формуле

$$\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}.$$

откуда

$$(Y_C - Y_B)(X_B - X_A) = (Y_B - Y_A)(X_C - X_B)$$

или

$$Y_A(X_C - X_B) + Y_C(X_B - X_A) + Y_B(X_A - X_C) = 0.$$

6. Даны координаты точек A, B, C (см. рис. 95) и дирекционный угол линии CM . Найти координаты точки M — пересечения прямых AM и CM . Вычисления ведутся по формулам 4-го примера.

Находим дирекционные углы линий AB и AC . По этим данным и дирекционному углу линии CM вычисляем углы в треугольнике ACM .

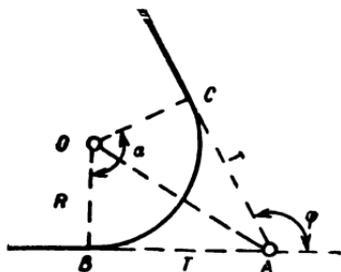
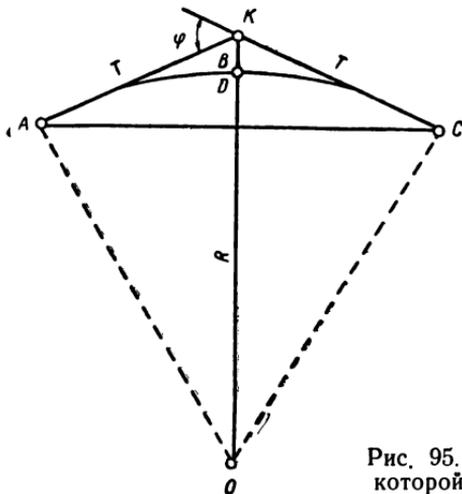


Рис. 96. Определение координат X_O и Y_O точки O (центра кривой)

Рис. 95. Вписывание кривой, радиус которой R , в направления KC и AK

Кроме того, в этом треугольнике известна сторона AC . Решая этот треугольник (см. пример 4), найдем сторону AM , а затем найдем и координаты точки M по формулам

$$X_M = X_A + AM \cos \alpha_{AB};$$

$$Y_M = Y_A + AM \sin \alpha_{AB}.$$

7. Даны два направления KC и AK . Требуется вписать круговую кривую радиусом R . На рис. 95 показаны биссектриса K , обозначенная буквой B , и тангенсы AK и CK , равные T .

Для определения главных точек A, D и C (начало, середина и конец кривой) находят по специальным таблицам величины

$$T = AK = CK = R \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2}, \quad (161)$$

$$B = KD = R \left(\sec \frac{\Phi}{2} - 1 \right) \quad (162)$$

и длину кривой

$$S = ADC = \pi R \frac{\Phi}{180}. \quad (163)$$

Угол между направлениями AK и CK измеряется в натуре либо вычисляется по заданным координатам точек A , C и K .

Пример: $R=250$ м; $\varphi=100^{\circ}16'$.

По табл. найдем $T=AK=CK=22,46$; $B=KD=1,01$, $S=22,4$.

Если от вершины угла K (см. рис. 95) отложить по направлению линий KA и KC длины тангенсов T , то получим точки начала и конца кривой, а отложив лентой по биссектрисе угла AKC величину $KD=B$, получим середину кривой.

Таким образом находятся главные точки кривой.

8. Даны координаты точки A (X_A, Y_A), дирекционный угол AB и радиус кривой (рис. 96). Найти координаты X_O и Y_O центра O этой кривой.

Известно, что

$$AB = T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (164)$$

а поэтому

$$X_O = X_A + T \cos \alpha_{AK} + R \cos \alpha_{BO}; \quad (165)$$

$$Y_O = Y_A + T \sin \alpha_{AK} + R \sin \alpha_{BO}, \quad (166)$$

где

$$\alpha_{BO} = \alpha_{AK} - 90^{\circ}.$$

Пример. Пусть $X_A = +1240,17$ м, $Y_A = -11521,7$ м, дирекционный угол линии $AB = 135^{\circ}56,4'$; $\alpha = 10^{\circ}16'$; $R = 250$ м. Тогда $T = 22,46$ м и координаты центра находятся по схеме, приведенной в табл. 108.

Т а б л и ц а 108

Точки	Дирекционный угол	sin	cos	Длины сторон, м	Приращения, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	X	Y
A							+1240,17	-1521,7
B	$135^{\circ}56,4'$	0,69542	0,71860	22,46	-16,14	+15,62	+1224,03	-1506,03
O	$225^{\circ}56,4'$	0,71860	0,69542	250	-173,86	-179,65	+1050,17	-1685,73

9. Даны координаты точки A (X_A, Y_A) (рис. 97), дирекционный угол линии AK , угол α , радиус дуги HMB и длины дуг BM и MN . Определить координаты точек M и N углов строящегося дома.

Решая по схеме 8-го примера, находим координаты центра O

$$X_O = X_A + AB \cos \alpha_{AK} + R \cos \alpha_{BO};$$

$$Y_O = Y_A + AB \sin \alpha_{AK} + R \sin \alpha_{BO}.$$

Вычисляем углы β и γ по формулам

$$\beta = \frac{BM \cdot 180^{\circ}}{\pi R}; \quad \gamma = \frac{MN \cdot 180^{\circ}}{\pi R}.$$

По этим углам определяем дирекционные углы отрезков OM и OH и получаем координаты точек M и H :

$$X_M = X_O + \Delta x_{OM}; Y_M = Y_O + \Delta y_{OM};$$

$$X_H = X_O + \Delta x_{OH}; Y_H = Y_O + \Delta y_{OH}.$$

Возьмем значения координат центра окружности O , дирекционного угла AK , радиуса R и угла α из предыдущего примера. Пусть дуга $BM = 15,2$ м, а дуга $MH = 20$ м. Имеем

$$\beta = \frac{15,2 \cdot 180^\circ}{250} = 3^\circ 29';$$

$$\gamma = \frac{20 \cdot 180^\circ}{250} = 4^\circ 25'.$$

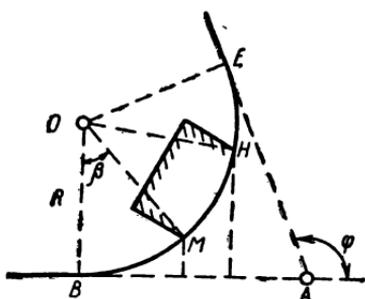


Рис. 97. Определение координат точек M и H строящегося здания

Дальнейшие вычисления приведены в табл. 109.

Этот пример можно сделать с помощью определения абсцисс BC и BD и ординат CM и DH по формулам

$$BC = R \sin \beta; \quad BD = R \sin (\beta + \gamma);$$

$$CM = R (1 - \cos \beta); \quad DH = R (1 - \cos \gamma);$$

$$AC = AB - BC; \quad AD = AB - BD.$$

Таблица 109

Точки	Углы	Дирекционные углы	sin	cos	Длина створ. пог. м	Приращения, м		Координаты, м	
						Δx	Δy	X	Y
K		315°56,4'							
B	90°00'	225°56,4'							
O	3°29'	49°25,4'	0,75954	0,65047	250,00	+162,62	+189,88	+1050,17	-1685,73
M								+1212,79	-1495,85
B		225°51,4'						+1050,17	-1685,73
O	7°54'	53°50,4'	0,80737	0,59004	250	+147,51	+201,84	+1197,68	-1483,89
H									

10. Направления AC и CB связаны круговой кривой, радиус которой R , координаты начала кривой A (X_A, Y_A), длина кривой S

и дирекционный угол линии AC даны (рис. 98). Определить координаты конца кривой B (X_B, Y_B).

Центральный угол вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{180^\circ S}{\pi R} \quad (167)$$

после чего получают

$$X_O = X_A + R \cos \alpha_I; \quad Y_O = Y_A + R \sin \alpha_I$$

и

$$X_B = X_O + R \cos \alpha_{II}; \quad Y_B = Y_O + R \sin \alpha_{II};$$

$$\alpha_I = \alpha + 90^\circ; \quad \alpha_{II} = \alpha_I + 180^\circ + \beta.$$

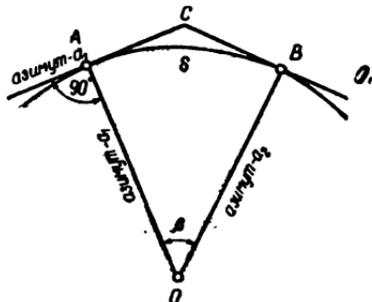


Рис. 98. Определение координат точки B (конца кривой)

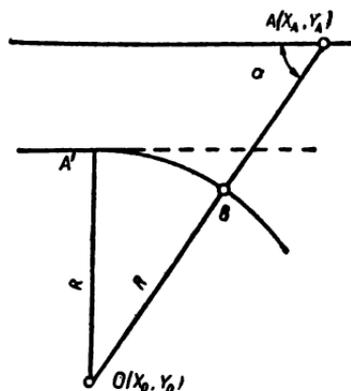


Рис. 99. Определение кратчайшего расстояния до кривой от центра ее с известными координатами

11. Даны круговая кривая и вне ее точка A (рис. 99). Найти кратчайшее расстояние от точки A до кривой, если известны координаты центра кривой X_O и Y_O .

Кратчайшим расстоянием AB будет нормаль к кривой, а потому дирекционный угол вычисляется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{AC} = \frac{Y_O - Y_A}{X_O - X_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{и} \quad AB = OA - R,$$

где

$$OA = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{AO}} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{AO}}.$$

Вычисления ведутся по схеме примера I.

12. Определить радиус кривой по данной хорде $2l$ и стрелке h (рис. 100).

Из теоремы Пифагора следует

$$(R - h)^2 + l^2 = R^2$$

или

$$R^2 - 2Rh + h^2 + l^2 = R^2,$$

откуда

$$R = \frac{h^2 + l^2}{2}.$$

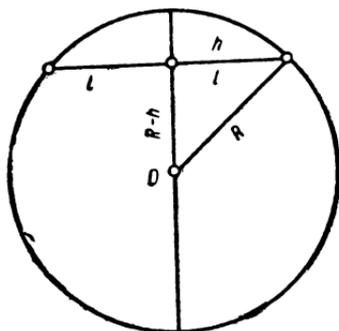


Рис. 100. Определение радиуса кривой

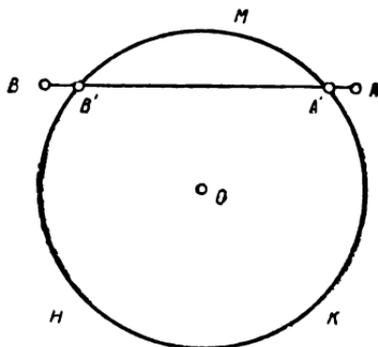


Рис. 101. Определение координат точек пересечения данной кривой с прямой

13. Найти координаты точек пересечения A' и B' данной кривой с прямой (рис. 101).

Известно, что уравнение прямой, проходящей через две заданные точки A и B , имеет следующий вид:

$$\frac{Y - Y_B}{Y_B - Y_A} = \frac{X - X_B}{X_B - X_A}$$

или

$$(Y - Y_B) = \operatorname{tg} \alpha_{AB} (X - X_B),$$

а уравнение окружности радиусом R с центром в точке O будет

$$(X - X_O)^2 + (Y - Y_O)^2 = R^2. \quad (168)$$

Для облегчения вычислений следует перенести начало координат в центр окружности, т. е. сделать $X_O = 0$ и $Y_O = 0$.

Например, имеем $X_A = +1413,52$ м; $Y_A = 1517,4$ м; $X_B = +1423,52$ м; $Y_B = 1487,4$ м; $R = 60$ м; $X_O = +1453,52$ м; $Y_O = 1537,4$ м.

Перенося начало координат в точку O , получим $X_A = -40$ м; $Y_A = +20$ м; $X_B = -30$ м; $Y_B = +50$ м; $X_O = 0$; $Y_O = 0$.
Уравнение прямой AB будет

$$Y - 50 = \frac{+30}{+10}(X + 30) \text{ или } Y = 3X + 140,$$

а уравнение окружности

$$Y^2 + X^2 = 60^2.$$

Подставляя в него значение Y , находим

$$X^2 + 9X^2 + 140^2 + 6 \cdot 140X = 3600;$$

$$X^2 + 84X + 1600 = 0;$$

откуда $X = -42 \pm 12,8$, т. е. окружность пересекается прямой в двух точках с координатами: $X_1 = -29,2$ м, $Y_1 = +42,3$ м и $X_2 = -54,8$ м, $Y_2 = -24,4$ м.

Вынос красных линий на местность

Подготовительные работы для выноса красных линий на местности. До выноса красных линий на местность необходимо проверить их соответствие утвержденному проекту планировки. Если проект детальной планировки утвержден более чем год назад, то красные линии на плане должны быть вторично подтверждены, так как за прошедший период могли быть случаи изменения красных линий в связи с разработкой проектов детальной планировки смежных районов. Особое внимание должно быть обращено на проверку аналитических расчетов.

Не разрешается выносить красную линию на местность по координатам опорной застройки, взятым с плана графически. Координаты углов опорных сооружений для этого должны быть определены от пунктов полигонометрии, теодолитных ходов или по материалам съемки (абрисам). В условиях Москвы красные линии наносятся на плане в масштабе $1 : 500$.

После аналитического расчета красных линий геодезические данные наносят на план и контролируют их. Затем выясняют сохранность пунктов плановой геодезической основы, от которых предполагается вынести красную линию на местность.

Состояние пунктов триангуляции и полигонометрии уточняют на основании материалов соответствующих полевых обследований, показываемых на схемах и в специальных картотеках.

Если в районе предстоящей разбивки красной линии геодезического обоснования нет или имеющиеся в натуре пункты не могут обеспечить вынос красной линии, составляется проект сгущения существующей геодезической опоры. При этом в зависимости от требуемой точности положение полигонометрических ходов может быть заменено проложением теодолитных ходов.

Длины теодолитных ходов между пунктами геодезического обоснования не должны превышать во всех случаях для одиночных ходов 800 м на застроенных и 1200 м на незастроенных территориях. Для системы ходов удаленность узлов от пунктов полигонометрии

Графический расчет красных линий. Пусть проектом задана на плане красная линия AB , которая, как видно из рис. 102, пересекает существующую застройку.

В этом случае красная линия может быть построена на местности на основании промеров a, b, c, d , взятых с плана графически от углов зданий, а также засечками l, m, p, q .

Если построить по этим данным на местности красную линию, то она будет ломаной. Точность ее построения будет зависеть от масштаба плана, его деформации и приближенно может быть подсчитана по формуле

$$\Delta l = \delta M, \quad (169)$$

где δ — величина, равная уколу циркуля на плане, численно принимаемая 0,2 мм;

M — знаменатель масштаба плана.

Красные линии обычно наносят на планы масштаба 1 : 500, особенно это относится к строительству в городской черте, а для временного строительства и проектных соображений — на планы масштаба 1 : 2000.

Применяя приближенную формулу для этих двух случаев, получим

$$\text{для масштаба } 1:500 \quad \Delta l = 500 \cdot 0,2 \text{ мм} = \pm 0,1 \text{ м};$$

$$\text{» » } 1:2000 \quad \Delta l = 2000 \cdot 0,2 \text{ мм} = \pm 0,4 \text{ м}.$$

Найденные величины должны быть значительно увеличены, потому что в них не учтены многие факторы, действующие при построении плана.

Это прежде всего относится к постройкам временного характера: деревянным сараям, пристройкам, заборам и другим. Поэтому основным условием для использования данного способа является наличие на плане капитальных сооружений, от которых возможно построить красную линию.

Наличие на плане строений только с нечеткими контурами заставляет отказаться от данного способа, потому что он может искажить положение красной линии настолько, что размещение любого объекта на местности будет ошибочным.

При выносе красной линии на местность, особенно тогда, когда уже имеются отдельные надежные сооружения и требуется разместить новые между ними или в пределах квартала новой застройки, задается точность 3—10 см и графический способ не применяется. Этот способ нельзя использовать и на незастроенных территориях города. В этом случае пользуются пунктами полигонометрии и теодолитных ходов.

Графический способ является наиболее простым, но в практике его применяют довольно редко, ввиду небольшой точности.

При предварительном размещении проекта планировки часто бывает необходимо вынести в натуру красную линию. Это может потребоваться при подготовительных работах к строительству, при установлении строений, подлежащих сносу, при строительстве временных вспомогательных сооружений, когда не нужна высокая точ-

ность размещения. Все эти работы с успехом выполняются графическим способом. Кроме того указанный способ применяют при выносе на местность пунктов новой геодезической опоры и при ее гущении.

Аналитический расчет красных линий. Наиболее точный способ выноса красных линий на местность основан на аналитическом расчете. Такой расчет ведется от имеющихся в заданном районе пунктов опорной геодезической сети.

Так, пользуясь пунктами 5, 7, 15, 14 можно вынести красную линию AB (см. рис. 102) на местность. В самом деле, если получить координаты поворотных точек A_1, A_2, A_3 и промежуточной точки A_4 , как створной на линии $A_3 15$, то, очевидно, задаваясь углами $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ и вычисленными для этих углов промерами b_1, b_2, b_3, b_4 , можно на местности наметить точки M_1, M_2, M_3, M_4 на красной линии.

Если красная линия задана дирекционным углом γ и координатами X_N и Y_N одной из ее точек, например точки поворота, то беря графически промеры NA, NA_1, NA_2, \dots , можно вычислить координаты точек A, A_1, A_2, \dots по формулам

$$X_A = NM_1 \cos \gamma + X_N; \quad Y_A = NM_1 \sin \gamma + Y_N;$$

$$X_{A_1} = NM_4 \cos \gamma + X_N; \quad Y_{A_1} = NM_4 \sin \gamma + Y_N,$$

и, имея координаты поворотных точек A_1, A_2, A_3 и промежуточной A_4 , найдем дирекционные углы и промеры из выражений

$$\operatorname{tg} \alpha_{A_1-M_1} = \frac{Y_{M_1} - Y_{A_1}}{X_{M_1} - X_{A_1}}; \quad b_1 = \frac{Y_{M_1} - Y_{A_1}}{\sin \alpha_{A_1-M_1}} = \frac{X_{M_1} - X_{A_1}}{\cos \alpha_{A_1-M_1}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{A_1-M_4} = \frac{Y_{M_4} - Y_{A_1}}{X_{M_4} - X_{A_1}}; \quad b_4 = \frac{Y_{M_4} - Y_{A_1}}{\sin \alpha_{A_1-M_4}} = \frac{X_{M_4} - X_{A_1}}{\cos \alpha_{A_1-M_4}}.$$

После чего, зная дирекционные углы линий AA_1 и A_1A_2 , легко можно получить углы $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ для выноса в натуру точек M_1, M_2, M_3 и M_4 .

Задавая на местности рассчитанные углы с возможной тщательностью и измеряя линии b_1, b_2, b_3 и b_4 с учетом компарирования, натяжения и температуры, можно вынести в натуру точки M_1, M_2, M_3 и M_4 красной линии с большой точностью. При аналитическом способе точность выноса красной линии зависит только от точности геодезической опоры и ошибок, допущенных при измерении вычисленных углов и сторон. Следовательно, вынос красной линии будет выполнен с одной и той же точностью, независимо от точности плана. Это обстоятельство позволяет архитектору наносить красные линии на план более мелкого масштаба, что иногда выгоднее.

Могут быть случаи, когда точки красной линии лежат в плотной застройке и приходится выбирать их в очень малых пределах. Тогда необходимо до получения координат точек красной линии M_1, M_2, M_3 и M_4 проложить теодолитный ход A, A_1, A_2, \dots и с точек этого хода указать углы линий, пересекающих красные линии в удобном для ее закрепления месте. Иногда решение этого вопроса можно осуществить, пользуясь только планом 1 : 500, где наиболее полно изображены элементы ситуации.

Точки излома и пересечений красных линий не только должны

иметь аналитически определенные координаты, но и должны быть надежно привязаны к существующим опорным зданиям и сооружениям. Если невозможно их закрепить на местности, то вычисляют координаты ближайших углов опорных зданий и сооружений от пунктов опорной геодезической сети.

При разработке проектов детальной планировки и застройки, когда возникают сложные вопросы при аналитическом расчете красных линий, более целесообразно пользоваться планом масштаба 1 : 500.

Вынос на местность красных линий по заданным промерам от капитальных сооружений и осей проездов. Основной опорой, от которой осуществляется вынос проектов планировки (красных линий) на местность, являются пункты полигонометрии, а в некоторых случаях и пункты теодолитных ходов, служившие для съемки проездов (фасадной линии улицы). Так как проект планировки обычно не совпадает целиком с существующими улицами и переулками города, то вынос проектов на местность будет осложняться, если пользоваться только имеющимися пунктами геодезической сети.

Для упрощения работы по выносу проекта обычно закрепляют оси проектируемых проездов, а также тех улиц, которые в проекте оставлены старыми. Осью улицы или проезда считают среднюю линию, проходящую на равных расстояниях от линий застройки. Эта линия на проектном плане масштаба 1 : 500 вычерчена кармином в виде линии из точек и черточек длиной 2 см с промежутками 2 мм (для мелких масштабов длина черточек делается равной 1 см).

Если закрепление знаков на оси улицы будет недолговечным, вследствие прокладки подземных сетей и сооружений, которые связаны с рытьем котлованов и затрудняют взаимную видимость в процессе работы, тогда закрепляют параллельную ось с закладной стеновых знаков или установкой грунтовых знаков на более удобных местах улицы, гарантирующих сохранность знаков. Эта новая ось обычно закрепляется от оси улицы на целое число метров и называется смещенной осью.

Следовательно, смещенная ось намечается только после детального ознакомления с проектом вертикальной планировки и размещением подземных сетей, а также с учетом строительных работ по трассам подземных сетей, а их высоты по проектным красным отметкам.

Вынос красных линий от осей, конечно, будет носить второй, а частично даже третий порядок относительно основной опоры; это обстоятельство заставляет особенно тщательно разбивать оси, чтобы избежать накопления ошибок.

Если уличный проезд запроектирован с линией застройки одной стороны, не параллельной другой, то условную ось следует намечать параллельно одной из сторон проезда на расстоянии, наиболее удобном для работы по выносу проекта и сохранности ее на этот срок.

Вынесенная ось обычно закрепляется знаками на всех ее поворотах, на пересечении ее с осями других проездов и промежуточных точках с тем, чтобы расстояния между ними были меньше 500 м.

Для того чтобы эти знаки можно было легко находить в процессе работы, их привязывают к зданиям (которые будут сохранены на время застройки) не менее чем тремя промерами или створами, как это видно на рис. 103. Если привязка невозможна, то устанавливают специальные сторожки и к ним производят промеры.

Зарисовки знаков делаются в абрисе под тем номером, который показан на проекте, не допуская новой нумерации.

Все закрепленные точки должны быть привязаны к полигонометрии измерением вдоль закрепляемой оси либо прокладкой теодолитного хода через ряд ее точек. Если необходимо восстановить оси проездов спустя много времени после их разбивки (когда будут

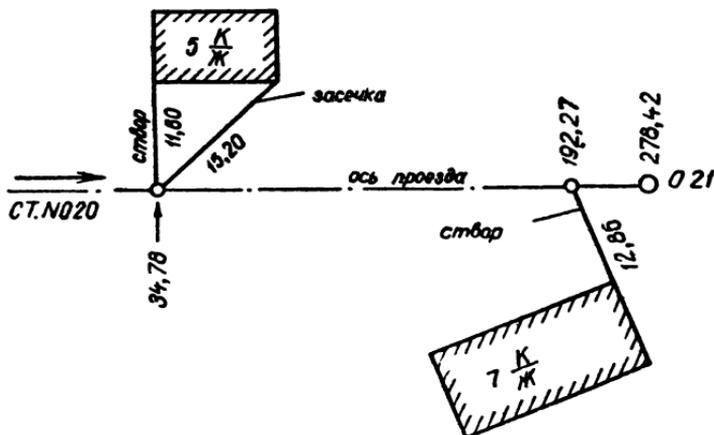


Рис. 103. Привязка осей проездов к зданиям промерами или створами

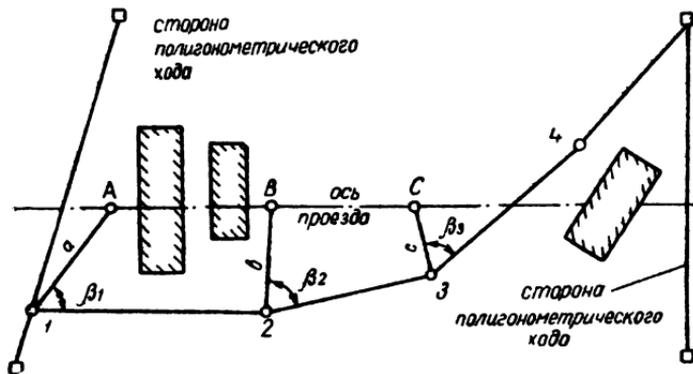


Рис. 104. Восстановление оси проезда вспомогательным теодолитным ходом (1, 2, 3, 4 — теодолитный ход)

утрачены объекты привязки), то это рекомендуется делать прокладкой теодолитного хода с точками поворота вблизи искомых закрепленных пунктов оси. Ход этот прокладывается между пунктами геодезической опоры с привязкой дирекционных углов. Из решений обратных геодезических задач определяют длины и дирекционные углы линий, связывающие закрепленные пункты оси с поворотными точками вычисленного теодолитного хода.

Пусть на местности закреплены точки оси A, B, C (рис. 104) с известными координатами $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C$, но привязки их утрачены вследствие отсутствия зданий, к которым они были привязаны. Проложив вспомогательный теодолитный ход, можно получить координаты точек $1, 2$ и 3 , а затем и длины отрезков $1-A, 2-B$ и $3-C$ с их дирекционными углами $\alpha_{1-A}, \alpha_{2-B}, \alpha_{3-C}$.

По этим данным, пользуясь дирекционными углами смежных линий, находят необходимые углы β_1, β_2 и β_3 , после чего искомые знаки легко фиксируют в поле по полученным данным. В реконструируемых городах часто отсутствует видимость между закрепленными пунктами осей улиц (проездов) до окончания строительства основных сооружений. Это обстоятельство затрудняет геодезические работы на это время, но значительно упрощает их в дальнейшем при благоустройстве проездов и прокладке подземных сетей.

При возобновлении полигонометрических сетей рекомендуется по возможности воспользоваться геодезическими знаками, что может облегчить последующую детальную разбивку красных линий. Закрепление полигонометрической сети знаками, расположенными вне застройки, гарантирует их сохранность.

Создание геодезической опоры с учетом дальнейшего строительства в соответствии с проектом планировки значительно облегчает вынос красных линий на местность. Геодезические работы сводятся в этом случае, в основном, к измерению на местности нескольких расстояний от красной линии до оси, перпендикулярной к ней.

Оси проездов разбивают, в основном, одним из трех способов: полярным, засечек и обхода, применяемых в зависимости от необходимой точности, условий местности и расположения пунктов геодезической опоры. Это обстоятельство налагает известные требования к используемым приборам для измерения углов и линий.

В сложных условиях реконструируемого города применяют, в основном, полярный способ. Этим способом с успехом пользуются и в незастроенной части города. В редких случаях, когда по условиям местности необходимо определять точки через овраги и другие препятствия, для измерения линий применяют способ засечек. При наличии большого числа препятствий используют способ обхода.

Если не требуется повышения точности к разбивке осей проездов и красных линий, применяют теодолиты с точностью измерения $30''$ или $1'$,stadьную рулетку или ленту. При этом предварительно составляют проект выноса, ознакомившись с условиями местности и выбрав один из указанных способов. На этом проекте (рис. 105) показывают длины линий, углы запроектированного теодолитного хода, а также створные точки M_1, M_2 и M_3 , устанавливаемые теодолитом. Створные точки закрепляют искомую ось достаточным числом пунктов.

Если застройка мешает видимости на определенном участке, то необходимо увеличить число створных точек с тем, чтобы с каждой из них можно было получить хотя бы одну точку на этой линии.

Длины перпендикуляров до оси обычно вычисляют при помощи коэффициента k , определяемого по формуле

$$k = \frac{b_i - b_2}{AB},$$

тогда

$$b_i = b_1 + d_i k,$$

где b_1 — длина первого перпендикуляра, заданного по проекту и расстоянием m от застройки;

d_i — расстояние до точки i от первого перпендикуляра.

Длина m обычно бывает 4—20 м, но рекомендуется по возможности пользоваться меньшими промерами.

В том случае, когда существует видимость вдоль оси от точки a_1 до точки b_1 , коэффициент k можно не подсчитывать, и следует точки m_1, m_2, m_3 разбивать как створные между a_1 и b_1 . Когда полигонометрический ход проложен по проезду, ось его разбивают от ли-

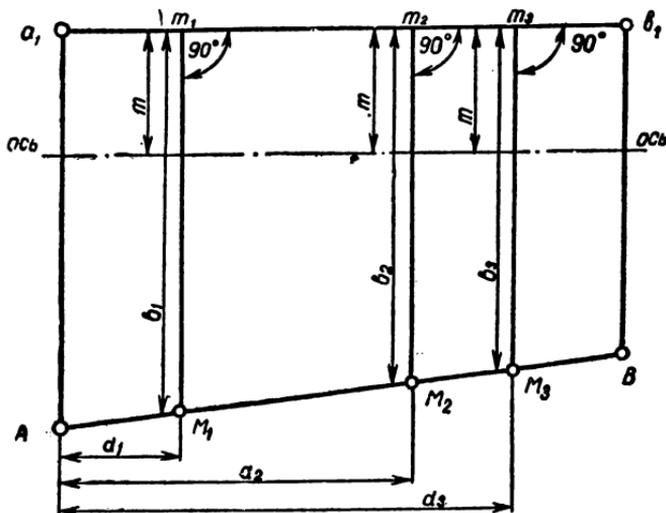


Рис. 105. Определение длин перпендикуляров при помощи коэффициента K

нии полигонометрии, пользуясь коэффициентом k . Если проектируемый проезд аналитически рассчитывают от точек опорных сооружений с известными координатами, детальную разбивку красной линии и построение осей выполняют обычно без камеральных расчетов по промерам от этих опорных сооружений. Если здания A и B , координаты углов которых известны, расположены параллельно друг другу, тогда для построения линии A_1B_1 , параллельной AB , достаточно измерить на местности расстояние m по створу зданий (рис. 106).

Перпендикулярность линии A_1A следует проверять засечкой с противоположного угла здания. В этом случае точность определения $1 : 100$ длины A_1A будет достаточной.

При бóльшей точности вычисляют X_1 после измерения угла на точке M по формуле

$$X_1 = d \frac{90 - \lambda}{\rho} . \quad (170)$$

Зарисовывают вынос красных линий в специальном абрисе. В нем показывают наиболее существенную ситуацию, а также распо-

ложение относительно ее точек красных линий. В него же заносят промеры до этих точек от местных предметов, надежных в отношении длительного существования.

В абрисе должны быть записаны промеры на местности, позволяющие проконтролировать правильность выноса проекта в натуре.

Абрис ведут простым карандашом, красную линию и ось проезда отмечают красным цветом: ось — пунктирной линией, а красную линию — сплошной. Длины промеров должны быть подписаны четко и так, чтобы цифры не пересекались какими-либо линиями.

Измеряют линии так же, как и в работах по проложению теодолитного хода, учитывая поправку за компарирование, температуру

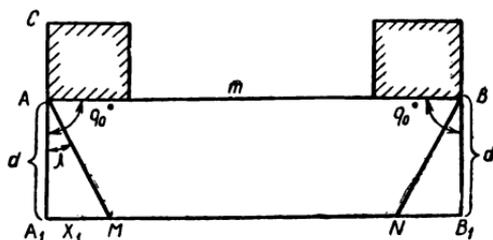


Рис. 106. Построение прямой A_1B_1 параллельно линии AB

и наклон местности. Измерять углы при одном положении круга допускается лишь хорошо выверенным прибором.

Вынос красных линий новых кварталов в практике треста геодезических работ и инженерных изысканий (ГРИИ) Главного архитектурно-планировочного управления Ленгорисполкома ведется исключительно на основе проложенных и закрепленных в натуре осей проездов. Это делается или непосредственной прокладкой на местности красной линии параллельно имеющейся в натуре оси с помощью восстанавливаемых к этой оси перпендикуляров, или построением угловых точек кварталов.

Для построения этих точек по координатам вычисляют длины и дирекционные углы линий, соединяющих точки пересечения осей проездов с прилегающими углами кварталов. Построение красных линий параллельно оси с помощью перпендикуляров показано на рис. 107, где AB и $ГД$ —имеющиеся в натуре оси проездов и B —точка их пересечения. Для построения красных линий на осях разбиты перпендикуляры $ФК$, $ФЛ$, $ЦО$ и $ЦП$, каждый из которых равен половине ширины проезда, составляющей $2a$. Так же построены перпендикуляры $ЭМ$, $ЭН$, $ЯТ$ и $ЯР$, каждый из которых, в свою очередь, равен половине ширины другого проезда, составляющей $2b$.

При разбивке перпендикуляров теодолит устанавливают в створе оси (что проверяется измерением угла, равного 180°), после чего полными приемами измеряют оба прямых угла, образуемых восстановленным перпендикуляром и осью проезда.

Установленные в конце перпендикуляров вехи обозначают на местности положение красных линий, а пересечение красных линий в точках E , $Ж$, $З$ и $И$ дают угловые точки кварталов.

Координаты угловых точек кварталов (при втором способе разбивки красных линий) определяют предварительными вычислениями

по формулам, приведенным ниже и применяемым в зависимости от того или другого частного случая.

В приводимых формулах и рисунках α и β — углы при точке B , образуемые каждой из пересекающихся осей с направлением (лучом) на определяемый угол квартала, причем α лежит против сто-

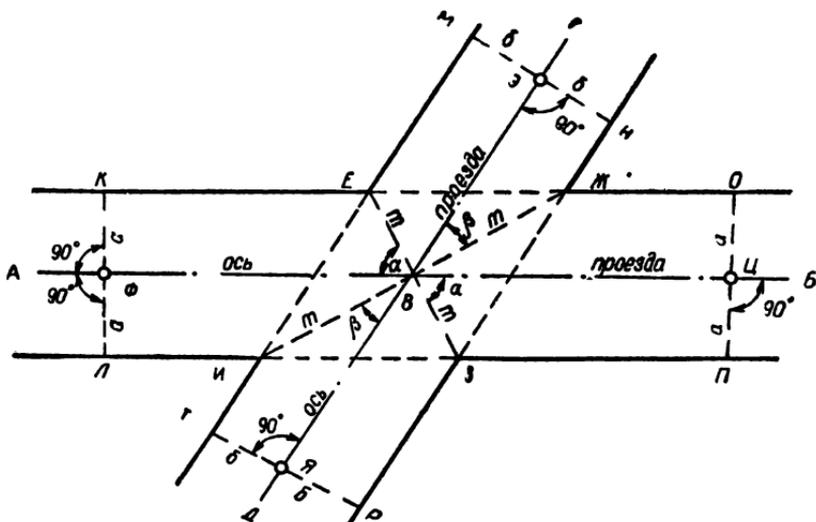


Рис. 107. Построение красной линии параллельно оси проезда

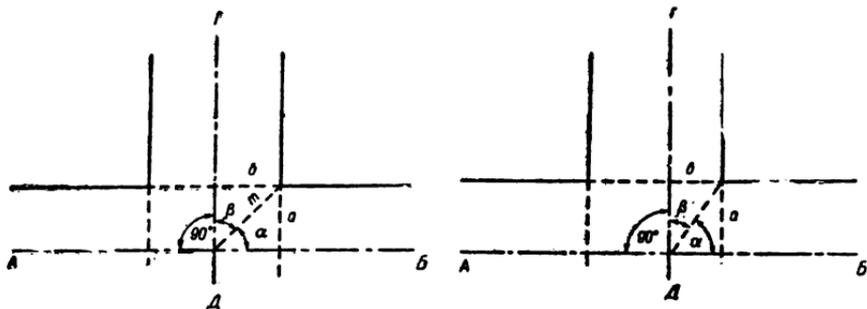


Рис. 108. Первый случай вычисления угловых точек квартала

Рис. 109. Второй случай вычисления угловых точек квартала

роны α , β — против стороны b , а m — длина луча от точки B до угла квартала.

Все вычисления ведутся после прокладки в натуре осевых линий (или после определения координат их конечных точек) и после измерения (или вычисления) углов между этими линиями.

Если необходимо получить точку пересечения двух линий на местности, то ее находят как пересечение двух створных линий. После этого выполняют контроль, измеряя теодолитом все углы.

При вычислениях следует иметь в виду, что в приведенных ниже формулах значения a и b , а также сумма $(\alpha + \beta)$ — величины известные, а искомыми являются длина луча m и значения каждого из углов α и β .

Наиболее часто встречаются следующие четыре случая вычисления угловых точек квартала.

Первый случай. Два одинаковых по ширине проезда пересекаются под прямым углом, т. е. ось $AB \perp \Gamma D$ и $a = b$ (рис. 108).

В этом случае

$$\angle \alpha = \angle \beta = \frac{90^\circ}{2} = 45^\circ$$

и

$$m = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{a}{0,70712} = \frac{b}{0,70712}.$$

Второй случай. Два различной ширины проезда пересекаются под прямым углом, т. е. ось $AB \perp \Gamma D$, но $a \neq b$ (рис. 109), тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a};$$

$$m = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta}.$$

Третий случай. Два одинаковой ширины проезда пересекаются под острым углом, т. е. ось AB не перпендикулярна к ΓD , но $a = b$ (рис. 110).

В этом случае

$$\frac{1}{2} < \angle BVB = \angle \alpha = \angle \beta,$$

а BE является биссектрисой $\angle BVB$ и

$$m = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta}.$$

Четвертый случай. Два различной ширины проезда пересекаются под острым углом, т. е. ось AB не перпендикулярна к ΓD и $a \neq b$ (рис. 111), тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a \sin (\alpha + \beta)}{b \pm a \cos (\alpha + \beta)};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b \sin (\alpha + \beta)}{a \pm b \cos (\alpha + \beta)};$$

$$m = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta}.$$

В знаменателе в выражениях для $\operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{tg} \beta$ берется при $(\alpha + \beta) < 90^\circ$ знак плюс и при $(\alpha + \beta) > 90^\circ$ — знак минус. Если знаменатель будет отрицательным, вычисляемый угол больше 90° .

После построения на местности лучей m могут быть проложены в натуре и красные линии, как параллельные соответствующим осевым линиям; в таком случае угол между красной линией и лучом будет соответственно равен $180^\circ - \alpha$ или $180^\circ - \beta$ (см. рис. 112).

Контрольные теодолитные ходы. После выноса проектов деталей планировки и застройки на местность и закрепления точек красных линий и проектных точек зданий и сооружений необходимо произвести контроль.

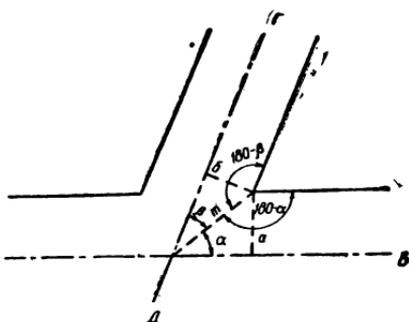
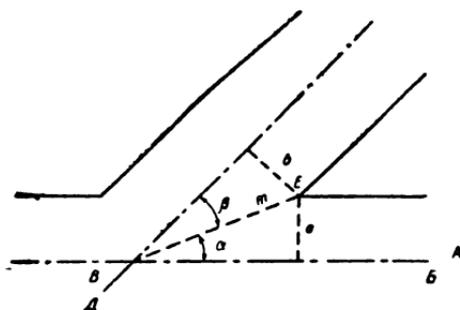


Рис. 110. Третий случай вычисления угловых точек квартала

Рис. 111. Четвертый случай вычисления угловых точек квартала

Контрольные измерения выполняют проложением контрольного теодолитного хода, включая в него контролируемые точки красных линий и вынесенные проектные точки зданий и сооружений. При наличии видимости между пунктами, закрепляющими оси и красные линии, контрольный теодолитный ход прокладывают непосредственно через эти пункты или координаты этих точек проверяют полярным методом от ходов, служивших основой при выносе на местность проектных точек.

Технические условия проложения контрольных ходов определяют, прежде всего, в зависимости от заданной точности, разбивки. При повышенных требованиях к точности разбивки между знаками осей проездов и красных линий прокладывают полигонометрические ходы; при обычной точности разбивки достаточно теодолитного хода.

Вычисление контрольного хода позволяет установить тождественные координаты заданных осей и точек красной линии. Однако исполнителю рекомендуется проверять вычисленные координаты промерами рулеткой от угла зданий и других капитальных сооружений, контролировать их по исполнительному плану. Таким образом легко выявляется грубая ошибка.

В открытой и незастроенной местности, где такой контроль невозможен из-за отсутствия ситуации с четкими контурами, данные хода, проложенного по красной линии, должны совпадать с проектными, которые нанесены на рабочих разбивочных чертежах, т. е. ошибки здесь всегда будут обнаружены. После проверки вычислений следует в поле исправить допущенные ошибки. В процессе вы-

числений проверяют журнал измерения углов и средние их значения выводят чернилами. На схеме контрольного хода показывают черным цветом точки теодолитного хода, горизонтальные углы до десятых долей минуты, меры линий между точками хода до сантиметра, красным цветом обозначают точки красной линии и пункты полигонометрии, к которым привязан этот ход.

При недостаточном обеспечении района производства работ полигонометрией необходимо, чтобы контрольные ходы образовывали наиболее простые системы для уравнивания и периметр их не превышал пределов, установленных Инструкцией по топографо-геодезическим работам при изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства (СН-212-73).

Разбивка кривых на местности

В проектах планировки и застройки городов и поселков часто красные линии кварталов, площадей, скверов и отдельных сооружений имеют форму кривых линий. Эти линии могут быть частью окружности, эллипса, параболы, кубической параболы, радиоидальной спирали и других кривых. Наиболее распространена круговая кривая, которая применяется для сопряжения двух прямолинейных участков пути. Парабола используется, главным образом, для сводов зданий, арок мостов и для сопряжения уклонов при строительстве дорог.

Лемниската Бернулли, кубическая парабола и радиоидальная спираль применяются в качестве переходных кривых на городских автомобильных, железных дорогах и в метро.

Эти кривые выражаются следующими уравнениями:
окружность

$$x^2 + y^2 = R^2; \quad (171)$$

эллипс

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1; \quad (172)$$

парабола

$$y^2 = 2px; \quad (173)$$

кубическая парабола

$$y^2 = \frac{x^3}{6c}; \quad (174)$$

радиоидальная спираль

$$\left. \begin{aligned} x &= 4 \left(1 - \frac{L^4}{40c^2} + \frac{L^8}{3456c^4} + \dots \right); \\ y &= \frac{L^3}{6c} \left(1 - \frac{L^4}{56c^2} + \frac{L^8}{7040c^4} + \dots \right); \end{aligned} \right\} \quad (175)$$

лемниската Бернулли

$$(x^2 + y^2)^2 = 2a^2(x^2 - y^2). \quad (176)$$

Следует отметить, что расчет и разбивка круговой кривой на местности отличается наибольшей простотой. Основными параметрами для расчета круговой кривой служат угол φ (угол поворота) и R — радиус кривой; для эллиптических кривых необходимо знать полуоси эллипса a и b . Соответствующие параметры должны быть известны и для других кривых.

Пусть требуется разбить на местности круговую кривую AMC , соответствующую углу поворота φ (рис. 112). Исходные величины для разбивки кривой получаются в два этапа: сначала определяют величины главных или основных точек кривой на местности, т. е. на-

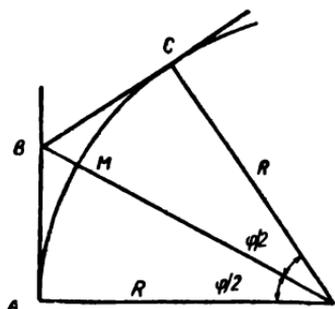


Рис. 112. Разбивка круговой кривой

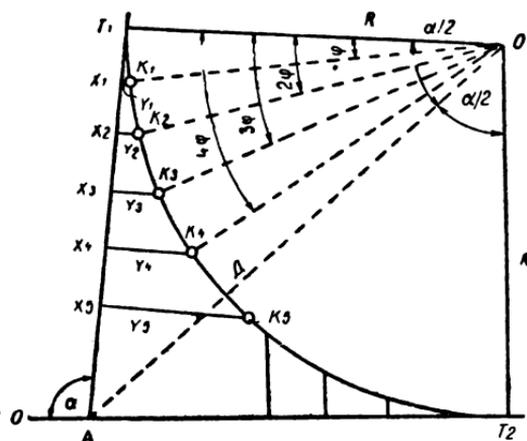


Рис. 113. Разбивка кривой способом прямоугольных координат

чала, середины и конца кривой, после чего для детальной разбивки кривой на местности вычисляют ее промежуточные точки.

Для определения на местности главных точек кривой необходимо знать величину линии AB , т. е. тангенс T , длину кривой $AC = K$ и величину биссектрисы BM .

Из рис. 113 имеем

$$AB = T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (177)$$

$$\begin{aligned} BM = BO - MO &= \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - MO = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R = \\ &= R \left(\sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right) = R \frac{2 \sin \frac{\varphi}{4}}{\cos \frac{\varphi}{2}}; \quad (178) \end{aligned}$$

$$MC = K = \frac{\pi R}{180^\circ} \varphi. \quad (179)$$

Из приведенных формул видно, что при данном угле φ все элементы кривой пропорциональны радиусу кривой R . По этим формулам, имея угол поворота φ и радиус кривой R , можно вычислить величину тангенса кривой, длину кривой и биссектрису.

Для разбивки кривых пользуются готовыми таблицами, где элементы кривой даны для разных значений угла φ и радиуса R .

Для обозначения кривой на местности недостаточно главных точек кривой, необходимо дать ряд промежуточных точек, расположенных, как правило, на равных расстояниях по кривой, например через каждые 10 и 20 м. При такой разбивке густота точек, определяющих кривую, зависит от ее назначения, характеристики местности, величины радиуса и требований, предъявляемых к строительным работам.

Для осуществления этой задачи есть несколько способов: разбивка круговых кривых малого радиуса; прямоугольных координат; разбивка по координатам от хорды; углов; последовательных хорд. В практике разбивки круговых кривых в городских условиях наиболее часто приходится пользоваться первыми тремя способами.

Способ разбивки круговых кривых малого радиуса. Этот способ применяется для разбивки круговых кривых при радиусе 20 м. Разбивку проводят стальной 20-метровой штриховой лентой или рулеткой. Закрепив один ее конец в центре окружности, с помощью другого конца отмечают на местности точки кривой данного радиуса любой частоты.

Способ прямоугольных координат. Пусть требуется детально разбить кривую T_1T_2 , радиус которой R , сопрягающую два прямолинейных направления (рис. 113). Начало, середина и конец кривой вычислены и определены в натуре. Для получения промежуточных точек круговой кривой достаточной густоты необходимо знать координаты точек K_1, K_2, K_3, \dots , т. е. их абсциссы X_1, X_2, X_3, \dots и ординаты Y_1, Y_2, Y_3 и т. д.

Если бы при разбивке кривой не требовалось большой точности, эти величины можно было взять графически с плана, построив нужную окружность в крупном масштабе. В данном случае эти величины необходимо вычислять аналитически, приняв за ось абсцисс касательную AT_1 , а за ось ординат радиус R .

Из рис. 113 видно, что

$$X = R \sin \varphi; \quad Y = R (1 - \cos \varphi) = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2}.$$

Задаваясь определенными значениями центрального угла $\varphi, 2\varphi, 3\varphi, 4\varphi$ и т. д. при некотором постоянном радиусе R , можно вычислить соответствующие значения X_1, X_2, X_3, \dots и Y_1, Y_2, Y_3 и т. д.

Когда круговая кривая большой длины, координаты для всей кривой с одной линии тангенса не вычисляют, так как в этом случае увеличивается объем вычислительных работ и, кроме того, ординаты получатся большой длины, поэтому построение точек кривой на местности будет неточным. Вычисленные значения абсцисс и ординат для дуги DT_1 следует использовать при разбивке другой половины дуги DT_2 , начиная разбивку кривой от точки T_2 .

Практически этих вычислений не делают, а пользуются таблицами, в которых величины X и Y даны для различных радиусов и длин дуг.

Для радиуса кривой до 80 м в таблицах даны абсциссы. Для кривых большего радиуса приводятся не абсциссы, а величины домера — кривая без абсциссы. Это делается потому, что при больших радиусах кривой абсцисса мало отличается от дуги кривой. Кривая $Tв$ (рис. 114) длиннее абсциссы $Tб$ на величину домера ab , поэтому, чтобы вынести на кривую точку $в$, сначала откладывают на линии тангенса длину соответствующей кривой K , затем в обратном направлении — величину $ab = K - X$, из полученной точки восстанавливают перпендикуляр и откладывают ординату.

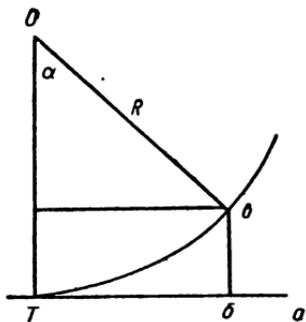


Рис. 114. Разбивка кривой по координатам от линии тангенсов

Разбивку кривой ведут с обоих концов ее к середине, причем абсциссы откладывают лентой, а ординаты строят с помощью гониометра или эккера и рулетки. При длине ординат более 20 м разбивка их производится с помощью теодолита.

Разбивка кривой при длине ординат более 20 м становится недостаточно точной и занимает много времени. В этом случае вводятся дополнительные касательные, которые дают возможность проводить разбивку кривой короткими ординатами.

Способ разбивки кривой ординатами от хорды. Часто бывает выгодно разбить кривую по координатам не с линий тангенсов, а с хорд. Пусть, например, требуется разбить часть окружности AEB , радиус которой R (рис. 115), ординатами от хорды. При этом предполагается, что главные точки кривой вычислены и закреплены на местности.

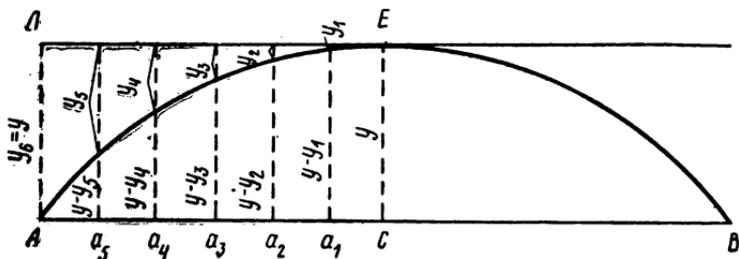


Рис. 115. Разбивка кривой по координатам, отложенным от хорды

Чтобы детально разбить часть окружности AEB с хорды AB , очевидно необходимо знать абсциссы Ca_1, Ca_2, Ca_3, Ca_4 и ординаты $CE = y, y - y_1, y - y_2, \dots$, где $y_{1,2,3,\dots}$ — ординаты кривой относительно линии LE , проведенной через точку E (середина кривой) параллельно хорде AB . Ордината, соединяющая середину хорды с серединой кривой, называется стрелой. Ординаты y, y_1, y_2, \dots и абсциссы Ca_1, Ca_2 и т. д. кривой могут быть рассчитаны по тем же формулам, что и в разбивке кривой ординатами от тангенса. Следова-

тельно, при разбивке окружности от хорды надо абсциссы взять те же, что и для разбивки с касательных, а ординаты получаются как разность между стрелой $CE=У$ и соответствующей ординатой с касательной ($У, У_1, У_2$ и т. д.). На практике поступают так. Зная длину кривой, находят по таблицам ординату ее середины. Затем, считая середину хорды началом координат, хорду — осью абсцисс, откладывают от середины хорды в обе стороны абсциссы $Ca_1, Ca_2, Ca_3 \dots$ и соответствующие им ординаты $У-У_1, У-У_2$ и т. д., где $У_1, У_2, \dots, У_i$ — ординаты кривой относительно линии LE .

Бывают случаи, когда круговая кривая задается только радиусом R и точками начала и конца кривой. Разбивка такой кривой производится способом ординат от хорды, которая вычисляется по координатам начала и конца кривой. Полученную величину хорды следует проконтролировать непосредственным измерением в натуре. Затем определяется длина кривой заданного радиуса R , соответствующая вычисленной хорде. Для этого по таблицам находят ближайшую длину кривой и по этой кривой получают соответствующую ей хорду, используя домер. Затем находят длину кривой, соответствующей данной хорде.

Пусть требуется, например, определить длину кривой радиусом 250 м при длине хорды 84,24 м. Так как разбивка кривой делается от середины хорды в обе стороны, то все расчеты ведутся с половиной длины хорды и половиной длины кривой. В данном случае половина хорды равна 42,12 м. В таблицах для разбивки кривых способом прямоугольных координат находят ближайшую к величине 42,12 длину кривой, она будет 43 м, а соответствующий ей номер 0,21. Следовательно, длина хорды будет $43-0,21=42,79$ м.

Имея длину кривой 43 м и соответствующую ей хорду 42,79 м, можно вычислить длину кривой для хорды 42,12 м, решая пропорцию

$$\frac{43}{X} = \frac{42,79}{42,12}, \quad X = \frac{43 \times 42,12}{42,79} = 42,33 \text{ м.}$$

Для проверки правильности расчетов необходимо найти длину хорды, соответствующую длине кривой 42,33 м, которая должна совпадать с измеренной или вычисленной величиной, равной 42,12 м. Этот способ — один из распространенных способов разбивки кривых.

Способ углов (полярный). Этот способ применяется тогда, когда разбивка способом координат затруднительна. Чтобы провести детальную разбивку кривой по полярному способу, необходимо сначала задаться расстоянием между закрепляемыми точками на кривой (рис. 116). Обычно расстояние S принимается равным длине мерного прибора, например 20 м. Обозначим центральный угол, соответствующий этому расстоянию, через 2α . Очевидно, что

$$\sin \alpha = \frac{S}{2R}, \quad (180)$$

где R — радиус кривой.

Имеются таблицы, в которых вычислены углы α для разных значений R и для длины хорды, равной 10, 20 м и т. д.

Так как угол между касательной и хордой равен половине соответствующего центрального угла, то для получения точек кривой, отстоящих одна от другой на расстоянии S , поступают следующим образом.

В точке T устанавливают теодолит, нуль лимба совмещают с нулем 1-го верньера и вращением лимба трубу прибора наводят на точку T_1 . После этого закрепляют лимб, а алидаду вращают на угол α и, откладывая расстояние $Ta=S$, получают точку a .

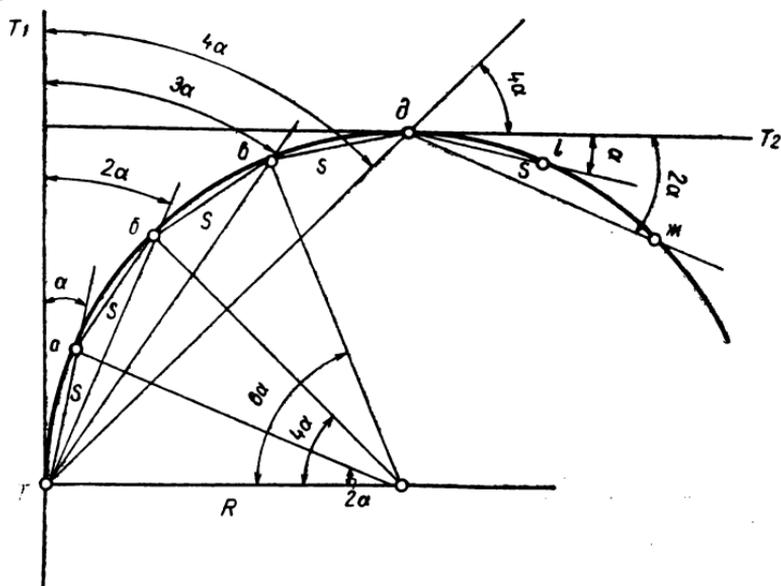


Рис. 116. Разбивка кривой способом углов (полярный)

Закрепив точку a на местности кольшком, поворачивают алидаду на угол 2α от направления TT_1 и откладывают от точки a расстояние $ab=S$ таким образом, чтобы изображение точки b совпало с пересечением сетки нитей трубы теодолита. Полученную точку b закрепляют. Так же поступают и дальше до тех пор, пока не разобьют всю кривую или не встретится препятствие для визирования. В таком случае переходят в последнюю, закрепленную на местности точку, например d , наводят трубу теодолита при совмещенных нулях алидады и лимба на точку T , закрепляют лимб, поворачивают алидаду на угол $180^\circ+5\alpha$ и на расстоянии $de=S$ отмечают на кривой точку e .

Поворачивая алидаду от направления dT на угол $180^\circ+6\alpha$ и откладывая от точки e расстояние $eж=S$, получают точку $ж$ и т. д.

Недостаток разбивки способом углов заключается в том, что определение каждой последующей точки зависит от предыдущей, а это накапливает погрешности.

Способ последовательных хорд. Способ последовательных или продолженных хорд применяется, когда по условиям местности не

может быть использован способ координат. В этом случае первую точку B на кривой (рис. 117) необходимо определить способом координат или способом углов. Хорду $TB=S$ продолжают и по ее направлению на расстоянии $Ba=S$ закрепляют точку a . Вторую точку кривой C получают линейной засечкой: из точки B расстоянием S и из точки a расстоянием d . Величина d получается из подобия треугольников BaC и OBC :

$$\frac{d}{S} = \frac{S}{R}, \text{ откуда } d = \frac{S^2}{R}, \quad (181)$$

где S — длина хорды;
 R — радиус кривой.

Если длина хорды S равна длине мерного прибора, то для построения точки C закрепляют задний конец ленты в точке B и очер-

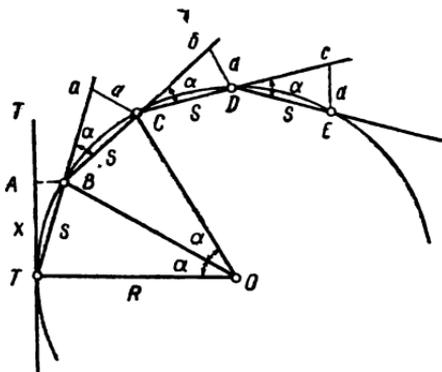


Рис. 117. Разбивка кривой способом последовательных хорд

чивают дугу радиусом S . Затем из точки a при помощи рулетки радиусом S очерчивают другую дугу. Пересечение этих двух дуг и даст точку C .

Аналогично поступают и для получения других точек кривой D и E и т. д. Способ последовательных хорд имеет тот же недостаток, что и способ углов, так как точность определения положения каждой последующей точки на кривой зависит от точности, с которой найдена предыдущая, что тоже накапливает погрешности.

Для повышения точности получения точек кривой следует разбить более точными способами ряд промежуточных точек и уже между ними проводить разбивку способом продолжения хорд.

Вынос на местность проектов вертикальной планировки

Способ выноса проектов вертикальной планировки на местность выбирают в зависимости от методов проектирования и представленных проектными материалами (планов, профилей, аналитических расчетов и т. п.).

Вынос на местность проекта вертикальной планировки сводится в конечном счете к определению в натуре отдельных точек проекта и их отметок, а также к вычислению разности черных и красных отметок. Поэтому в первую очередь необходимо составить рабочие чертежи, в которых должны быть указаны все данные для земляных работ, предусмотренных проектом.

Работы по выносу проекта вертикальной планировки на местность начинают с определения положения по плану в натуре всех основных точек проекта и закрепления их кольями. Эта работа необходима в том случае, если она не была выполнена при выносе на местность проекта горизонтальной планировки, т. е. если не вынесены в натуре оси проездов, углы кварталов и другие элементы горизонтальной планировки.

После того как будут вынесены в натуре точки, определяющие проектные положения на местности осей улиц и проездов, работы по выносу проекта вертикальной планировки улицы-проезда производятся в следующем порядке.

По оси улицы-проезда вешками устанавливают створ, в котором укладывают стальную 20-метровую ленту. По установленной оси забивают прочные деревянные колья-сторожки длиной 0,25—0,3 м, диаметром 3—4 см. Колья забивают во всех проектных точках данной оси, вершинах поперечников, точках излома профиля, точках пересечения оси улицы с проездами и т. п.

Колья-сторожки забивают в землю так, чтобы над поверхностью оставалась часть, равная 0,1 м, для пикетного обозначения данной точки.

При откладывании расстояний по оси улицы-проезда полученную невязку (сумма расстояний между вынесенными в натуре точками) распределяют на все отрезки пропорционально их длинам. Невязка не должна превышать 1 : 1000 длины оси проезда.

После закрепления на местности проектных точек кольями-сторожками проводится нивелирование с помощью приборов методами, обеспечивающими точность технического нивелирования. Нивелируют, как правило, между реперами существующей высотной основы.

По результатам нивелирования вычисляют черные отметки всех кольев-сторожков, определяющих горизонтальное положение проектных точек профиля оси проезда. Полученные черные отметки выписывают в соответствующую графу рабочего профиля оси проезда и сравнивают их с проектными, которые уже имеются на профиле.

Разность проектных и черных отметок даст рабочую отметку для каждой точки. Для определения знака рабочей отметки следует из проектной (красной) отметки вычесть черную отметку (земли). Знак минус будет обозначать глубину выемки в данной точке, а знак плюс — высоту насыпи.

Полученные рабочие отметки со своими знаками выписывают на заранее заготовленные колья (длина 0,5 м, диаметр 5—6 см), после чего колья забивают в грунт около кольев-сторожков так, чтобы верхний срез кола соответствовал проектной отметке данной точки.

Для этой цели в небольшом удалении от оси проезда устанавливают нивелир. На задний, исходный репер ставят нивелирную рейку и визируют на нее определяя горизонт инструмента по формуле

$$ГИ = H + a,$$

где H — отметка репера;

a — отсчет по рейке, расположенной на этом же репере.

Затем вычисляют для данной точки тот отсчет по рейке, который соответствовал бы проектной высоте кола-точки. Этот отсчет называется проектной рейкой.

Рейку устанавливают последовательно на каждый кол и, забивая кол в грунт, достигают такого его положения, когда отсчет по рейке будет соответствовать ранее вычисленному, т. е. верхний срез кола займет проектное положение.

Нередко установке рейки мешает выемка или высокая насыпь. В таких случаях забивают кол на произвольную отметку до прочного положения в грунте, нивелируют верхний срез кола, вычисляют сначала черную отметку среза, затем рабочую отметку (величину насыпи или выемки, рассчитанную от верхнего среза) и выписывают ее на боковую поверхность кола.

Изложенный метод выноса проектных отметок в натуре или, вернее, замена этого действия определением рабочих отметок, рассчитанных от верхних срезов кольев, является наиболее простым и практичным, так как при производстве земляных работ приходится измерять лишь высоты насыпи или выемки от верхнего среза кола до рабочей поверхности грунта.

В местах выемок кол сохраняется на остатке ненарушенного грунта; на насыпях кол не засыпают, а оставляют в аккуратно закрепленном, уплотненном грунте.

Разбивка проектной линии на местности, заключенной между двумя какими-либо точками перегиба профиля, проводится обычно с помощью визиров и более точно с помощью наклонного луча нивелира или теодолита.

Аналогично контролируют правильность выполнения земляных работ, т. е. правильность вынесения проектной линии на местности.

Одновременно с разбивкой и нивелировкой проектного пикетажа по осям улиц-проездов проводится разбивка в натуре поперечных проектных профилей проездов и их нивелировка. Точки излома поперечного профиля также отмечают кольями-сторожками с написанными на них проектными, пикетажными обозначениями и кольями, фиксирующими необходимые для земляных работ проектные отметки.

Проектные отметки красных линий выносят на местность аналогично изложенному выше.

Вынос на местность проекта вертикальной планировки кварталов. Для выноса в натуре проектов вертикальной планировки кварталов используются приборы и применяются методы, обеспечивающие точность технического нивелирования.

В зависимости от методов проектирования разбивка планировки кварталов может быть проведена тремя способами.

Проектную плоскость (поверхность квартала) разбивают на квадраты со сторонами 20×20 м, после чего подсчитывают в каждой вершине квадрата разность между проектной (красной) и фактической (черной) отметкой. Полученная разность (рабочая отметка) отмечается в натуре на сторожках цифрами, а при земляных работах определяется по вертикали рейкой или рулеткой.

Проектную плоскость разбивают на отдельные профили. Каждый профиль выносят в натуре с помощью визиров либо с помощью наклонного луча нивелира или теодолита.

Проектную плоскость выносят на местность наклонным лу-

чом нивелира, не разбивая отдельных профилей. В этом случае вертикальную ось нивелира устанавливают перпендикулярно к проектной плоскости, тогда при вращении нивелира вокруг вертикальной оси визирная ось трубы будет описывать плоскость, параллельную проектной.

Вынос на местность проектных отметок для строительства зданий и различных инженерных сооружений. При выносе в натуру проектных отметок для строительства каких-либо сооружений следует найти величину проектной рейки и зафиксировать на колышке-сторожке данную проектную отметку.

Поскольку при строительстве инженерных сооружений на естественном рельефе обычно производится выемка грунта, то фиксировать проектную отметку на колышке бывает затруднительно, так как иногда забивать колышек приходится на глубину, превышающую 1 м. В этих случаях в натуру выносят не проектные, а условные отметки, выражающиеся для простоты целым числом дециметров. Причем на колышке-сторожке в числителе записывают условную отметку, а в знаменателе — рабочую отметку со своим знаком.

Если разбивка на местности данного сооружения уже закреплена обноской, то проектные отметки выносят на столбы обноски. Отметка на столбе фиксируется зарубкой с горизонтальным плечом (запил) и забитым горизонтально гвоздем.

Передача отметок на высокие части сооружения и в глубокие котлованы. Отметки на высокие части сооружений или в глубокие котлованы передаются (в зависимости от заданной точности) с помощью компарированной стальной рулетки или ленты от отметок, вынесенных с помощью нивелира и рейки на доступные (нижние) части сооружения или на верхние части стенок котлованов.

Если при передаче отметок не нужна повышенная точность, то необходимое расстояние по вертикали от точки «условного горизонта» отсчитывается непосредственно по ленте или рулетке, натянутой вертикально вдоль стены сооружения или опущенной вдоль стенки котлована. При таком способе отметка передается с точностью лишь 2—3 см.

Для точной передачи отметок применяют нивелир или два нивелира одновременно, а ленту или рулетку предварительно компарируют при натяжении, равном массе груза, удерживающего ее в вертикальном положении при передаче высот. Например, отметка искомой точки (рис. 118) вычисляется по формуле

$$H_x = H_{Rp} + h_A \pm (C - D) - h_B,$$

где H_{Rp} — отметка исходного репера;

h_A — отсчет по рейке нивелиром A ;

h_B — отсчет по рейке над точкой x нивелиром B ;

C и D — отсчеты по рулетке или ленте.

Лента (рулетка) должна иметь миллиметровые деления, в крайнем случае можно наклеить в необходимых местах полоски миллиметровой бумаги, соответственно раскрашенной.

Отклонение исполнительных отметок от проектных считается допустимым в следующих пределах:

для работ по планировке поверхности кварталов и внутриквартальных проездов — до 5 см;

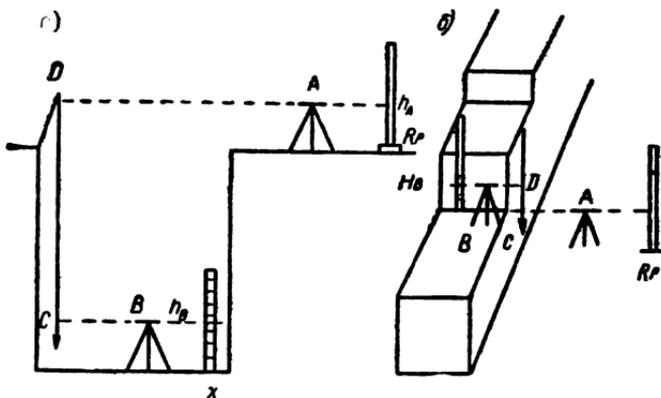


Рис. 118. Передача отметок

a — в глубокие котлованы; *b* — на высокие части сооружений

для работ по планировке поверхности улиц-проездов — до 3 см;
 для строительства зданий и инженерных сооружений — до 1,5 см;

для инженерных сооружений, проектные отметки которых выносятся с большой точностью, точность эту определяют каждый раз специальным заданием.

Разбивочные работы на строительной площадке

Составление геодезического проекта разбивочных работ на строительной площадке. Геодезическим проектом разбивочных работ на строительной площадке служит проект производства геодезическо-маркшейдерских работ (ППГР), разрабатываемый на основе проекта организации строительства (ПОС) и проектов производства строительного-монтажных работ (ППР) и утверждаемый главным инженером строительного-монтажной организации.

Для крупных и сложных объектов и комплексов по решению организации, утверждающей технический (техно-рабочий) проект, составляется проект производства геодезическо-маркшейдерских работ (ППГР) проектной (или специализированной) организацией или институтами (трестами) «Оргтехстрой».

В зависимости от технологических особенностей геодезическо-маркшейдерского обеспечения строительного-монтажного производства и сложности объемно-планировочных и конструктивных решений объектов в проекте производства геодезическо-маркшейдерских работ следует предусматривать:

схему построения в натуре главных (основных) осей зданий и сооружений с предварительным расчетом точности и указаниями по методике их построения;

схему размещения и закрепления осевых знаков;

схему и указания по методике выполнения детальных геодезическо-маркшейдерских разбивочных работ для обеспечения процес-

са строительно-монтажного производства в увязке с календарными графиками строительно-монтажных работ;

схему и указания по методике проведения геодезическо-маркшейдерского контроля за размещением и возведением зданий и сооружений;

методику проверки положения конструкций в плане, по высоте и вертикали;

схему прокладки, закрепления и восстановления монтажных осей и горизонтов, передачи осевых точек и рабочих высотных отметок на монтажные горизонты, с методикой и расчетом точности этих работ;

схему проведения исполнительных геодезическо-маркшейдерских съемок законченных строительством объектов, отдельных частей их, объемно-планировочных и конструктивных элементов, по этапам и стадиям строительно-монтажного производства с указанием методики и точности выполнения исполнительных съемок;

схему, порядок выполнения и состав технической исполнительной геодезическо-маркшейдерской документации;

схему организации и производства инструментальных геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений в процессе строительно-монтажных работ (если это необходимо по технологии строительного производства или вызывается неблагоприятными физико-геологическими процессами или явлениями).

При выполнении геодезическо-маркшейдерских работ субподрядными организациями или при специальных геодезическо-маркшейдерских работах для обеспечения технологических процессов строительно-монтажного производства следует составлять рабочие проекты выполнения этих работ в увязке с календарными графиками строительства.

Рабочие проекты производства геодезическо-маркшейдерских работ на стройплощадке и календарные графики проведения этих работ разрабатываются геодезическо-маркшейдерской службой субподрядных организаций, согласовываются с геодезическо-маркшейдерской службой генподрядчика и утверждаются главным геодезистом и главным маркшейдером субподрядной организации.

При составлении ППГР по выносу в натуру основных геометрических элементов в результате аналитического расчета должны быть получены координаты точек, дирекционные углы и длины линий с заданной для выноса проектов на местность точностью.

При аналитическом расчете пользуются координатами и геометрическими размерами, заложенными в технической проектной документации (генплан, стройгенплан, рабочие и разбивочные чертежи). Точность расчетов должна отвечать требованиям проекта, строительных норм, правил и ГОСТ, предъявляемым к выносу в натуру основных геометрических элементов.

В отдельных случаях, когда это удовлетворяет требованиям точности разбивочных работ, допускается использовать для аналитического расчета координаты и геометрические размеры, полученные с планов графически. Планы (планшеты), на основе которых аналитически рассчитываются промежуточные точки, должны быть исследованы на деформацию бумаги для введения поправок при получении координат графически. Для определения поправок на деформацию бумаги на каждом плане должно быть измерено не

менее двух линий по взаимноперпендикулярным направлениям. При вычислениях значения координат округляют до 0,01 м.

Вынос в натуру главных и основных осей зданий и сооружений. После окончательного установления и закрепления на местности красных линий выносят в натуру главные оси зданий и сооружений.

Геодезические работы по выносу на местность подразделяются на основные и детальные. К основным работам относят определение в натуре главных и основных осей зданий и сооружений.

Главными осями здания или сооружения называются две линии, пересекающиеся под прямым углом, относительно которых здание или сооружение располагается симметрично (рис. 119).

Основными осями являются линии, фиксирующие контур здания или сооружения в плане.

Вспомогательные разбивочные оси — оси, относительно которых определяются геометрические параметры зданий и сооружений. Вспомогательные оси разбиваются параллельно или под углом к основным или главным осям.

Главные и основные оси служат базой для всех детальных геодезических работ.

При сложной конфигурации зданий или значительных его размерах, а также в тех случаях, когда группа зданий тесно связана между собой технологическими процессами, обязательно разбиваются главные оси.

При небольших зданиях и сооружениях разбивают обычно только основные оси.

Главные и основные оси сооружения разбивают на основании генерального плана стройплощадки, на котором должны быть указаны привязки этих осей к пунктам и знакам геодезической плановой и высотной основы, красных линий, строительной сетки, на основании разбивочных чертежей, плана фундаментов, исполнительных чертежей по выносу в натуру красных линий и главных осей инженерных коммуникаций.

Геодезической базой для выноса на местность главных, основных осей зданий и сооружений служат пункты триангуляции, полигонометрии, трилатерации, а также закрепленные в натуре пункты разбивочной плановой и высотной основы и точки красных линий.

Выносят в натуру проектные точки центра и главной продольной оси здания и сооружения закреплением их временными знаками. Затем выполняют контрольные измерения с центральной точки главной оси здания, сооружения до пунктов плановой основы.

После контрольных измерений, подтверждающих правильность определения центральной точки, разбивают главную поперечную ось здания, сооружения и контролируют измерения с одной из крайних точек этой оси.

Если контрольные измерения установят правильность разбивочных работ, то главная ось закрепляется постоянными знаками.

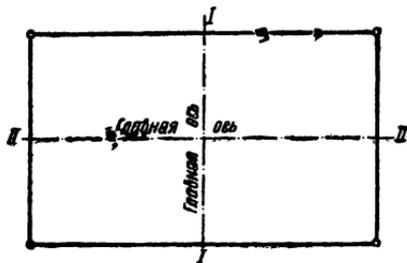


Рис. 119. Главные оси здания

При выносе в натуру основных осей зданий, сооружений, как правило, закрепляется временными знаками одна из продольных осей. После надлежащего контроля от точек основной продольной оси выносят проектные точки основных поперечных осей и продольные оси, которые закрепляются постоянными знаками после установления правильности выноса их на местность.

Число постоянных знаков, закрепляющих главные и основные оси зданий и сооружений, зависит от ситуации стройплощадки, сложности объемно-планировочных и конструктивных решений, организации производства и технологии строительного-монтажных работ, определяется проектом производства геодезическо-маркшейдерских работ (ППГР) и не должно быть менее указанных в табл. 110.

Т а б л и ц а 110

Класс зданий и сооружений	Минимальное число осевых знаков, закрепляющих главные и основные оси зданий и сооружений	
	продольные	поперечные
1	6	3
2	5	3
3	4	2
4	3	2

Точность выноса в натуру главных и основных осей зданий и сооружений должна быть установлена ППГР и геодезические методы выполнения разбивочных работ должны обеспечить определение положения точек, закрепляющих главные и основные оси зданий и сооружений относительно пунктов геодезической основы с точностью, предусмотренной ППГР.

Контролировать правильность выноса в натуру главных и основных осей зданий и сооружений следует на основании измерения от этих осей до пунктов геодезической основы, не участвующих при выносе проекта на местность.

На участках возведения отдельных зданий и сооружений необходимо создавать локальные осевые сети с вершинами, закрепляемыми на местности главные, основные и вспомогательные оси.

Такая локальная осевая сеть строится в виде прямоугольников, одни стороны которой соответствуют расстоянию между продольными основными осями, другие — расстоянию между вспомогательными осями здания (сооружения) или между основными поперечными осями (если в здании нет вспомогательной оси).

В соответствии с параметрами сборных жилых зданий (длина 20 м), производственных зданий и сооружений (длина секций 72, 120, 144 или 150 м) рекомендуются типовые схемы локальной осевой сетки, длина сторон которой кратна параметрам зданий и сооружений с учетом удаления осевых знаков от стен зданий и сооружений.

Локальная осевая сеть строится в следующем порядке:

выносятся в натуру конечные осевые знаки одной из основных продольных осей зданий и сооружений;

предварительно строятся проектные точки осевых знаков основных и вспомогательных осей;

точно определяются длины сторон, углы и координаты осевых знаков в локальной осевой сети;
 редуцируются центры знаков локальной осевой сети;
 строятся створные промежуточные знаки данной сети;
 проводятся контрольные измерения.

Предварительное построение на местности локальной осевой сети выполняется в соответствии с ППГР способами полярных координат, засечек, теодолитного хода.

Точное взаимное положение пунктов локальной осевой сети должно определяться способами микротриангуляции, полигонометрии.

Линейные измерения производятся подвесными мерными приборами, светодальномерами и др.

Угловые измерения выполняются теодолитами Тео 020 и другими, равноточными им, обязательно трехштативным методом, позволяющим значительно снизить влияние ошибки центрировки и редукции и, таким образом, повысить точность угловых измерений.

Метод построения главных, основных и вспомогательных осей должен выбираться исходя из точности, которая определяется ППГР в соответствии с табл. 111.

Т а б л и ц а 111

Классы точности построения осей	Средняя квадратическая ошибка угловых измерений	Относительная средняя квадратическая ошибка линейных измерений
I-о	5"	1:40 000
II-о	8"	1:25 000
III-о	20"	1:10 000
IV-о	30"	1: 5 000

Оси I-о класса строятся при возведении уникальных высотных жилых и общественных зданий, производственных зданий с металлическим каркасом (с фрезерованными конструкциями), оснащенных конвейерными линиями или прокатными станами.

Оси II-о класса точности строятся при сооружении производственных зданий с металлическими (с нефрезерованными) конструкциями, со сборным железобетонным или комбинированным (железобетонные колонны, металлические фермы и подкрановые балки) каркасом, оснащенных подкрановым и несложным технологическим оборудованием, а также при возведении доменных, цементных и коксовых печей.

Оси III-о класса точности строятся при возведении сборных, крупнопанельных, крупноблочных жилых и общественных зданий повышенной этажности (свыше 12 этажей), технологических туннелей путей коксовыталькивателей и перегружателей.

Оси IV-о класса точности строятся при строительстве крупнопанельных и крупноблочных жилых и общественных зданий высотой до 12 этажей, производственных и общественных зданий из монолитного железобетона, канатных дорог, сложных транспортных мостов, подъездных железных и автомобильных дорог на территории городов и промышленных площадок.

Осевые знаки следует размещать за пределами разработки котлована и закреплять в местах, свободных от временных и постоянных сооружений, складов строительных материалов, механизмов,

оборудования и т. д. Места закладки осевых знаков определяют на основе стройгенплана и согласовывают с главным инженером строительства.

Типовые осевые знаки приведены в разделе II.

Вынос на местность главных осей инженерных коммуникаций

В натуру главные оси инженерных коммуникаций выносят от полигонометрического (или теодолитного) и нивелирного ходов, точность которых предусматривается в ППГР.

К инженерным коммуникациям относятся железные, автомобильные и подвесные дороги, магистральные трубопроводы, линии электроснабжения, электросвязи и сигнализации, трубопроводы водоснабжения, газоснабжения, канализации, теплофикации и технологического назначения (нефтепровод, мазутопровод и др.).

На местность выносят и закрепляют постоянными знаками начальный, промежуточный и конечный пикеты, точки углов поворота на прямых и главные точки (НК, СК, КК) на кривых участках линий. Промежуточные пикеты закрепляют через интервалы, определенные проектом, или через каждые 100 м. Промежуточные точки кривых линий железных дорог разбивают и закрепляют через каждые 20 м.

Специальными знаками закрепляют точки пересечения главных осей проектируемых инженерных коммуникаций с существующими подземными инженерными коммуникациями и сооружениями.

Главные оси инженерных коммуникаций закрепляют на местности постоянными знаками по линиям оси и выносными знаками, находящимися за зоной влияния строительных работ.

Выносными знаками закрепляют главные оси автомобильных и железных дорог на длинных участках прямых линий через 1000 м, все четные пикеты, главные точки кривых НК, СК и КК, главные оси мостов, труб и других инженерных сооружений на оси дороги.

Вынесенные и другие, закрепленные на местности знаки обязательно привязывают к постоянным предметам местности, а при отсутствии их поблизости привязывают от удаленных постоянных предметов методом створов. Все эти знаки должны быть закоординированы и на них следует передать отметку.

При прокладке нивелирных ходов вдоль главных осей инженерных коммуникаций необходимо устанавливать постоянные реперы или марки через 1 км вне зоны влияния земляных работ, а также вблизи мест размещения зданий, сооружений, предназначенных для технологического обеспечения инженерных коммуникаций, мостов, труб, путепроводов и других инженерных сооружений; пересечения существующих коммуникаций, размещения (по проекту) глубоких выемок или высоких отсыпок грунта.

В натуру главные оси инженерных коммуникаций выносят по координатам углов поворота от пунктов плановой основы и контролируют промерами расстояний от главных и основных осей зданий и сооружений и смежных линий коммуникаций.

Главные оси межплощадочных и внутригородских магистральных трубопроводов, коллекторов следует выносить в натуру по IV-о классу точности (см. табл. 110).

Высотные отметки выносят на местность геометрическим ниве-

дированием вдоль линий инженерных коммуникаций с точностью IV класса, а для самотечных линий водоснабжения и канализации (при уклонах от 0,0005 до 0,005) — с точностью III класса.

Ниже приведены требования, предъявляемые к точности измерения при выносе в натуру главных осей автомобильных и железных дорог.

Характеристика точности измерений	Допустимая величина
Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов . . .	1'
Невязка углов в полигоне	$\pm 1,5\sqrt{n}$
Относительная ошибка измерения линии по разности двух измерений:	
при равнинном рельефе	1:1000
при горном рельефе	1:500
Невязка нивелирного хода или полигона	$\pm 30\sqrt{L}$, мм
Буквой n обозначено число углов в полигоне, L — длина хода или полигона, км.	

Точность выполнения геодезическо-маркшейдерских работ определяется в ППГР.

Правильность выноса на местность главных осей инженерных коммуникаций контролируют проложением полигонометрического (теодолитного) и нивелирного ходов по вынесенным в натуру точкам.

Расхождения проектных значений координат и отметок и полученных из вычислений контрольных ходов не должны превышать допусков, установленных в ППГР.

Детальные разбивочные работы

Разбивочные работы при сооружении котлованов, траншей, выемок и насыпей. Детальные разбивочные работы для котлованов и траншей состоят из выноса на местность нижнего контура, верхней бровки и отдельных характерных точек контуров. Перед этими работами нивелируют и выносят оси и высоты на дно котлована (траншеи), определяют объем земляных работ.

При зачистке откосов и дна котлована следует осуществлять систематический геодезическо-маркшейдерский контроль.

Разбивку котлована выполняют в соответствии с рабочими чертежами, на которых показывают главные или основные оси сооружений и все размеры, фиксирующие расположение контуров котлованов относительно осей зданий и сооружений. Выносить оси зданий и сооружений на дно котлована следует способом створных засечек с осевых точек, расположенных вне зоны влияния земляных работ. На дно котлована передают рабочие отметки на заложенные там временные реперы, число которых должно быть не менее двух.

Передают отметки на дно котлована двумя нивелирами при помощи стальной рулетки, подвешенной на кронштейне

(см. рис. 118), контролируя нивелирным ходом IVС класса въезд в котлован. Зачистку дна котлована контролируют при помощи визирок.

После зачистки дна котлована и откосов выполняют исполнительную съемку, причем нижний контур основания снимают от осей, перенесенных на дно котлована.

Ошибки разбивки границ нижнего контура и верхней бровки котлована относительно главных и основных осей сооружений не должны превышать в плане 3 см и по высоте — 1 см.

При сооружении насыпей и выемок необходимо предварительно закреплять точки поворота. Промежуточные точки на прямолинейных участках закрепляют через 50 м. Кроме того, закрепляют главные точки кривых (НК, СК и КК) и точки пересечения границ насыпи (выемки) с существующими и проектируемыми коммуникациями, проездами, акведуками и другими сооружениями.

Пользуясь этими точками, выполняют продольное и поперечное нивелирование и составляют рабочие профили, уточняющие данные рабочих чертежей.

На базе уточненных рабочих чертежей от точек закрепления осей разбивают бровки насыпей (выемок). На ровной местности основание откосов насыпи определяют огложением от оси насыпи по обе стороны отрезков, равных половине проектной ширины основания насыпи.

Насыпи (выемки) на косогоре можно разбивать методом ватерпасовки, но этот метод довольно громоздкий, а при влажных грунтах не всегда обеспечивает требуемую точность. Поэтому целесообразнее выполнять разбивку насыпей теодолитом, пользуясь наклонным лучом визирования. Контролируют работу при помощи заранее установленных на осях через 50 м откосников, высотников и визирок.

Точность произведенной работы не превышает в плане 1 : 3000 и 1 см по высоте. Ошибка в объеме грунта не должна быть больше 10%.

Наиболее простая формула инж. В. И. Мулина для подсчета объемов земляных масс по призмам, вполне обеспечивающая указанную выше точность, рекомендуется в книге ЦНИИОМТП «Геодезические работы на строительной площадке», вышедшей в 1973 г.

$$v = \frac{a^2}{6} h_{\text{кл}}^2 \frac{h_{\text{кл}} + 3h_3}{(h_{\text{кл}} + 2h_3)^2}, \quad (182)$$

где $h_{\text{кл}} = h_1 + h_2$ — высота клиновидной части призмы;
 h_3 — высота пирамиды призмы.

Разбивочные работы при возведении фундаментов и подземных частей зданий и сооружений (нулевой цикл). Детальные разбивочные работы по нулевому циклу начинают после контроля, осуществляемого повторными измерениями, правильности положения вынесенных в натуру строительных реперов и осевых разбивочных знаков (главных, основных и вспомогательных осей или линий, им параллельных).

Детальную разбивку осей и разбивочных горизонтов выполняют на основе рабочих чертежей на данное здание или сооружение и ППГР.

Для детального построения необходимы вертикальные разрезы котлована, сплошных и столбчатых фундаментов и следующие планы:

основных, пролетных и межсекционных осей здания или сооружения;

фундаментов здания и сооружения;

фундаментов под технологическое оборудование.

В натуру выносят и закрепляют точки пересечения продольных и поперечных осей, фиксирующих центр фундамента, колонн, столб-

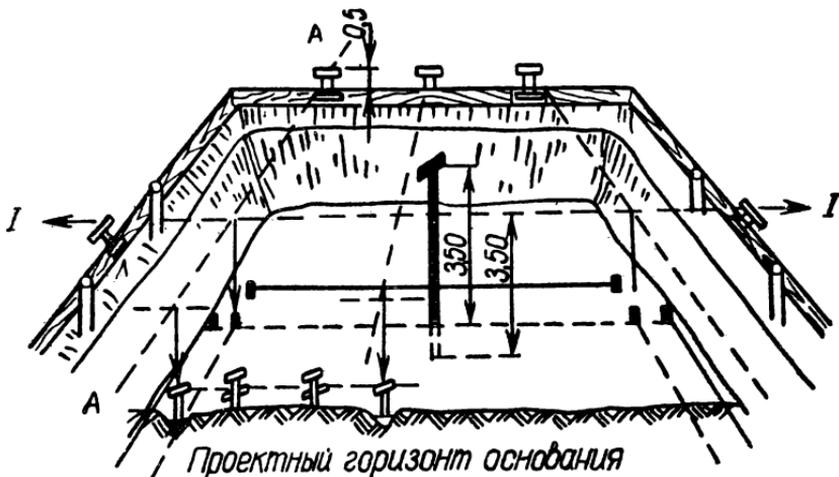


Рис. 120. Проектирование осей сооружения на дно котлована

чатых и свайных, сборных и монолитных фундаментов и других вертикальных опор; продольных и поперечных, плановых и высотных установочных рисок на опорах.

Точки пересечения осей или линий, им параллельных, закрепляют металлическими штырями или кольями.

Детальную разбивку осей фундаментов и опалубки на дне котлована выполняют с помощью нитяных отвесов [81], подвешенных на стальной проволоке, фиксирующей положение разбивочной оси или линии ей параллельной (рис. 120).

Для котлована глубиной более 20 м или для здания большой длины (свыше 50 м) детальная разбивка производится по дну котлована с помощью теодолита с пунктов главных и основных осей методом створа, а расстояния между вынесенными на дно котлована точками измеряют стальной компарированной рулеткой.

Нередко монтаж фундаментов ведут с помощью башенных кранов, установленных на подкрановые пути, оси которых должны быть привязаны линейными промерами к осям сооружений. Для устройства подкрановых путей от оси их в обе стороны откладывают половину ширины колеи и прочно закрепляют конечные точки обеих ниток пути. Затем укладывают шпалы и рельсы.

Ниже приведены требования, которые необходимо соблюдать при устройстве подкрановых путей для башенных кранов.

Наименование отклонений	Допуски, мм
Разность отметок головки одного рельса на расстоянии 10 м	± 20
Разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении	± 5
Отклонение ширины колеи в каждой нитке пути от проектной	± 3
Отклонение расстояния между осями обеих ниток от проектного	± 10

Монтаж ленточных фундаментов начинают с укладки фундаментных блоков на углах здания, затем устанавливают промежуточные блоки на пересечениях стен. Положение блоков по отношению к осям и по высоте должно быть тщательно выверено. Смещение фундаментных блоков относительно разбивочных осей не должно превышать ± 10 мм, а отклонение отметок фундамента от проектных — ± 5 мм.

Оси отдельных фундаментов под колонны каркасных зданий выносят от осей сооружений, закрепленных на выносах знаками постоянного типа при помощи обноски и опалубки фундаментов. При установке опалубки фундаментов колонн необходимо соблюдать строгую горизонтальность места опирания колонны, т. е. дна стакана.

Дно углублений фундаментов (стаканов) нивелируют по всем углам и середине. По насечкам на фундаментах проверяют расстояния между осями.

Когда фундаменты стаканного типа устанавливают в сплошных котлованах, высотную отметку передают на бетонную подушку (подготовку). Оси фундаментов передают со дна котлована.

Сооружение монолитных фундаментов начинают с устройства опалубки корытообразной формы для укладки арматуры и бетонной смеси. Опалубку необходимо делать в строгом соответствии с проектными разбивочными осями здания. С этой целью между осевыми рисками, нанесенными на обноске, или между осевыми створными знаками натягивают тонкую проволоку и в пересечениях ее подвешивают отвесы, при помощи которых получают ряд точек в котловане. Эти точки должны совпадать с осевой линией корыта опалубки.

На опалубку (после ее выверки) передают отметку верхнего среза фундамента, применяя нивелирную рейку, и следят за правильностью укладки бетонной смеси до проектной отметки.

Если поверхность фундамента должна быть строго горизонтальной, то в бетон вставляют штыри-маяки, торцы которых устанавливают под проектную отметку нивелированием, а поверхность бетона по торцам маяков затирают.

Оси фундаментов под металлические колонны разбивают аналогично осям отдельных фундаментов под колонны каркасных зданий, с той только разницей, что в первые ставят анкерные болты с помощью специальных кондукторов (шаблона), прочно прикрепляемых к опалубке фундаментов. Простейший кондуктор под колонны, воспринимающие небольшую нагрузку, делают из прочных деревянных досок, неподвижно скрепленных между собой и с опа-

лубкой. При значительной нагрузке применяют стальные кондукторы (рис. 121).

Отверстия для анкерных болтов кондуктора должны соответствовать в плане отверстиям на башмаке колонны.

Согласно требованиям СНиП III-V.3-62 точность установки анкерных болтов в плане должна быть ± 5 мм, а по высоте ± 20 мм.

В свайных фундаментах центры свай закрепляют кольями или металлическими штырями по участкам в зависимости от принятой организации работ по забивке свайного поля. При разбивке осей кустов и одиночных свай, находящихся в стороне от оси, применяют способы перпендикуляров, засечек и полярный в зависимости от привязок в проектных чертежах свайных полей.

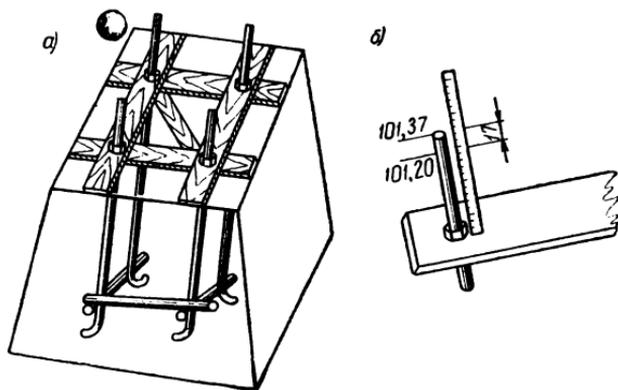


Рис. 121. Установка анкерных болтов

а — шаблон из деревянных досок; б — кондуктор

По окончании забивки свай на оголовки их выносят проектную отметку низа ростверка, под которую сваи срезают и затем производят исполнительную съемку с составлением схемы свайного поля.

Разбивочные работы для подземных коммуникаций. Для выноса в натуру трасс инженерных коммуникаций необходимо иметь разбивочный чертеж, на котором нанесены оси и размеры проектируемых трасс. Каждый поворотный пункт трассы должен быть привязан к пунктам геодезической сети, к твердым опорным пунктам местности или к красным линиям, что достаточно для проведения расчетов по его выносу в натуру. На разбивочном чертеже отражают запроектированную величину поворотных углов. При необходимости сохранить точным значение угла на плане указывают на возможность изменения других элементов трассы, зависящих от принятой величины угла.

Места врезок проектируемой трассы к существующим трубопроводам четко обозначают на плане с показом расстояний от врезки до ближайших колодцев. Для проложения криволинейной трассы задается радиус закругления. На местность выносят начало и конец трассы, все ее поворотные точки, проектируемые колодцы и камеры. При прохождении трассы по кривой последнюю раз-

бывают в натуре. Для разбивки трассы на местности выдается задание.

Очевидно, что чем крупнее масштаб съемки и чем больше опорных ситуационных элементов существует в натуре, тем легче решить задачу разбивки трассы. В случае когда трасса прокладывается через застройку или другие наземные препятствия, план крупного масштаба особенно необходим.

Точность выноса в натуре трассы зависит от погрешности графического определения координат, масштаба плана, опорных ситуационных элементов. Эти причины создают необходимость проложения теодолитного хода определенной длины и с нужным числом поворотных пунктов.

В этом случае среднюю квадратическую ошибку m сдвига конечной точки трассы под влиянием измерения углов и линий вычисляют по формуле

$$m^2 = nm_1^2 + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \cdot \frac{S^2 m_{\beta}^2}{\rho^2}, \quad (183)$$

- где n — число сторон;
 m_1 — ошибка в измерении стороны;
 S — длина стороны;
 m_{β} — погрешность измерения угла.

Методы выноса трасс на местность

Вынос трассы в натуре от местных предметов. Исходными данными для выноса трассы служат привязки поворотных точек к пунктам ситуации. При этом данные для за-

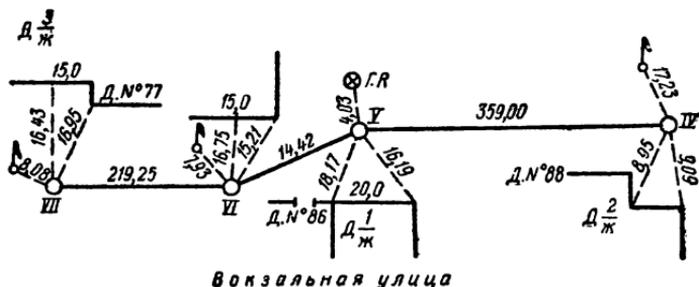


Рис. 122. Привязка поворотных точек инженерной сети к постоянным предметам местности

сечек и длины перпендикуляров берутся графически с плана. Для засечек выбирают четкие контурные точки, достаточно близкие к поворотным точкам трассы. Такими точками могут быть полигонометрические знаки, реперы, углы зданий, выступы их, ступени, ворота, точки на определенных расстояниях по фасаду углов зданий, забо-

ров, центры колодцев подземных сооружений, мачты, столбы, деревья и пр. (рис. 122). Следует стремиться к тому, чтобы для привязок использовались такие предметы местности, которые снимались непосредственно с теодолитных ходов.

Число засечек для каждого поворотного пункта должно быть не менее трех. Метод разбивки трасс от местных предметов можно применять в тех случаях, когда трасса имеет много поворотных точек и нет больших прямолинейных интервалов трассы. При недостаточном числе на местности опорных точек для выноса поворотных точек трассы и колодцев могут быть использованы элементы графического построения, например прямые линии, соединяющие твердые опорные точки. Отдельные точки на этой прямой могут играть роль привязочных. Расстояния от привязочных точек до определяемых не должны превышать длин засечек и перпендикуляров, установленных для данного масштаба (см. с. 233—234).

При определении длин привязок с плана следует учитывать ошибки составления плана и деформации бумаги и вводить соответствующие поправки. По выбранным привязкам прокомпарированной стальной рулеткой отбивают в натуре поворотные и другие точки трассы, после чего линии между поворотными пунктами измеряют и по заданным расстояниям от поворотных точек трассы намечают колодцы. При наличии расхождений между заданными расстояниями и полученными на местности, выходящими за пределы точности данного масштаба, выясняют причины таких расхождений и, в случае необходимости, трассу разбивают вновь.

При разбивке трассы на стадии рабочих чертежей целесообразно привязывать к разбитой на местности трассе все расположенные поблизости колодцы подземных сооружений и другие ситуационные элементы в полосе шириной 6 м. Такая привязка ситуации к трассе позволяет еще раз проконтролировать правильность разбивки трассы по отношению к предметам местности, определяющим ее расположение, и убедиться в возможности беспрепятственного строительства запроектированного сооружения.

Вынос трассы из местность от теодолитных ходов. При отсутствии ситуационных элементов, от которых можно вести разбивку трассы, ее разбивают от опорных теодолитных ходов, прокладываемых вблизи трассы между полигонометрическими знаками. В этом случае предварительно определяют графические координаты всех поворотных точек трассы с учетом деформации плана.

Теодолитные ходы проектируют на плане с таким расчетом, чтобы они обеспечивали возможность получения заданных точек трассы с помощью простейших линейных и угловых измерений.

Поворотные точки теодолитных ходов закрепляют на местности штырями или деревянными кольями и привязывают к постоянным предметам местности.

При прокладке теодолитных ходов разбивают и закрепляют также промежуточные (створные) точки, располагаемые вблизи поворотных точек запроектированной трассы.

Прокладка в натуре теодолитных ходов и обработка их ведутся в соответствии с требованиями табл. 101 и 102.

Вспомогательный теодолитный ход накладывается на проектный план по вычисленным координатам.

По графическим координатам поворотных точек запроектированной трассы и вычисленным по измеренным углам и линиям в натуре координатам вспомогательного теодолитного хода решают ряд ана-

литических задач, в результате чего получают все необходимые данные (углы и линии) для выноса поворотных точек трассы в натуре способами засечек, перпендикуляров или полярным способом. После этого составляют рабочую схему, на которой показывают: вспомогательный теодолитный ход; точки трассы, подлежащие разбивке на местности; все цифровые данные, необходимые для разбивки трассы и определяющие геодезическую связь между вспомогательным теодолитным ходом и трассой. Схему трассы зарисовывают в абрисной книжке.

Все расчеты, как правило, проводят «в две руки» и тщательно корректируют. Составленная на основании произведенных расчетов рабочая схема передается исполнителю для выноса трассы в натуре.

Вынос трассы на местность от красных линий. Если красные линии закреплены в натуре и трасса запроектирована в зависимости от них, то все расчеты для разбивки трассы на местности проводят аналогично расчетам при выносе ее от вспомогательных теодолитных ходов. В данном случае вспомогательным теодолитным ходом являются надлежаще закрепленные в натуре красные линии (рис. 123).

Процесс разбивки трассы несколько усложняется, если красные линии не закреплены в натуре. Не всегда бывает целесообразно выносить на местность красные линии, а от них трассу. В таких случаях, имея координаты красных линий, можно вычислить координаты поворотных точек трассы, так как последняя обычно проектируется в прямой зависимости от положения красных линий, например, она может быть параллельна им и проходить на некотором расстоянии от них, под определенным углом к ним и пр.

Таким образом, первой стадией работ при разбивке трассы от красных линий будет вычисление координат точек трассы по заданным условиям расположения трассы по отношению к красным линиям.

Второй стадией работ будет проектирование вспомогательных теодолитных ходов и прокладка их в натуре.

Третья стадия — это составление разбивочной рабочей схемы, о которой уже говорилось, и, наконец, четвертая стадия — процесс разбивки трассы от вспомогательного теодолитного хода. Как правило, все вычислительные действия проводят дважды.

Полевые контрольные измерения выноса в натуре поворотных точек трассы, проводимые другим техником, или от других опорных пунктов, или от тех же опорных пунктов другими приемами, обязательны.

Разбивка трассы в натуре. При всех способах разбивки трассы на местности необходимо иметь разбивочную схему, на которой должны быть все данные, определяющие геодезическую связь между поворотными пунктами трассы и элементами ситуации или строениями на местности вспомогательными линиями и точками.

Запроектированные углы выносят на местность дважды (при двух положениях вертикального круга прибора).

Все линейные измерения проводят компарированной стальной лентой или стальной рулеткой с обязательным двойным измерением с разных концов вынесенных линий. При линейных измерениях на трассе разбивают пикеты и центры проектируемых колодцев.

Неприступные расстояния можно определить методом параллактической полигонометрии, используя теодолит, точность измерений

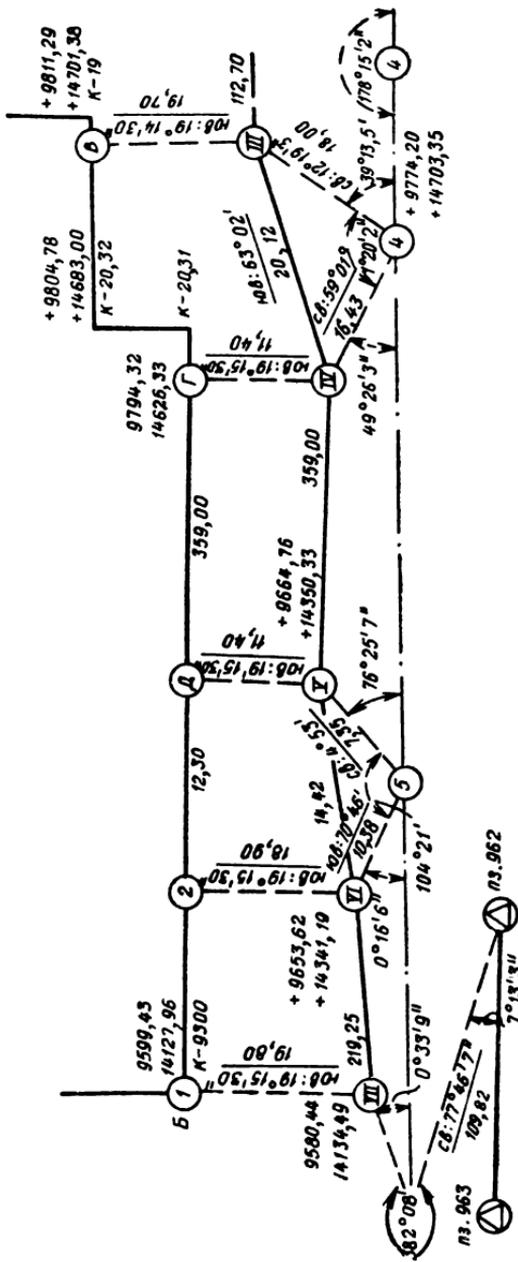


Рис. 123. Разбивка трассы от красных линий

которого 30", и измеряя базис с точностью до ± 1 мм. Если можно выполнить измерения непосредственно между вынесенными на местности поворотными пунктами трассы, то обязательно проводят контрольные измерения углов и линий между ними.

При прохождении трассы через застройку выносят в натуре запроектированные точки пересечений трассы со строениями и на последних отмечают краской положение трассы. От этих полученных в натуре точек прокладывают теодолитные ходы до ближайших опорных пунктов.

Нивелирование трассы. В процессе изысканий для рабочих чертежей проводится нивелирование трассы с целью определения положения ее на профиле проезда.

Особое значение имеют нивелирные работы для самотечных канализационных трасс, проектируемых иногда с небольшими уклонами (каналы, коллекторы крупного диаметра). Нивелирный ход по трассе привязывают с обоих концов к реперам нивелировки ПС и ППС классов и ко всем реперам, находящимся вблизи нивелирного хода.

Точность нивелирования для проектирования канализационной сети определяется заданным уклоном, наличием высотной опоры по трассе, а также длиной трассы. При сгущенной сети высотной опоры ППС и ППС классов обычно применяют техническое нивелирование.

В нивелирование трассы необходимо включить все поворотные точки трассы, пикеты, проектируемые колодцы, все характерные точки земли, пересечения канав, дорог, трубопроводов, головки рельсов железных дорог и трамвайных путей, верх и низ подпорных стенок и пр.

Точки пересечения трассой трубопроводов устанавливают непосредственным пересечением линии трассы и линии, соединяющей центры колодцев подземного сооружения. В результате нивелировки трубопроводов должны быть получены отметки верха люка, середины лотка или лотков (для канализации и водостока) и верха трубы или труб (для остальных трубопроводов).

При пересечении трассой зданий нивелируют точки начала и конца здания и пол первого этажа. При необходимости размещения трассы в подвальном помещении нивелируют входы в подвалы, пол подвала и расположенных в нем трубопроводов.

Трубопроводы, проходящие через водоемы в тех местах, где нет моста, приходится погружать на дно (дюкер или сифон). Для проектирования дюкеров или сифонов необходимо иметь подробные сведения о подводном рельефе. Нивелирные планы и профили водоемов составляют путем измерения живых сечений водоемов по заданным направлениям.

В результате нивелировки трассы составляют продольный ее профиль в масштабе для вертикальных расстояний 1:100 и для горизонтальных — 1:1000.

Рабочая разбивка трассы. При рассмотрении рабочих чертежей в утверждающих инстанциях могут быть внесены изменения в местоположение запроектированной трассы и колодцев. Могут также произойти изменения в ситуации местности или измениться признаки, определяющие местоположение поворотных точек трассы и колодцев. Наконец, не всегда выносят в натуре отдельные элементы сети (связки, аварийные пуски, домовые присоединения и пр.). Поэтому приходится проводить повторную, контрольную (рабочую) разбивку трассы перед строительством.

В процессе рабочей разбивки трассы на местности закрепляют все элементы трассы методами засечек, створов, угловой привязки, параллельных линий и др.

Подлежащие сдаче строительной организации точки трассы закрепляют в городских условиях (на асфальте и мостовой) металлическими костылями, в загородных условиях — деревянными столбами или металлическими трубами.

В связи с тем что реперы, полигометрические знаки и другие опорные пункты закладывают в здания и грунт, не исключается возможность изменения их высот, вызываемого неизбежной деформацией зданий и верхних слоев почвы в условиях непрерывного процесса городского строительства. В этих условиях необходимо при рабочей разбивке трасс вести контрольную поверку существующих городских реперов и одновременно дополнять ее рабочими реперами для строительства канализационной сети. Нормальным расстоянием между реперами для строительства канализационной сети можно считать 100 м, для водопроводных трасс рабочие реперы устанавливают через 150—200 м.

Проектируемые рабочие реперы в застроенной части города и на узких проездах необходимо располагать с чередованием по одной и другой сторонам улицы, чтобы при засыпке земель из котлована одной стороны можно было пользоваться реперами противоположной стороны.

В местах щитовой проходки (через железнодорожные пути, крупные магистрали и пр.) рабочие реперы устанавливают в начале и конце проходки. Такое же правило применяется в местах проходки дюкером или сифоном.

Нивелируют по реперам в соответствии с требованиями табл. 98 и 99. Отметки реперов, полученные в результате нивелирования, проверяют.

Разбивка осей труб в плане и по высоте. Заключительной стадией разбивочных работ, выполняемых уже в процессе строительства водопроводных и канализационных сооружений, является разбивка оси трубы в плане и по высоте.

Ось трубы в плане разбивают натягиванием проволоки-расчалки между центрами колодцев после вскрытия котлована. Если колодцы находятся на большом расстоянии друг от друга, то проволоку натягивают между двумя выбранными точками в створе колодцев, установленными по теодолиту. К расчалке привешивают отвес, который указывает ось трубы.

Трубы по высоте укладывают следующими способами:

- по уровню (в тех случаях, когда протяжение трассы невелико и при укладке не требуется большой точности);
- с помощью постоянных и ходовых визирок;
- по установленным маякам.

При первом способе заданный проектный уклон трубы достигается с помощью уровня с вкладышем. На укладываемую трубу устанавливают уровень с вкладышем; высота вкладыша определяется по формуле

$$a = di, \quad (184)$$

где a — высота вкладыша;
 d — длина оправы уровня;
 i — заданный уклон.

Укладка канализационных труб с помощью постоянных и ходовых визирок и имеющих отметку показана на рис. 124.

Визирки прибивают к полочкам так, чтобы визирный луч по визиркам шел параллельно проектной оси трубы. Этого можно добиться в том случае, если высоты прибитых визирок на одном и другом колодце совпадают. Изготовив ходовую визирку, высота которой

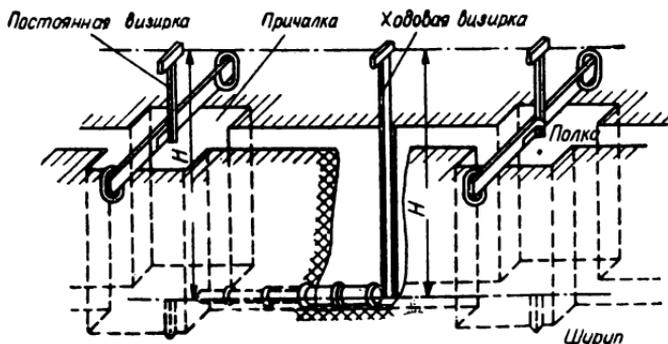


Рис. 124. Укладка канализационных труб с помощью постоянных и ходовых визирок

равна разности отметок прибитой визирки и проектной отметки лотка труб, можно спрофилировать лоток в любой точке трассы между колодцами при условии, что верхние точки всех трех визирок находятся в одной плоскости.

Разбивочные работы при возведении конструктивных элементов зданий и сооружений

Плановая разбивочная сеть на исходном горизонте. Плоскость, проходящая через блоки фундамента, бетонную подготовку или перекрытия нулевого цикла (последние на высоте несущих конструкций подземной части здания или сооружения) носит название условной плоскости или исходного горизонта. Плановая разбивочная сеть создается в виде сторон, повторяющих общую конфигурацию здания или сооружения, так чтобы разбивку установленных осей можно было выполнять непосредственно линейными промерами вдоль сторон хода или построением при помощи створа (рис. 125).

Плановая разбивочная сеть на исходном горизонте создается со знаков разбивки основных осей здания или сооружения методами полярных и прямоугольных координат, а также при помощи створов.

Измеряя основной ход по исходным точкам, можно убедиться в надежности координат этих знаков.

После измерения исходных точек основного хода редуцируют основные точки плановой разбивочной сети, строят промежуточные точки сети и прокладывают контрольный ход.

Точность построения плановой разбивочной сети на исходном горизонте должна быть на один разряд выше точности на монтажном горизонте.

Основные точки закрепляют временными знаками, если можно обеспечить их сохранность и неподвижность на период выполнения работ по созданию сети или временными отметками на постоянных знаках.

При построении плановой разбивочной сети на перекрытиях пулевого цикла многоэтажных зданий при сооружении подземной части здания обязательно производят приемку геодезических работ.

Число опорных точек разбивочной сети на исходном горизонте

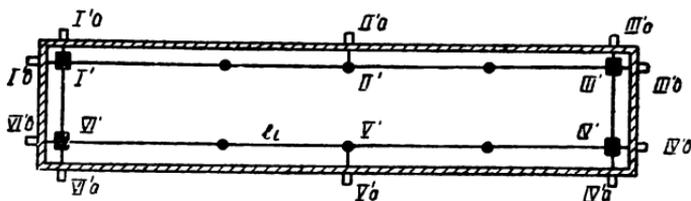


Рис. 125. Исходная плановая сеть на перекрытии подземной части жилого дома

определяют при составлении ППГР, и оно зависит от размеров и назначения здания или сооружения, схемы технологии строительно-монтажных работ и других условий.

Плановую сеть на исходном горизонте закрепляют дюбелями, керном на закладных деталях, в специальных турах в подземной части здания, в фундаментах и плитах перекрытия и т. п.

По угловым (основным) закрепленным точкам прокладывают полигонометрический ход или получают координаты этих точек с помощью точных измерений (микротрилатерации). В табл. 112 приведены допуски по разрядам точности плановых разбивочных сетей на исходном и монтажном горизонтах здания или сооружения.

Для определения величин редукции вычисляют координаты точек, полученных после уравнивания полигонометрического хода или микротрилатерации в условной системе координат. Найденные координаты сравнивают с теоретическими и наносят их на редукционные листы, отмечая порядковый номер точки и направление не менее чем на два пункта сети. Сравнивают значения угловых и линейных элементов редукции с полученными в результате вычислений.

Переносят теоретические координаты с действительного (фактического) положения точки в натуре следующим образом: фактическую точку на редукционном листе совмещают с точкой в натуре и ориентируют по одному направлению, а контроль ориентирования выполняют по другому направлению. Теоретическое положение точки на редукционном листе перекальвается на пластину. Вынесенную теоретическую точку контролируют по линейной и угловой величинам элементов редукции, после чего ее надежно закрепляют на весь период строительства здания или сооружения.

Если линейный элемент редукции более 10 см, то переносят теоретическую точку методом полярных координат, пользуясь транспортом и масштабной металлической линейкой. Линейный элемент

Показатель	Класс точности		
	I-Д	II-Д	III-Д IV-Д
Средняя квадратическая относительная ошибка сети	1:20 000	1:15 000	1:10 000
Линейные измерения:			
1. Компарирование	Нормальная линейка 3 приема, $m_k = \pm 0,35$ мм Теодолитом $\epsilon = \pm 1$ см	Нормальная линейка. $m_k = \pm 0,4$ мм	Нормальная линейка I прием, $m_k = \pm 0,5$ На глаз $\epsilon = \pm 5$ см
2. Уложение прибора в створ			Динамометром $\sigma_p = \pm 5$ Н, $m_f = \pm 0,25$ мм
3. Натяжение			Ватерпасовка или без учета h до 20 см
4. Превышение концов рулетки	Техническое нивелирование при $h \geq 1$ см без учета превышения до 0,1 м		
5. Температура	Стальная рулетка с поправками метровых делений, приведенными к температуре эксплуатации с определением температуры по термометру (\pm) и введением поправок за разность коэффициентов расширения стали и железобетона		без учета температуры
6. Счеты по рулетке с миллиметровыми делениями (ход прямой и обратный), мм	Три пары отсчетов (2 сдвига) $m_{отсч} = \pm 0,2$	Две пары отсчетов (1 сдвиг) $m_{отсч} = \pm 0,25$	Одна пара отсчетов (без сдвига) $m_{отсч} = \pm 0,35$
7. Метод фиксации	Насечка скальпелем на металле при $m_{\phi} = \pm 0,30$ мм	Кернение на металле при $m_{\phi} = \pm 0,5$ мм	Карандаш по грубой поверхности бетона или кирпича при $m_{\phi} = \pm 0,8$ мм Карандаш по грубой поверхности бетона при $m_{\phi} = \pm 1,2$ мм
8. Центрирование теодолита и визирных знаков		Оптический отвес $m_{ц} = \pm 0,5$ мм	
9. Допустимые угловые невязки	10"	10"	20"
10. Теодолиты	T20, T5	T20, T5	T30, T20 T30, TT50

редукций свыше 20 см для I-Д и II-Д классов точности плановых сетей не допускается.

Промежуточные точки на исходном горизонте строят после редуцирования промерами вдоль сторон плановой сети, причем сначала намечают, а после контроля закрепляют положение промежуточной точки.

Линейные измерения производят аналогично применяемым в полигонометрическом ходе.

По основным и промежуточным точкам вновь прокладывают полигонометрический ход того же разряда, по результатам уравнивания которого определяют расхождение теоретических координат точек с полученными. Эти расхождения не должны превышать величины

$$\Delta_{x,y} = \frac{S_{x,y}}{T_{\text{пс}}}, \quad (185)$$

где $S_{x,y}$ — расстояние по оси x или y между наиболее удаленными основными точками;

$T_{\text{пс}}$ — знаменатель предельной относительной ошибки полигонометрической сети данного разряда точности.

При расхождениях, больших $\Delta_{x,y}$, снова редуцируют и измеряют смежные углы и стороны.

Высотная основа на исходном горизонте. Такая основа создается методом геометрического нивелирования от реперов, устанавливаемых на строительной площадке. Отметки на строительные реперы передают от реперов городской нивелирной сети или от реперов главной высотной основы.

По основным точкам плановой разбивочной сети на исходном горизонте прокладывают нивелирный ход. В табл. 113 указан класс точности высотного обоснования на исходном горизонте.

Т а б л и ц а 113

Класс точности высотной основы	Типы нивелиров		Средняя квадратическая погрешность	
	рекомендуемые	могут быть заменены	на 1 км хода, м	на 1 станцию, мм
I-Д	НС3, НС-4, В-3	НВ-1, НМС-2А и им равноточные	8	2
II-Д	НС 4, НТ	НВ-1, НГ или им равноточные	10	2,6
III-Д	НС, НЛС, Ni-025	НВ-1, НГ	15	4
IV-Д	НГ, НТС, НЛС, Ni-025	НВ-1, НГ, НТ	20	5

Плановая разбивочная сеть на монтажном горизонте. Монтажный горизонт создается на каждом этаже здания для обеспечения

необходимой точности сборки конструкций в узлы в многоэтажных зданиях или многоярусных сооружениях и представляет собой основную плоскость, проходящую через опорные площадки возведенных несущих конструкций определенного этажа надземной части здания или яруса сооружения.

Число необходимых опорных точек, подлежащих передаче на монтажный горизонт, зависит от размеров здания, сооружения в плане и должно быть не менее трех [26, 86].

Опорные точки на монтажный горизонт проектируют теодолитом методом вертикальной плоскости от знаков локальной осевой сетки или методом отвесной прямой с помощью зенит-приборов, нивир-приборов или лазерных приборов от точек исходного горизонта.

Выбор метода проектирования и расчет точности определяют при составлении ППГР с учетом допустимых средних квадратических ошибок передачи разбивочных осей, приведенных в табл. 114. Проектируемые точки на разбивочных осях выбирают из условия обеспечения видимости с исходного горизонта на все этажи (ярусы) здания, сооружения, в зависимости от формы локальной осевой сетки или исходной плановой сети и в зависимости от возможности построения с этих точек рабочей (плановой) сети на монтажном горизонте и технологии строительно-монтажных работ.

Таблица 114

Высота горизонта, на которую проектируют ось, м	Допустимые средние квадратические ошибки проектирования опорных точек (мм) для классов точности		
	1-п	2-п	3-п
До 15	± 1	± 1	± 3
От 15 до 27	± 1	± 2	± 3
От 27 до 36	± 2	± 3	± 4
Свыше 36	По специальному расчету		

При методе вертикальной плоскости теодолит устанавливают точно в створе разбивочной оси, зрительную трубу ориентируют на риску, нанесенную на доколь здания, а на перекрытии данного этажа ставят треногу с закрепленным нитяным отвесом (или оптическим отвесом) на расстоянии не менее 50 см от грани наружной стены (панели) (рис. 126). После этого при помощи трубы теодолита в заданный створ вводят визирную цель (отвес), закрепляющую положение разбивочной оси на перекрытии. При другом положении круга теодолита повторяют эти же операции и фиксируют второе положение заданного створа. Среднее положение рисков и будет искомой осью на перекрытии.

Этот метод рекомендуют использовать при возведении зданий средней и малой этажности и при наличии больших свободных территорий в границах строительной площадки

Работу необходимо выполнять хорошо выверенным теодолитом при двух положениях вертикального круга, так как в методе вертикальной плоскости на точность работы влияют ошибки наклона оси вращения прибора, наклона оси вращения трубы, визирования, фиксации точки на монтажном горизонте, коллимационная ошибка и

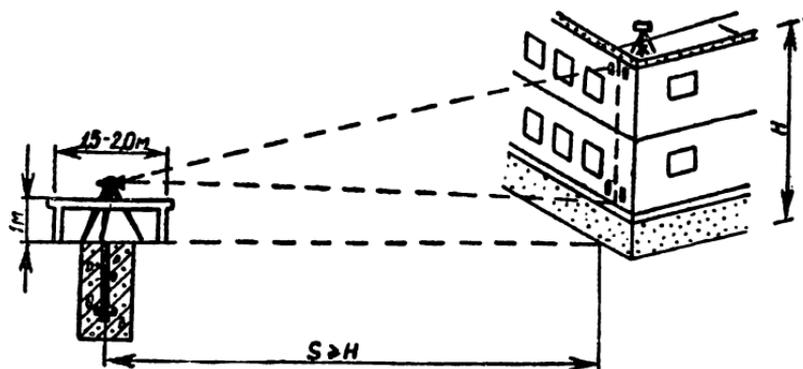


Рис. 126. Проектирование точек опорной сети на монтажный горизонт методом вертикальной плоскости с помощью теодолита

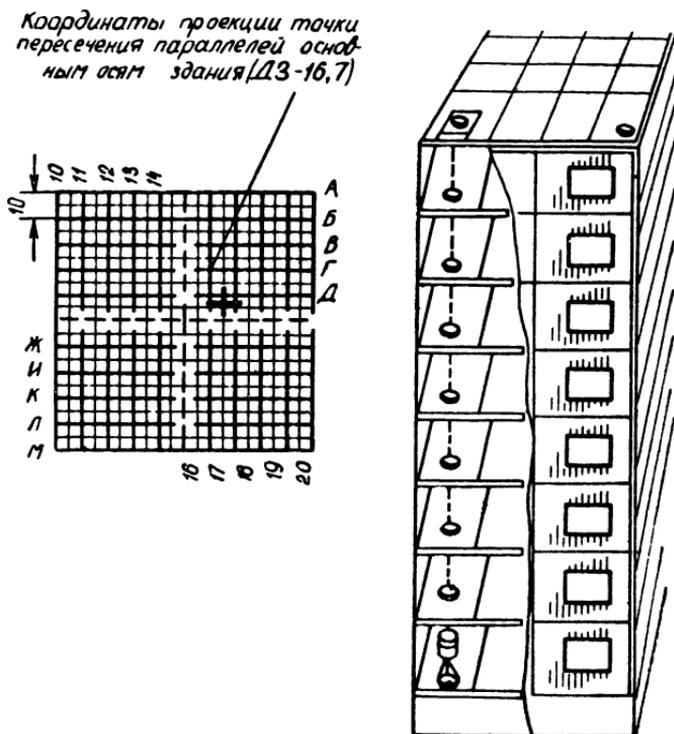


Рис. 127. Проектирование точек опорной сети на монтажный горизонт методом вертикальной линии

ошибка установки теодолита в створ. Для повышения точности метода вертикальной плоскости применяют теодолиты с наклонными уровнями, позволяющими учесть влияние ошибки наклона оси вращения прибора.

При методе отвесной прямой опорные точки передают по высоте с помощью зенит-прибора вертикальным проектированием (рис. 127) и располагают их точки параллельно осям конструкций (за пределами их габаритов) на перекрытиях исходного горизонта, либо за пределами здания на выносных площадках, стараясь использовать весь период монтажа здания.

Метод передачи осей вертикальным проектированием применяют при наличии оптического центрированного прибора ОЦП, прибора оптического вертикального проектирования ПОВП, лазерного зенит-центрира ЛЗЦ или PZL (К. Цейс).

Оси на следующие этажи переносят с помощью зенит-прибора, устанавливая его над опорной точкой. Применение приборов оптического вертикального проектирования для выноса осей на этажи с точек, заложенных внутри здания, ускоряет процесс разбивочных работ и тем самым позволяет начать раньше монтаж следующего этажа (яруса), обеспечивает безопасность геодезических работ, так как позволяет намечать точки не на наружных стенах здания, а в 1,5—2 м от них и, наконец, создает возможность выносить оси на этажи параллельно с монтажными работами. Вместе с тем передача разбивочных осей по высоте особенно методом вертикального проектирования, невозможна без надежной связи между исполнителями на исходном и монтажном горизонтах.

Допустимая средняя квадратическая ошибка проектирования $\sigma_{пр}$ точки опорной плановой сети с исходного на монтажный горизонты вычисляется по формуле

$$\sigma_{пр} = \frac{\Delta_{р:г}}{3\sqrt{2}},$$

где $\Delta_{р:г}$ — допуск на разбивку осей при построении разбивочной основы на исходном горизонте здания и сооружения.

Контролируют точность проектирования опорных точек измерением расстояния между точками на монтажном горизонте (S_m) и между теми же точками на исходном горизонте (S_n) с точностью построения разбивочных осей на исходном горизонте.

Разность $S_m - S_n = \sigma_S$ не должна быть больше величины, определяемой по формуле

$$\sigma_S = \sqrt{2\sigma_{оп}^2 + \frac{S_n^2}{T_{оп}}},$$

где $\sigma_{оп}$ — допустимая средняя квадратическая ошибка проектирования опорной точки на монтажный горизонт;

$T_{оп}$ — относительная средняя квадратическая ошибка построения разбивочных осей на исходном горизонте (см. табл. 113).

Если разность σ_S — будет недопустимой, то проектирование повторяют.

Все контрольные линейные измерения производят стальной компарированной рулеткой с учетом температуры и натяжения.

При допустимых расхождениях фактических и теоретических значений координат точки смещают на половину отклонения и окончательно закрепляют керном и окрашивают масляной краской.

Высотное обоснование на монтажном горизонте. Это обоснование создается методом геометрического нивелирования от рабочих реперов на строительной площадке, определенных от реперов главной высотной сети.

Высотное обоснование на монтажном горизонте строится в виде систем реперов на исходном и монтажном горизонтах.

Классы точности рабочей высотной сети, в зависимости от точности выполнения строительного-монтажных работ, устанавливаются ППР.

Раздел III. ГЕОДЕЗИЧЕСКО- МАРКШЕЙДЕРСКИЕ КОНТРОЛЬ И НАБЛЮДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Общие требования. Основной задачей геодезическо-маркшейдерского контроля в процессе строительного-монтажного производства является обеспечение своевременного и точного выполнения геометрических параметров проекта в натуре: при размещении зданий и сооружений (выносе в натуру главных и основных осей); при ведении объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений (выносе в натуру вспомогательных — рабочих осей и отметок, геометрических элементов, составляющих объемные контуры зданий и сооружений).

Геодезическо-маркшейдерский контроль должен не только выявлять в процессе ведения строительного-монтажных работ фактические геометрические отклонения от проекта, но также предупреждать возможное появление недопустимых геометрических отклонений проведением систематических и пооперационных геодезическо-маркшейдерских измерений, осуществляя их на основе оперативного геодезическо-маркшейдерского плана строительного-монтажной площадки и календарных графиков выполнения строительного-монтажных работ (с учетом фактического выполнения указанных графиков).

Геодезическо-маркшейдерский контроль осуществляют на всех этапах строительного-монтажного производства:

в подготовительный период (организационно-техническая подготовка к строительству) за проектированием и построением геодезической разбивочной плановой и высотной основы, в том числе опорной строительной сетки, главных и основных осей зданий и сооружений;

в основной период строительства за планировкой территории, земляными работами, возведением инженерных коммуникаций, подземных частей зданий и сооружений, возведением надземных частей объектов и монтажом строительных конструкций и технологического оборудования;

по окончании строительства — при сдаче-приемке законченного строительством зданий, сооружений и их объемно-планировочных и конструктивных элементов.

Основные задачи геодезическо-маркшейдерского контроля по этапам и стадиям строительного-монтажного производства изложены в табл. 120.

При производстве специальных видов строительного-монтажных работ геодезическо-маркшейдерская служба должна осуществлять высокоточный инструментальный контроль:

монтажа фундаментов под технологическое оборудование и закладных частей для монтажа этого оборудования;

монтажа объемных и сложных металлических конструкций, технологического оборудования и агрегатов;

выполненных объемов земляных и бетонных работ (контрольные съемки и замеры, контрольный учет производится при необходимости, которая устанавливается в зависимости от технологии строительного-монтажных работ техническим руководством строительства по специальному заданию);

правильности ведения горнопроходческих работ в части направления, профиля и габаритов горных выработок;

соблюдения границ безопасного ведения горнопроходческих работ при строительстве подземных сооружений, шахт, рудников, карьеров (если это предусмотрено проектом или специальным заданием технического руководства строительства);

геометрических параметров проходки горных выработок и объемов выполненных работ по проходке;

правильности геометрических параметров возведения крепи горных выработок и объемов выполненных работ;

выполнения установленных проектом мер защиты зданий и сооружений от вредного воздействия горных выработок (в процессе строительного-монтажных работ).

Геодезическо-маркшейдерский контроль технической проектной топографической и геодезическо-маркшейдерской документации, разбивочной плановой и высотной основы, основных и детальных разбивочных работ следует осуществлять в соответствии с требованиями строительных норм и правил и ГОСТ.

Контроль при возведении объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений. Возведение объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений должно обязательно сопровождаться контрольными измерениями.

Контрольные измерения должны определить фактическое плановое, высотное и вертикальное положение объемно-планировочных и конструктивных элементов относительно их проектных геометрических параметров, как на стадии временного закрепления конструкций, так и после окончательного их закрепления.

Контрольные измерения при установке конструкций в проектное положение следует осуществлять от пунктов главной разбивочной основы, главных и основных разбивочных осей или линий, им параллельных, установочных рисков на боковых гранях конструкций, реперов, марок и маяков.

Контроль планового положения геометрических элементов должен обеспечить определение фактического положения продольных и поперечных осей или граней конструкций относительно разбивочных осей (или линий, им параллельных) и соответствие проекту.

Контроль высотного положения геометрических элементов должен обеспечить определение фактического положения опорных плоскостей конструкций здания или сооружения по высоте и соответствие проекту.

Контроль вертикального положения геометрических элементов должен обеспечить определение фактического положения монтируемых конструкций и соответствие проекту.

Контроль положения возводимых фундаментных блоков, колонн, подкрановых балок и рельс, стропильных ферм в плане следует осуществлять методом ординат с помощью теодолита. При монтаже стеновых панелей и блоков в бескаркасных зданиях контроль их планового положения следует осуществлять от установочных рисок, смещенных относительно разбивочной оси на определенную величину, с помощью линейки или метра по внутренним граням панелей или блоков.

При монтаже многоэтажных (многоярусных) зданий надлежит осуществлять контроль соосности сборных элементов фундамента и ствола колонны. Величину несоосности следует определять измерением расстояний между установочными рисками монтируемого элемента в плане и элемента первого этажа.

Контроль плановых геометрических параметров при возведении конструкций из монолитного железобетона должен обеспечить проектное положение опалубки и закладных частей в пределах заданных допусков.

Контроль планового взаимного положения стропильных и подстропильных ферм, ригелей и балок следует осуществлять линейными измерениями расстояний между осями смежных конструкций (рис. 129). Контроль планового взаимного положения балок и рельс следует осуществлять способом ординат с точным измерением расстояний между базами и каждой нитки подкранового пути (рис. 130).

Контроль высотного положения при возведении конструкций зданий и сооружений надлежит выполнять способом геометрического нивелирования от реперов рабочей высотной основы.

Контроль вертикальности стеновых панелей, фундаментных блоков, опалубки, сборных колонн (высотой до 5 м), подкрановых балок и ферм следует осуществлять механической и электрической рейкой — отвесом; конструкций высотой более 5 м — теодолитом при двух положениях вертикального круга способом вертикальной плоскости (рис. 131).

Контроль вертикальности высотных железобетонных сооружений (дымовые трубы, градирни и т. д.) высотой до 50 м следует осуществлять способом измерения горизонтальных углов с двух взаимноперпендикулярных направлений к образующей поверхности бето-

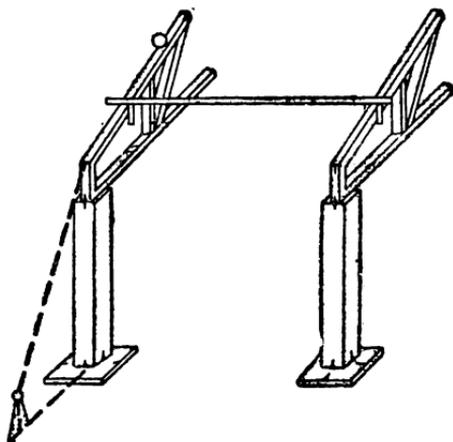


Рис. 129. Контроль точности положения ферм

па; высотой более 50 м — приборами типа ОЦП или лазерными приборами.

При монтаже подкранового оборудования осуществляют контроль планового взаимного положения рельсов. Измерение расстояний между осями двух смежных рельсов в одном пролете здания выполняется стальной 20-метровой рулеткой.

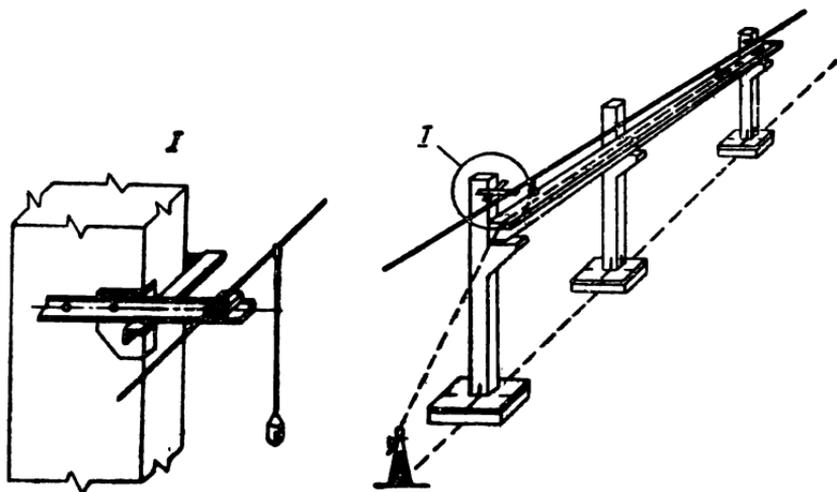


Рис. 130. Контроль планового положения подкрановой балки и рельса

При расстоянии между осями более 20 м целесообразно применять метод косвенных измерений путем установки теодолита в точках A и B (рис. 132) при произвольном положении визирных осей AM и BN . Расстояние $L_i b_{i,n}$ между конструкциями P_1 и P_2 можно вычислить по формуле

$$L_i = L_1 - (a_i + b_1) + \frac{L_n - L_1 + a_1 + b_1 - a_n - b_n}{S} S + (a_i + b_i), \quad (187)$$

где L_i, L_n — исходные базисы, измеряемые непосредственно;
 $a_i, b_1; a_i, b_i; a_n, b_n$ — отсчеты по горизонтальной рейке при боковом нивелировании;

S — расстояние между базисами L_1 и L_n ;

S_i — расстояние от базиса L_1 до i -го пролета.

Для определения расстояний между осями конструкций P_1 и P_2 надо к базису L_i прибавить постоянную величину $2q$ (рис. 133).

При положении AM и BN параллельно конструкциям P_1 и P_2 и отсчетах по рейке $a_1 = a_n$ и $b_1 = b_n$, формула (187) будет иметь вид:

$$L_i = L_1 + \frac{L_n - L_1}{S} S_i + (a_i + b_i) - (a_1 + b_1).$$

Средние квадратические ошибки геодезического контроля при возведении строительных конструкций не должны превышать величины, приведенных в табл. 115.

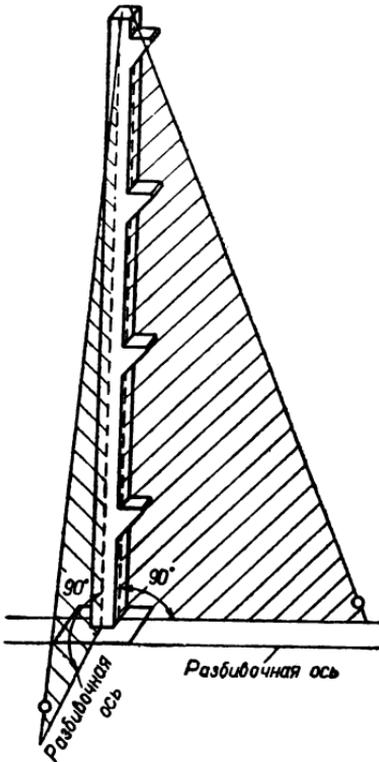


Рис. 131. Контроль вертикальной установки колонн

Рис. 133. Контактное устройство на пятке рейки для контроля планового положения конструкций

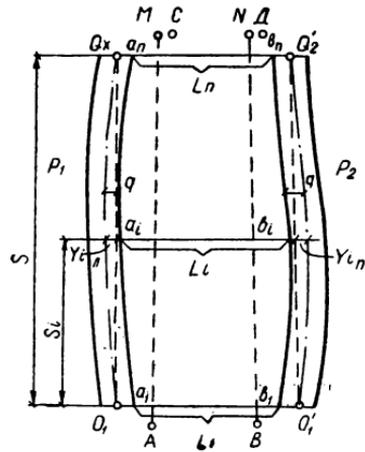
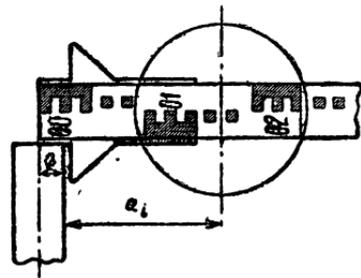


Рис. 132. Определение расстояний между осями двух рельсов способом косвенных измерений



Для конструкций, не указанных в таблице 114, допустимую среднюю квадратическую ошибку геодезического контроля $\sigma_{кг}$ следует определять по формуле

$$\sigma_{кг} = 0,2\Delta_0,$$

где Δ_0 — допустимое отклонение от проекта в положении конструкции, принимаемое по соответствующей главе СНиП или по проекту.

Сборные конструкции и их элементы, поступающие на монтажную площадку, подлежат выборочному контролю их геометрических

Объекты контроля	Допустимые средние квадратические ошибки $\sigma_{\text{кг}}$, мм
Плановое положение конструкций (относительно разбивочных осей):	
фундаментных блоков, осей стаканов фундаментов и анкерных болтов колонн металлических и железобетонных, панелей и блоков стен, подкрановых балок, стропильных и подстропильных ферм, ригелей, прогонов, плит перекрытия, сборных элементов трубопровода	± 2 ± 2
Взаимное плановое положение конструкций:	
подкрановых рельс в одном пролете здания	± 2
ферм, балок, ригелей по верхнему поясу в пределах шага колонн или пролета здания	± 4
подкрановых рельс относительно подкрановой балки	± 3
Вертикальное положение конструкций:	
панелей и блоков в жилых и общественных зданиях	± 2
металлических и железобетонных колонн высотой H, м:	
до 5	± 2
от 5 до 15	± 3
свыше 15	$0,00017 H$, но не более ± 6 мм
дымовых труб, силосов, башен и градирен	$0,00021 H$
Высотное положение конструкций (относительно проекта):	
опорных поверхностей фундаментов:	
под железобетонные колонны и элементы сборных трубопроводов	± 2
под металлические колонны, стеновые панели и блоки	± 1
опорных площадок подкрановых балок и рельс, ригелей и ферм, элементов перекрытия и трубопроводов, верха анкерных болтов и других закладных частей	± 2

параметров (размеры, перекося и пропеллерность граней, расположение закладных деталей и т. д.).

Допустимая средняя квадратическая ошибка геодезических измерений при контроле геометрических параметров (размеров) сборных конструкций и их элементов не должна превышать 0,15 величины допустимого отклонения для данного параметра.

Выборочный периодический контроль геометрических параметров сборных конструкций и математическую обработку результатов измерения должна выполнять геодезическая служба монтажной организации.

Поштучный текущий контроль геометрических параметров колонн, стропильных и подстропильных ферм, подкрановых балок и ригелей должен выполняться силами монтажников.

Определение размеров линейных элементов сборных конструкций производят металлической рулеткой с миллиметровыми делениями.

ниями, натянутой между двумя угольниками от штырька до риски. Металлический угольник (рис. 134) изготавливается из двух отрезков алюминиевого уголка сечением 30×30 мм, длиной 150—200 мм, скрепленных под прямым углом заклепками [26]. На одном угольнике прикрепляется штырек диаметром 2 мм для укладки рулетки, на другом выносится риска, соответствующая внутренней опорной грани изделия.

Для определения длины диагоналей в угольниках делается щель шириной около 25—30 мм, через которую пропускается и крепится

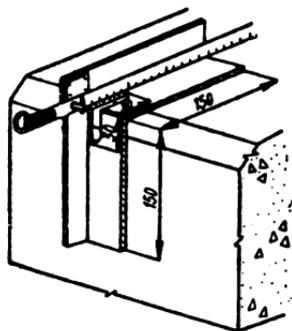


Рис. 134. Металлический угольник для измерения линейных размеров сборных элементов

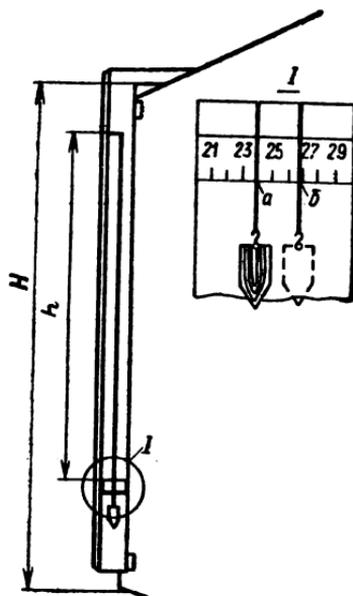


Рис. 135. Контроль пропеллерности плоских элементов рейкой-отвесом

на штырьке рулетка. Такое свободное крепление рулетки позволяет обеспечить простоту, точность и быстроту перехода от измерений длины и ширины к измерению диагоналей.

Толщину изделий измеряют штангенциркулем со штангой длиной 300—500 мм.

Пропеллерность плоских элементов проверяется рейкой с отвесом, устанавливаемыми параллельно боковой грани в 10—15 см от одного и затем от другого конца изделия (рис. 135), путем фиксирования положения отвеса в точках *a* и *б*.

В табл. 116 приведены приборы, применяемые при контроле параметров сборных конструкций.

Результаты контрольных геодезических измерений должны наноситься на копии рабочих чертежей или на специальные схемы-чертежи и заноситься в полевой журнал.

Этот материал должен служить контролем при составлении исполнительной документации по результатам исполнительной съемки возведенных конструкций.

Таблица 116

Измерительный прибор	ГОСТ	Верхний предел измерений, мм	Точность прибора, мм	Контролируемые параметры
Штангенциркуль с вылетом губок 200 мм и ценой деления 1 мм	—	800	± 1	Толщина стеновых панелей и блоков, сечение колонн
Рулетки измерительные 2-го класса, типа РС с ценой деления 1 мм (в комплекте с двумя направляющими уголками)	7502—69	5 000 10 000 20 000 30 000	± 1 ± 2 ± 2 ± 3	Размеры (длина, ширина, высота) элементов Длина диагоналей
Калибры линейные предельные нерегулируемые	—	6 000	± 1	Размеры элементов
Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм, закрепленный на металлической рейке или линейке	577—68	5	0,01	Непрямолинейность элементов, глубина околов и раковин
Рейка металлическая для контроля прямолинейности (в комплекте с металлической линейкой или индикатором часового типа)	—	10	± 1	Непрямолинейность поверхности элементов

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Наблюдения за осадкой фундаментов производятся в первую очередь за зданиями и сооружениями на сильносжимаемых макропористых грунтах, обладающих просадочными свойствами.

Здания и сооружения, построенные несколько лет назад, также требуют систематического контроля с целью получения данных для принятия соответствующих мер по устранению или предупреждению деформаций.

Неравномерные осадки фундаментов бывают почти во всех зданиях и сооружениях и зависят от качества и порядка производства работ по устройству фундамента.

Результаты многочисленных наблюдений показывают, что оседание фундамента в основном происходит в период строительства; к тому же неравномерность осадок отрицательно влияет на качество строительно-монтажных работ. Поэтому наблюдения за осадкой зданий производятся в течение всего периода строительства. Причем, по СНиП наибольшие допуски разности осадок фундаментов (Δ_{max}) имеют место во время нулевого цикла строительства Δ_0 , при возве-

дении надземной части (с начала монтажа каркаса до ввода в эксплуатацию) — Δ_n и при эксплуатации здания — Δ_a .

Величину разности осадок смежных фундаментов, а также крен отдельного фундамента под колонны следует определять в зависимости от типа здания.

Натурные измерения показывают, что чувствительность одноэтажных зданий к неравномерным осадкам почти в два раза больше, чем многоэтажных.

Для каждого возводимого здания существует предельная величина допустимой осадки фундамента, при которой не происходит заметной деформации конструкций.

Равномерная осадка фундамента всего здания, как бы велика она ни была, не влияет на точность возведения строительных конструкций, так как происходит лишь систематический сдвиг в одну сторону; такая осадка допускается больше установленной нормативными документами.

При неравномерной и быстрой осадке точность взаимного положения конструкций или их положения относительно проектного резко снижается, что заметно влияет на прочность и надежность узлов сопряжения конструкций.

При неравномерной осадке фундаментов между соединяемыми конструкциями возникают зазоры недопустимой величины, что требует дополнительных затрат времени и средств на различного рода подгоночные работы и в конечном счете снижает общее качество строительства.

Производственный опыт подтверждает, что чем больше абсолютная величина осадки фундаментов, тем больше ее неравномерность. Поэтому необходимо стремиться к уменьшению общей величины осадки фундаментов, чувствительных к неравномерным осадкам.

В настоящее время нет строгих и обоснованных критериев для определения необходимого числа марок и реперов в зависимости от характера и скорости осадки фундаментов.

На практике удовлетворяются минимальным количеством марок и считают, что полученные результаты измерений высотного положения марок характеризуют деформацию всего сооружения и отдельных его частей.

Известно, что деформация здания или сооружения часто начинается с момента возведения его фундаментов, когда общая величина осадки фундаментов еще невелика, и к моменту завершения строительства и монтажа технологического оборудования достигает наибольшей абсолютной величины.

Таким образом, если в начальный период строительства скорость осадки фундаментов бывает наибольшей, то по мере уплотнения грунта в основании под нагрузкой она уменьшается.

Если скорость установки всех конструкций на данном участке здания равна или больше скорости развития осадки фундамента, то это не будет сказываться на точности возведения здания.

В современных нормативных документах ограничиваются указаниями на предельно допустимую осадку фундамента без учета предельно допустимых скоростей осадки, что значительно снижает ценность этих данных.

В частности, для промышленных зданий и сооружений установлены следующие допуски (Δ_ϵ):

разность осадки фундаментов под железобетонные

я стальные колонны зданий	0,02 l,
продольный уклон подкрановых путей для мостовых кранов	0,004 l,
поперечный уклон подкрановых путей	0,003 l,

где l — расстояния между осями фундаментов.

На основании допустимой разности осадки составляющие части осадок на разных стадиях строительства и эксплуатации будут соответственно 31, 24 и 45%.

Наблюдения за осадкой зданий и сооружений выполняют в каждом случае по специальной программе, составленной в зависимости от важности объекта и особенностей района его расположения. В этой программе предусматривают не только геодезические работы по наблюдениям за осадкой фундаментов многоэтажных зданий в начальной стадии строительства при бетонировании самих фундаментов, но и при последующих работах по монтажу каркаса здания.

Обычные опорные геодезические пункты (грунтовые реперы), предназначенные для съемочных целей, мало устойчивы в высотном отношении, так как их закладывают на малую глубину (2—2,5 м).

Поэтому для проведения работ по наблюдениям за осадкой высокого здания в начале строительства закладывают глубинные реперы (см. рис. 67), опирающиеся основанием на твердые скальные грунты.

Кроме того, для определения вертикальных перемещений фундамента на нижней и верхней его плитах устанавливают марки специальной конструкции двух типов: плитные (см. рис. 68, а) и потайные (см. рис. 68, б).

Марки располагают в различных точках фундамента, преимущественно там, где ожидаются максимальные осадки. Места для установки осадочных марок намечает проектная организация.

При сооружении промышленных зданий марки устанавливают на несущих колоннах, фундаментах наиболее ответственных агрегатов и по внешнему и по внутреннему периметру зданий с расстояниями между марками не менее 10 м на углах по обеим сторонам осадочных швов, в местах возможных динамических воздействий и по продольным и поперечным осям здания для определения величины крена, прогиба и перекоса на несущих конструкциях (от трех до семи марок). При строительстве сборных каркасных жилых и общественных зданий марки размещаются по периметру здания через 10—12 м, причем обязательно устанавливаются на углах здания, в местах с резкими переходами сооружения по высоте и на лестничных клетках. Марки, устанавливаемые в металлические колонны, не должны выступать более чем на 2—3 см. В особо ответственных сооружениях и фундаментных плитах устанавливаются марки закрытого типа. Места для установки рейки на осадочных марках шлифуются под полусферу.

Все заложённые марки должны быть занумерованы, привязаны к ближайшим выступам здания и нанесены на план здания в масштабе 1 : 100—1 : 500.

При повреждении марок в ходе строительства вместо них следует установить новые марки, поблизости от старого места (или на том же месте, если это возможно) и присвоить им тот же номер, но с литерой «Н». Эта марка также должна быть привязана к выступам здания.

Нивелирование осадочных марок выполняется в течение трех

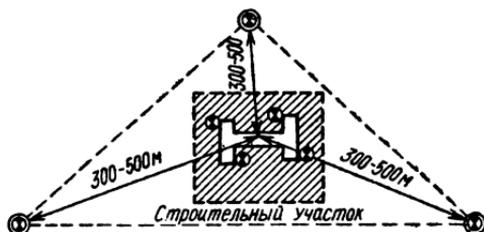
дней по одной и той же схеме от реперов и марок, имеющих минимальную деформацию, которых должно быть не менее трех.

В каждом цикле все реперы нивелируются и неизменность их высот определяет их стабильность.

Нивелирование производится при равных расстояниях от инструмента до соседних марок, включая в эту систему строительные репера.

Практика показывает, что результаты наблюдений за осадками, приведенными для многоэтажных зданий, иногда создают искаженную картину осадочных явлений; эти искажения происходят по при-

Рис. 136. Схема расположения опорных реперов



чине изменения глубины реперов под воздействием огромной массы здания на грунт.

Это обстоятельство приводит к необходимости создавать сеть нивелирных реперов, состоящую из двух групп.

Первая группа должна быть удалена от строительной площадки на расстояние 300—500 м, вторую группу размещают в непосредственной близости от тела зданий. Такое расположение (рис. 136) позволяет обеспечить контроль за неизменяемостью высотного положения исходных реперов путем сравнения превышений в замкнутом полигоне.

По окончании полевых работ производится обработка журналов нивелирования, определяются превышения между всеми связующими точками, невязки по каждому ходу и уравнивание их.

Располагая урavnенными превышениями, определяют отметки осадочных марок, а путем сравнения отметок первоначальной нивелировки с последующими — величины осадок; все данные вносятся в соответствующую ведомость.

Определение отметок производится до 0,01 мм, а разность отметок, определяющих величины осадок, до целых миллиметров.

Необходимо отметить, что нивелирование IIS класса производится лишь в том случае, когда основанием зданий или сооружений служат малосжимаемые грунты с осадкой до 5 мм в месяц. Точность таких определений должна быть не ниже $\pm 1,5$ мм.

Если наблюдения производятся по зданиям, основанием которых служат сильносжимаемые, оттаивающие и просадочные грунты с осадкой свыше 5 мм в месяц, то применяется геометрическое нивелирование III класса.

При передвижке здания или исправления крена, при сооружении кольцевых фундаментов большой длины, возведении зданий в скользящей опалубке и т. п. применяется гидростатическое нивелирование. Такое нивелирование позволяет одновременно определять не-

равномерность осадок многих точек, труднодоступных для измерений другими методами, с точностью порядка 0,1 мм.

Можно применять фотограмметрический способ для определения вертикального и горизонтального смещения конструкций здания или сооружения, что позволяет достигать точность до $\pm 1,5$ мм.

При необходимости определения всех трех составляющих смещения (Δx , Δy и Δz) конструкций здания и сооружения можно применять стереофотограмметрический способ.

При определении всего цикла осадок составляется пояснительная записка, в которой отмечаются цель и задачи наблюдений, организация и сроки проведения строительных работ, дается краткая геологическая и топографическая характеристика участка, план фундамента, поперечные и продольные разрезы основных несущих конструкций. Здесь же указываются методика и точность измерения осадок, даются план размещения геодезических знаков и ведомости осадок по каждому циклу при величине нагрузки на основание.

При наличии тех или иных осадок указываются факторы, способствующие их возникновению (забивка свай, наличие оползневых явлений, колебание уровня грунтовых вод и т. д.).

3. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА ЗАКОНЧЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТОВ И ОТДЕЛЬНЫХ ИХ ЧАСТЕЙ

Исполнительная съемка производится для получения наиболее полных и достоверных данных о фактическом геометрическом положении законченных строительством зданий и сооружений или их объемно-планировочных и конструктивных элементов.

Съемка производится по стадиям строительно-монтажных работ таким образом, чтобы результаты предыдущей съемки служили исходными данными для последующей съемки.

Исполнительную съемку можно охарактеризовать как комплекс геодезических измерений, определяющих фактическое положение объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений в плане, по высоте и по вертикали.

Производят съемку от пунктов геодезической плановой и высотной основы, разбивочных осей различными методами (полярных или прямоугольных координат; створных, угловых или линейных засечек; ординат).

При определении высот исполнительная съемка производится геометрическим нивелированием от пунктов и знаков высотной основы.

Определение возведенных конструкций по вертикали при высоте элементов менее 5 м выполняется с помощью механической или электрической рейки-отвеса, а при большей высоте — теодолитом, способом вертикальной плоскости при двух кругах.

Исполнительная съемка конструкций и их элементов осуществляется в соответствии с заданием, определенным в ППГР.

После выполнения исполнительной съемки производится контроль путем измерения в натуре расстояний между точками на элементах конструкций и сравнением с результатами съемки.

Все данные съемки наносят на специальные схемы-чертежи, позволяющие определить направление и величину отклонений от проекта.

Точность определения координат точек исполнительной съемки должна быть не ниже приведенной в табл. 117.

Таблица 117

Объект	Точность определения координат точек исполнительной съемки, мм		
	X	Y	H
Здания и надземные сооружения	± 10	± 10	± 5
Подземные инженерные коммуникации и сооружения	± 10	± 10	± 5

На выполненные геодезические работы представляется отчетная техническая документация: акты на сдачу-приемку выполненных строителями и геодезистами работ, схемы исполнительной геодезической съемки, каталоги координат и отметок пунктов разбивочной основы и осевых знаков, схемы разбивки осей с действительными размерами и др.

Акт сдачи-приемки составляется при участии представителей строительной организации, ведущей монтаж подземной части здания, строительной организации, ведущей монтаж надземной части здания, авторского надзора и заказчика. Акты составляются в пяти экземплярах, два из них остаются в генподрядной организации. К актам прилагаются схемы исполнительной съемки, завизированные всеми сторонами.

По завершении подземной части необходимо получить разрешения авторского надзора на монтаж надземной части.

Исполнительная съемка территории законченного объекта или микрорайона с благоустройством выполняется в масштабе 1:500—1:1000 методами, предусмотренными инструкцией СН 212-73 Госстроя СССР.

4. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ (ТЕХНИЧЕСКАЯ) ДОКУМЕНТАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Съемку подземных коммуникаций для составления исполнительной документации производят до засыпки траншей.

Съемке подлежат углы поворота прокладок подземных инженерных коммуникаций: колодцы, камеры, сифоны и другие сооружения на сети, точки перелома профиля, створные точки на прямых участках по оси прокладки не реже чем через 50 м, места присоединений и выпусков, вскрытие траншей, подземные сооружения, как идущие параллельно, так и пересекающиеся. Съемке подземных инженерных коммуникаций подлежат точки начала, середины и концы кривых с установлением их радиусов.

Исполнительная съемка должна производиться по мере готовности подземных коммуникаций.

Съемка подземных коммуникаций производится с точек теодолитных ходов, прокладываемых для съемки проездов, различными способами: перпендикуляров и линейных засечек, которых должно быть не менее трех, створов, полярным, а также перпендикуляров и засечек от опорных зданий и сооружений.

К опорным зданиям и сооружениям относятся все капитальные строения, жилые и общественные здания, каменные устои мостов, каменные заборы, деревянные здания с ненарушенными каменными фундаментами, ранее снятые аналитическим методом с ходов съемочной основы. Длины перпендикуляров должны быть не более 6 м при съемке в масштабе 1:1000 и 4 м при съемке в масштабе 1:500. Длины засечек не должны превышать 20—50 м.

Не разрешается вести съемку подземных сетей от временных сооружений, деревянных столбов, деревянных временных сараев и заборов.

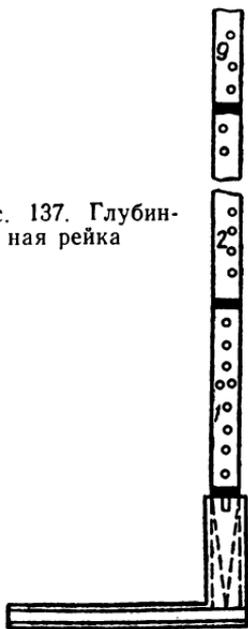
Координаты колодцев и люков магистральных подземных сетей на застроенной территории определяются при наличии специального задания.

В тех случаях, когда исполнительные съемки ведутся на незастроенной территории и когда подземные коммуникации, электрокабели и газопроводы и другие сети не имеют смотровых колодцев, координаты углов поворота прокладки нужно определять теодолитным ходом до засыпки траншей.

Люки колодцев, камеры подземных сетей и створные точки на магистральных прокладках, расположенные на незастроенных территориях, по возможности включают в теодолитный ход, в противном случае, координаты этих точек определяются при помощи угловых засечек. Одновременно производят привязку их к постоянным предметам местности.

Для того чтобы произвести съемку оси трубопровода или кабельной прокладки, оси коммуникаций выносят на поверхность земли при помощи отвеса, прикрепленного к доске или вешке, положенной поперек траншеи.

Рис. 137. Глубинная рейка



При съемке колодцев, камер и общих коллекторов замеряют внутренние и

внешние габариты этих сооружений, их конструктивные элементы, расположение труб и фасонных частей с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр люка колодца, и к направлениям на смежные колодцы.

Съемка подземных прокладок ведется с проложенных в проходных коллекторах теодолитных ходов.

Одновременно составляют эскизы с размерами по основным сечениям. В тех случаях, когда на колодцы и камеры имеются чертежи, обмеры не производят.

При производстве исполнительной съемки определяют размеры сечений уложенных труб, каналов, камер (внешние и внутренние), материалы, из которых они изготовлены, а также их расположение в колодце, камере или канале, конструкцию каналов и блоков телефонной канализации, количество отверстий в блоках, характеристику помещенного в колодце оборудования (задвижка, вантуз, компенсатор и т. д.).

Результаты съемки заносят в абрис или на проектный чертеж, а в последующем обязательно обводят их чернилами или тушью.

Качество исполнительной съемки контролируют промерами расстояний между центрами крышек колодцев лентой или стальной рулеткой. Эти измерения позволяют к тому же определить длину вновь выстроенной сети или сооружения.

Нивелирование подземных сетей производится техническим нивелированием III и IV классов от реперов городской нивелирной сети.

При нивелировании подземных сооружений определяют отметки кольца люка колодца, дна, лотков канализационных труб, верха газовых, водопроводных и других труб в колодцах, а в бесколодезных прокладках — углы поворота, точки излома профиля, створные точки на прямолинейных участках, а также отметки земли (бровки траншей) по предварительно разбитому пикетажу по трассе уложенных труб.

Для нивелирования внутри колодца применяют 4-метровые раздвижные или складные рейки. При значительной глубине колодца применяется металлическая глубинная составная рейка длиной до 6 м (рис. 137). Такая рейка с сантиметровыми делениями сконструирована в Мосгоргеотресте В. С. Перовым, Г. Д. Юриковым и Д. И. Глебовым. По этой рейке определяют разность отметок кольца и верха трубы. Если отметка кольца выше или ниже уровня окружающей поверхности, определяют отметку земли или покрытия рядом с колодцем.

Исполнительный чертеж состоит из топографического плана в масштабе 1:500 или 1:2000, использованного при проектировании и составлении рабочих чертежей, с внесенными коррективами в части ситуации и рельефа в соответствии с требованиями Инструкции СН 212-73 Госстроя СССР; продольного профиля по оси прокладки в горизонтальном масштабе 1:500 или 1:2000, поперечного профиля в масштабе 1:100 или 200, профиля для теплосети и кабелей связи 1:50; планов и сечений колодцев (камер), составляемых в масштабе проекта; поперечных сечений коллекторов, каналов, футляров и проложенных в них труб и кабелей, в масштабе проекта; каталога координат выходов и углов поворота подземной прокладки и ее точек на прямолинейных участках на незастроенных территориях и в случаях специального задания на координирование магистральных подземных сетей на застроенной территории.

Раздел IV. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Основными задачами геодезическо-маркшейдерской службы в строительномонтажных организациях являются производство комплекса геодезическо-маркшейдерских работ, обеспечивающих точное соответствие проекту возводимых в натуре предприятий, зданий и сооружений, а также осуществление геодезическо-маркшейдерского контроля за процессом строительства.

Геодезическо-маркшейдерские работы в строительстве являются неотъемлемой частью технологического процесса строительного производства и должны обеспечивать повышение качества, снижение стоимости и сокращение продолжительности строительства.

1.2. В комплекс геодезическо-маркшейдерских работ строительномонтажных организаций входят:

а) приемка от заказчика топографической и геодезическо-маркшейдерской документации на объекты строительства; вынесенных и закрепленных в натуре знаками пунктов (с полевыми проверками) геодезической разбивочной плановой и высотной основы, в том числе главных осей зданий, сооружений или строительной сетки; главных осей (трасс) инженерных коммуникаций (автомобильных, железных и подвесных дорог; улиц и проездов; магистральных трубопроводов различного назначения; линий электроснабжения, электросвязи и сигнализации; трубопроводов водоснабжения, газоснабжения, канализации и теплофикации; трубопроводов и линий технологического назначения); красных линий;

б) приемка совместно с техническим (производственно-техническим) отделом строительномонтажной организации генпланов, стройгенпланов, рабочих и разбивочных чертежей объектов, конструкций и их элементов, проверка геометрических размеров, координат и высотных отметок в рабочих чертежах и согласования с представителями заказчика вопросов по устранению неувязок в рабочих чертежах; подготовка разрешений к производству строительномонтажных работ;

в) составление проектов производства работ (ППР), в том числе раздела «Производство геодезическо-маркшейдерских работ» для объектов строительства и согласование проектов организаций строительства (ПОС) и проектов производства работ (ППР), разделов «Организация и производство геодезическо-маркшейдерских работ»

для объектов, по которым составление указанных выше проектов осуществляется проектными организациями;

г) производство основных геодезических работ в развитие и дополнение геодезической разбивочной плановой и высотной основы, выполненной заказчиком, а также проведение периодических инструментальных наблюдений для контроля точности положения знаков геодезической основы в районе строительства;

д) наблюдение за сохранностью всех геодезических пунктов и знаков; учет, организация ремонта и восстановления их в период строительства, а также замена пунктов и знаков, подлежащих уничтожению, с определением их нового планового и высотного положения в районе стройплощадки;

е) производство геодезико-маркшейдерских разбивочных работ (вынос в натуру основных геометрических элементов зданий и сооружений, вспомогательных разбивочных осей и рабочих отметок п т. д.); контроль за сохранностью осевых знаков, рабочих реперов, марок и восстановление их в случае утраты;

ж) инструментальный контроль (при необходимости пооперационный) за правильностью производства строительно-монтажных работ в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями строительных норм, правил и ГОСТ; проверка выполненных работ и браковка при неправильном выполнении геометрических размеров и допускаемых отклонений; подготовка разрешений на производство последующих этапов работ: при разработке котлованов, выемок, отсыпке грунтов и др. земляных работ; при проходке горных выработок, в том числе вскрывающих траншей, стволов шахт и штолен, туннелей и т. д.; при возведении подземных инженерных коммуникаций и сооружений, фундаментах и подземных частей зданий и сооружений; при возведении наземных частей зданий, сооружений, их объемно-планировочных и конструктивных элементов;

з) постоянное геодезическое обеспечение и текущий геодезический контроль за возведением зданий, сооружений из сборных элементов и конструкций;

и) организация и производство инструментальных геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений в процессе строительства, если это предусмотрено проектом;

к) ведение оперативного геодезико-маркшейдерского плана строительной площадки, отражающего развитие и ход строительно-монтажных работ;

л) производство текущих геодезико-маркшейдерских работ (составление рабочих планов, профилей, разрезов, схем и т. д.) для оперативно-производственного обеспечения строительно-монтажных работ; участие (при необходимости) в составлении актов на скрытые работы;

м) производство геодезико-маркшейдерских съемок заканчиваемых строительством объектов, их объемно-планировочных и конструктивных элементов; составление на основе результатов съемок технической исполнительной документации (планы, профили, разрезы схемы и т. д.) с использованием рабочих чертежей, а в необходимых случаях выполнение специальной геодезико-маркшейдерской исполнительной документации;

н) хранение всех геодезико-маркшейдерских, топографических и картографических материалов, а также технической проектной документации, необходимой для производства геодезико-маркшей-

дерских работ (генпланы, стройгенпланы, рабочие и разбивочные чертежи) на стройплощадке;

о) ведение журнала геодезическо-маркшейдерского контроля по устранению выявленных отклонений от геометрических параметров проекта;

п) подготовка технической исполнительной и геодезической маркшейдерской документации для сдачи-приемки законченного строительством объекта рабочей или государственной приемочной комиссией;

р) составление технических отчетов о выполненных геодезическо-маркшейдерских работах за период строительства;

с) геодезическое обеспечение скоростных способов и методов строительно-монтажных работ.

1.3. При подземном, шахтном и других специальных видах строительства, а также при производстве специальных видов строительно-монтажных работ дополнительно входят специальные виды геодезическо-маркшейдерских работ:

а) постоянное геодезическо-маркшейдерское обеспечение и точный инструментальный контроль за монтажом фундаментов и кладных частей под технологическое оборудование, металлоконструкций и агрегатов, требующих высокой точности;

б) геодезическо-маркшейдерские съемки (замеры) по определению (в необходимых случаях) объемов выполненных земляных работ, а также контроль и сводный учет этих объемов;

в) ориентирование стволов шахт и горных выработок, передача высотных отметок;

г) подземные съемки и вынос в натуру направлений горных выработок;

д) решение различных горно-геометрических задач, обеспечение проведения горных выработок встречными забоями и т. д.;

е) вынос в натуру и осуществление контроля за соблюдением границ безопасного ведения горнопроходческих работ, определенных проектной организацией;

ж) контроль правильности ведения горнопроходческих работ, в части направления, профиля и габаритов горных выработок;

з) контроль объемов и геометрических параметров проходки горных выработок, объемов и правильности геометрических параметров установки крепи горных выработок;

и) наблюдения в процессе строительства за деформациями земной поверхности, горных пород, а также зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния горных работ, участие в разработке мероприятий по защите зданий и сооружений от вредного влияния горных работ и контроль за их выполнением;

к) определение объемов и контрольный учет выполненных горнопроходческих работ.

1.4. Геодезическо-маркшейдерская служба строительно-монтажных организаций принимает участие в составлении и рассмотрении календарных планов строительных и монтажных работ на стройплощадке; в рабочих комиссиях по сдаче-приемке законченных строительством объектов.

1.5. Геодезическо-маркшейдерская служба строительно-монтажных организаций руководствуется в своей работе действующим законодательством, СНиП и «Положением о геодезическо-маркшейдер-

ской службе в строительно-монтажных организациях» Госстроя СССР.

1.6. Выполнение функций работниками геодезическо-маркшейдерской службы не снимает с производственного линейного инженерно-технического персонала строительно-монтажных организаций ответственности за качество строительных и монтажных работ, за выполнение простых детальных разработок, проверочных нивелировок и замеров объемов выполненных работ.

Линейный инженерно-технический персонал строительно-монтажных организаций должен выполнять детальные разбивочные отмеры от базисных линий-осей, а также выносу необходимых рабочих размеров и высотных отметок от осей и отметок, закрепленных знаками геодезическо-маркшейдерской службы.

Разграничение обязанностей между работниками геодезическо-маркшейдерской службы и линейным персоналом устанавливается главным инженером строительно-монтажной организации.

1.7. Старшие производители работ, производители работ и мастера не должны приступать к строительным и монтажным работам до завершения геодезическо-маркшейдерских разбивочных работ: выноса в натуру главных, основных и вспомогательных разбивочных осей сооружений, рабочих высотных отметок и других геометрических данных и оформления их актом.

Акт, утвержденный главным инженером строительно-монтажной организации, является разрешением на производство работ.

1.8. В функции геодезическо-маркшейдерской службы генеральной подрядной строительно-монтажной организации входят также:

а) составление планов, программ и установление порядка производства геодезическо-маркшейдерских работ на стройплощадке, установление единой условной системы координат и высот для строительства;

б) представление геодезическо-маркшейдерских материалов заказчику для выполнения корректировок проектных решений в процессе строительства;

в) согласование и координация геодезическо-маркшейдерских работ на стройплощадке, выполняемых субподрядными специализированными организациями (с тем чтобы исключить возможность дублирования работ);

г) обеспечение субподрядных организаций исходными топографическими материалами и геодезическо-маркшейдерскими данными;

д) выборочный контроль за выполнением субподрядными организациями геометрических параметров проектов;

е) согласование вопросов по геодезическо-маркшейдерским работам с геодезическими службами заказчика, исполкомов местных Советов депутатов трудящихся, проектных и специализированных организаций, а также смежных по территории со стройплощадкой предприятий.

1.9. В функции геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы субподрядных строительно-монтажных и специализированных организаций входят:

а) выполнение установленных геодезическо-маркшейдерской службой генподрядчика планов, программ и порядка производства геодезическо-маркшейдерских работ на стройплощадке;

б) согласование с геодезическо-маркшейдерской службой генподрядчика всех геодезическо-маркшейдерских работ на стройплощадке;

в) представление по требованию геодезическо-маркшейдерской службы генподрядчика необходимых материалов и сведений по геодезическо-маркшейдерским работам.

1.10. Акты геодезическо-маркшейдерской проверки, указания по устранению выявленных нарушений геометрических параметров при производстве строительно-монтажных (горнопроходческих, горновскрешных и др.) работ, подписанные главным геодезистом, главным маркшейдером или ответственным представителем геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы, являются обязательными для выполнения их строительно-монтажными организациями. Они могут быть отменены только письменным распоряжением главного инженера строительно-монтажной организации.

2. ОБЯЗАННОСТИ ПОДРЯДНЫХ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ЗАКАЗЧИКА

2.1. Строительно-монтажные организации обязаны:

а) организовать в порядке, установленном министерствами и ведомствами, геодезическо-маркшейдерскую службу с необходимым штатом работников соответствующей квалификации;

б) обеспечить выполнение геодезических и маркшейдерских работ в соответствии с требованиями строительных норм, правил и настоящего Положения;

в) иметь установленный нормативами обязательный комплект основных и специальных геодезическо-маркшейдерских документов для данной строительной площадки и пополнять его в установленные сроки;

г) получить от заказчика оформленный в установленном порядке и закрепленный в натуре отвод земельного участка, а при строительстве предприятий по добыче полезных ископаемых — утвержденный в установленном порядке горный отвод для строительства шахт, рудников и карьеров, а также площадку для строительства объектов на площадях залегания полезных ископаемых;

д) обеспечить геодезическо-маркшейдерскую службу приборами, инструментами, оборудованием, инвентарем и транспортными средствами, а также помещениями, специально оборудованными для проведения камеральных работ и безопасного хранения приборов, инструментов и документов;

е) обеспечить в пределах района (площадки) строительства сохранность принятых знаков геодезической плановой и высотной основы, в том числе главных осей зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, строительной сетки, а также постоянных знаков, пунктов рабочей плановой и высотной основы; поставить в известность геодезическо-маркшейдерскую (геодезическую) службу генеральной подрядной строительно-монтажной организации в случае, если по ходу строительства возникнет необходимость нарушить эти знаки; устанавливать новые знаки и уничтожать старые по указанию геодезическо-маркшейдерской службы;

ж) вести журнал геодезическо-маркшейдерского контроля, который должен храниться на стройке и выдаваться по первому требованию работникам геодезическо-маркшейдерской службы для записи

сения в него указаний об исправлении некачественного выполнения работ, в части соблюдения геометрических параметров проекта;

з) передавать заказчику по акту комплект исполнительной геодезическо-маркшейдерской документации, установленной нормативными документами;

и) предусматривать (при необходимости) выделение средств на научно-исследовательские и специальные геодезическо-маркшейдерские работы, выполняемые специализированными организациями на договорных условиях;

к) обеспечивать подготовку и повышение квалификации кадров рабочих и ИТР геодезическо-маркшейдерской службы путем организации научно-технических семинаров, совещаний и направлений их на курсы повышения квалификации;

л) предусматривать премирование работников геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы за обеспечение высокой точности монтажа, сокращение продолжительности строительно-монтажных работ и использование скоростных методов и способов строительства, за качественное проведение горных выработок встречными забоями (сбойки);

м) учитывать работы по проведению горных выработок, вскрытию карьеров, траншей, котлованов и других видов земельно-скальных работ и предъявлять их к оплате в Стройбанк только при наличии документов, подтверждающих выполнение этих работ, оформленных подписью главного маркшейдера строительно-монтажной организации.

2.2. Руководители строительно-монтажных организаций не должны возлагать на работников геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы выполнение обязанностей, не предусмотренных «Положением о геодезическо-маркшейдерской службе в строительно-монтажных организациях».

3. ОБЯЗАННОСТИ, ПРАВА И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ РАБОТНИКОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ

3.1. Исполнитель геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ на строительстве отдельных объектов обязан:

а) изучать и проверять необходимую для производства геодезическо-маркшейдерских работ техническую проектную документацию в части геометрических размеров;

б) выполнять геодезическо-маркшейдерские работы на своем участке по указанию ответственного исполнителя геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ (главного геодезиста, главного маркшейдера);

в) осуществлять на своем участке геодезическо-маркшейдерский контроль и вести журнал геодезическо-маркшейдерского контроля, сообщая линейному инженерно-техническому персоналу строительства о результатах контроля в части соблюдения геометрических параметров проекта, точности выноса в натуру проектных данных;

г) докладывать ответственному исполнителю геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ (главному геодезисту, главному маркшейдеру) и руководству строительно-монтажной организации о всех обнаруженных в натуре отклонениях от геометрических параметров проекта и соответствующих требований СНиП;

д) в случае угрозы аварии сооружения (отдельной конструкции), вызванной нарушениями геометрических параметров проекта и соответствующих требований строительных норм и правил, сделать запись в журнале производства строительно-монтажных работ и немедленно уведомить об этом в письменной форме руководство строительно-монтажной организации;

е) вести оперативный журнал производства геодезическо-маркшейдерских работ, полевые журналы геодезическо-маркшейдерских измерений и вычислений, а также своевременно составлять пооперационные исполнительные документы (позтажные планы, схемы, разрезы, формуляры и т. д.), необходимые для составления технической исполнительной документации по завершению строительства объекта;

ж) производить разбивочные работы только при наличии утвержденного проекта и штампа «к производству работ»;

з) контролировать разбивочные и замерные работы, выполняемые линейным инженерно-техническим персоналом строительства;

и) систематически следить за исправностью геодезическо-маркшейдерских приборов и инструментов, производить их поверки и юстировки.

3.2. Ответственный исполнитель геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ строительно-монтажного управления (и приравненных к нему организаций) обязан:

а) организовывать и контролировать работу геодезическо-маркшейдерской службы;

б) изучать и проверять техническую проектную документацию в части геометрических размеров с учетом условий работы возводимых зданий, сооружений и их конструкций; знать технологию строительно-монтажного производства для технически правильного определения необходимой точности геодезическо-маркшейдерских работ, их состава и последовательности;

в) принимать исходные данные, указанные в пункте 1.2 «а» и «б» «Основные задачи геодезическо-маркшейдерской службы по геодезическому обеспечению строительно-монтажного производства»;

г) разрабатывать проекты производства основных и разбивочных геодезическо-маркшейдерских работ в соответствии с проектами организации строительства и производства строительно-монтажных работ;

д) производить работы по сгущению геодезической разбивочной плановой и высотной основы, ориентировки, выполнять наиболее ответственные разбивочные работы, а также руководить геодезическо-маркшейдерскими работами по составлению технической исполнительной документации и принимать участие в этих работах;

е) производить оценку качества строительных (монтажных, горнопроходческих) работ в части соблюдения геометрических параметров проекта;

ж) вести журнал геодезическо-маркшейдерского контроля и немедленно докладывать главному инженеру строительно-монтажного управления, главному геодезисту, главному маркшейдеру о всех нарушениях геометрических параметров проекта и соответствующих требований СНиП;

з) в случае угрозы аварии сооружений (отдельной конструкции), вызванной нарушениями геометрических параметров проекта и соответствующих требований СНиП, сделать запись в журнале производства строительно-монтажных работ и немедленно уведомить об

этом в письменной форме руководство строительной-монтажной организации;

и) вести оперативный геодезическо-маркшейдерский план строительной площадки, контроль за ведением полевых журналов геодезическо-маркшейдерских измерений и вычислений, за своевременным составлением пооперационных исполнительных документов (позатажные планы, схемы, разрезы, формуляры и т. д.), за своевременным производством технической исполнительной документации субподрядными строительными-монтажными организациями, а также контроль учета объемов выполненных работ, подлежащих геодезическо-маркшейдерским замерам;

к) производить инструктаж и обучение рабочих геодезическо-маркшейдерской службы;

л) производить учет, паспортизацию геодезическо-маркшейдерских приборов, инструментов и оборудования и направление их на ремонт;

м) участвовать в необходимых случаях в рабочих комиссиях по приемке законченных строительством объектов.

3.3. Ответственный исполнитель геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ строительного управления (и приравненных к нему организаций) имеет право:

а) представлять организацию во всех государственных, общественных и кооперативных организациях, учреждениях и предприятиях по вопросам, входящим в его компетенцию;

б) давать указания линейному инженерно-техническому персоналу строительства по вопросам соблюдения точности разбивки и ведения работ, а в случае невыполнения указаний своевременно докладывать об этом главному инженеру строительного управления и главному геодезисту (главному маркшейдеру) строительного-монтажного треста (и приравненных к нему организаций);

в) вносить предложения о приеме и увольнении работников геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы строительного-монтажного управления;

г) представлять рабочих геодезическо-маркшейдерской службы к присвоению им в установленном порядке тарифно-квалификационных разрядов.

3.4. Главный геодезист, главный маркшейдер строительного-монтажного треста (и приравненных к нему организаций) обязан:

а) обеспечить выполнение комплекса геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ в строительных-монтажных организациях треста в соответствии с пп. 1.2—1.4;

б) осуществлять техническое и методическое руководство геодезическо-маркшейдерскими работами, контроль за производством этих работ в организациях, подведомственных тресту, а также руководство проведением сложных геодезическо-маркшейдерских работ;

в) изучать техническую проектную документацию и при необходимости вносить свои замечания, а также участвовать в рассмотрении проектов строительства предприятий, зданий и сооружений;

г) участвовать в рассмотрении и согласовании стройгенплана, проектов организации строительства и производства работ;

д) участвовать в решении вопросов о подборе и расстановке кадров геодезическо-маркшейдерской службы;

е) осуществлять контроль за качеством (соблюдением необходи-

мой геометрической точности) выполненных строительно-монтажных (горнопроходческих) работ;

ж) обеспечивать службу геодезическими и маркшейдерскими приборами, инструментами, оборудованием, журналами, бланками и другими материалами;

з) обеспечить ведение и надлежащее хранение геодезическо-маркшейдерской документации;

и) обобщать и распространять передовой опыт геодезическо-маркшейдерских работ и организовывать работу по повышению квалификации работников геодезическо-маркшейдерской службы;

к) координировать и контролировать работы геодезическо-маркшейдерских служб субподрядных специализированных организаций;

л) участвовать в разработке мероприятий по технике безопасности при производстве геодезических и маркшейдерских работ на стройплощадке.

3.5. Главный геодезист, главный маркшейдер строительного треста (и приравненных к нему организаций) имеет право:

а) представлять трест во всех государственных, общественных и кооперативных организациях, учреждениях и предприятиях по вопросам, входящим в его компетенцию;

б) давать указания организациям треста и линейному персоналу строительства по вопросам, относящимся к его компетенции;

в) требовать представления необходимой информации по вопросам, касающимся геодезическо-маркшейдерской службы треста;

г) приостановить при угрозе аварии сооружения (отдельных конструкций), вызванной нарушениями геометрических параметров проекта и соответствующих требований Строительных норм и правил (СНиП), производство строительно-монтажных работ, немедленно уведомив об этом в письменной форме руководителей строительного-монтажной организации и сделав запись о приостановке в журнале производства строительного-монтажных работ;

д) вносить предложения о приеме и увольнении работников геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы.

3.6. Главный геодезист, главный маркшейдер треста, ответственный исполнитель геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ строительного-монтажного управления и исполнитель геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ на строительстве отдельных объектов несут ответственность за правильное и своевременное выполнение всех обязанностей, возложенных на них настоящим Положением.

3.7. Задачи и обязанности начальника геодезическо-маркшейдерской службы — главного геодезиста, главного маркшейдера строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения):

а) техническое, методическое и организационное руководство геодезическо-маркшейдерской службой в подведомственных организациях;

б) разработка проектов нормативных документов по геодезическо-маркшейдерским работам в развитие СНиП и общесоюзных нормативных документов по строительству;

в) участие в разработке проектов нормативных документов по строительству в части геодезическо-маркшейдерских работ;

г) внедрение в производство новых методов геодезическо-маркшейдерских работ, новых инструментов, а также участие в рассмот-

рении проектов новых методов и новых строительных и проходческих механизмов и выдача заключений по ним;

д) разработка предложений по организации материально-технического снабжения геодезическо-маркшейдерской службы, финансированию проектных, конструкторских и научно-исследовательских работ в области геодезическо-маркшейдерских работ в строительстве;

е) обобщение материалов о состоянии геодезическо-маркшейдерской службы подведомственных организаций, разработка мероприятий по ее совершенствованию и представление их на рассмотрение и утверждение руководству своей организации;

ж) участие в разработке организационной структуры и установлении численности штатов геодезическо-маркшейдерской службы подведомственных организаций, подборе и расстановке кадров геодезическо-маркшейдерской службы;

з) разработка предложений и проектов программ по подготовке и повышению квалификации геодезическо-маркшейдерских кадров и участие в организации мероприятий по повышению квалификации;

и) техническое руководство работой геодезическо-маркшейдерских отделов институтов и трестов Оргтехстрой и специализированных геодезическо-маркшейдерских организаций;

к) контроль за соблюдением строительными организациями мероприятий по охране сооружений и природных объектов от вредного влияния горнопроходческих работ, а также контроль за организацией работ по наблюдениям за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений под влиянием горнопроходческих работ и за обобщением результатов этих наблюдений;

л) участие в разработке мероприятий и организация наблюдений за деформациями строящихся зданий и сооружений, проводимых геодезическо-маркшейдерской службой в процессе строительства;

м) разработка и участие в подготовке к утверждению проектов ГОСТ на новые геодезическо-маркшейдерские приборы, инструменты и оборудование, а также составление заявок на импортное оборудование;

н) планирование геодезическо-маркшейдерских работ по обслуживанию строительства специализированными организациями (Союзмаркштрест и др.).

3.8. Права начальника геодезическо-маркшейдерской службы — главного геодезиста, главного маркшейдера строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения):

а) представлять строительное министерство (ведомство, главное управление, объединение) во всех государственных, общественных и кооперативных учреждениях, организациях и предприятнях по вопросам, входящим в его компетенцию;

б) давать указания подведомственным организациям по всем вопросам геодезическо-маркшейдерской службы, требовать проведения мероприятий по устранению недостатков и улучшению состояния геодезическо-маркшейдерской службы и ведения строительных (монтажных, горнопроходческих) работ в соответствии с утвержденными проектами, планами, графиками строительства, строительными нормами, правилами и ГОСТ;

в) требовать от подведомственных организаций предоставления установленной технической отчетности и сведений по геодезическо-маркшейдерским работам;

г) проверять в подведомственных организациях состояние гео-

геодезическо-маркшейдерских, а также строительных (монтажных, горнопроходческих) работ;

д) требовать от организаций отмены распоряжений и приказов, противоречащих требованиям строительных норм, правил и ГОСТ, настоящего Положения, а также прекращения действий, нарушающих утвержденные проекты и планы строительных (монтажных, горнопроходческих) работ;

е) представлять руководству строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения) список работников геодезическо-маркшейдерской службы, намеченных к поощрению за отличное проведение ответственных геодезическо-маркшейдерских работ и за образцовую постановку геодезическо-маркшейдерской службы в строительномонтажных организациях.

3.9. Указания и требования начальника геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы — главного геодезиста, главного маркшейдера строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения) в пределах, данных ему настоящим Положением прав, являются обязательными для выполнения соответствующими строительными, строительномонтажными и специализированными организациями.

3.10. Начальник геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службы (главный геодезист, главный маркшейдер) строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения) несет ответственность за правильное и своевременное выполнение обязанностей, возложенных на него руководством строительного министерства (ведомства, главного управления, объединения).

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ

Производство геодезическо-маркшейдерских работ — это совокупность различных видов геометрических измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре, обеспечивающих ведение технологических процессов строительномонтажного производства в соответствии с геометрическими параметрами, установленными проектом или требованиями строительных норм, правил и ГОСТ. Организация производства геодезическо-маркшейдерских работ складывается из целого ряда факторов, которые определяют качество выполнения геодезическо-маркшейдерских измерений и построений и обеспечивают качество выполнения геометрических параметров при размещении объектов и возведения их объемно-планировочных и конструктивных элементов. Главной целью производства этих работ является обеспечение предусмотренных проектом геометрических параметров объектов строительства, определяющих технико-экономическую эффективность строительномонтажного производства. Чтобы выполнить главную цель при организации производства геодезическо-маркшейдерских работ, необходимо учитывать технологические особенности их выполнения в условиях современной строительномонтажной площадки. Иными словами, организация производства геодезическо-маркшейдерских работ должна базироваться на принципах организации и технологии строительномонтажного производства.

В условиях постоянного научно-технического прогресса в капитальном строительстве возрастают требования к специализации и

концентрации производства геодезическо-маркшейдерских работ, как к основным факторам развития данных работ. Возрастают роль и значение технически правильного определения задач по оптимальному геометрическому обеспечению зданий и сооружений при размещении их в натуре и возведении их объемно-планировочных и конструктивных элементов.

В условиях современного индустриального строительного производства, когда строительная площадка превращается по существу в сборочный цех, при очень высоких темпах выполнения работ, при колоссальных количественных показателях объемов работ и при чрезвычайной сложности хозяйственных связей разработок и внедрение научных основ организации геодезическо-маркшейдерских работ становятся объективной необходимостью. Классификация геодезическо-маркшейдерских работ в строительном производстве (табл. 118), в качестве методологической основы которой положено определение главной цели и задач во взаимосвязи с производством строительного производства, является необходимым фактором для научного обоснования организации производства этих работ.

5. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА

Проектирование геодезическо-маркшейдерских работ

Проектирование и планирование геодезическо-маркшейдерских работ на современных строительномонтажных площадках, имеющих, как правило, большие объемы различных по виду и характеру строительномонтажных работ, являются необходимым элементом организации строительного производства.

В соответствии с требованиями «Инструкции о порядке составления и утверждения проектов организации строительства и проектов производства работ» СН 47-67, дополненной постановлением Госстроя СССР от 30 июля 1971 г. № 126 в части пункта 1.7, в проекте организации строительства (ПОС) должны быть установлены (в составе работ подготовительного периода) сроки, состав, объем и последовательность выполнения работ по созданию главной геодезической плановой и высотной основы; определены (в составе строительномонтажных работ) объемы, последовательность и сроки выполнения геодезических (геодезическо-маркшейдерских) разбивочных работ; выбраны (в зависимости от принятых технологических схем возведения основных зданий и сооружений и методов производства строительных и монтажных работ) методы геодезических (геодезическо-маркшейдерских) разбивочных работ с определением их точности.

Для крупных промышленных объектов и предприятий, высотных объектов, объектов со сложными объемно-планировочными и конструктивными решениями, а также для промышленных, жилых, общественных и административных комплексов в составе ПОС следует

Подготовительный период	Основной период	Окончание строительства
<p>A.1. Проектирование комплекса геодезическо-маркшейдерских работ, необходимых для нормального обеспечения и хода строительства</p>	<p>Б.1. Детальные геодезическо-маркшейдерские разбивочные работы на строительном-монтажной площадке</p>	<p>В.1. Геодезическо-маркшейдерские работы при сдаче законченных строительством объектов (или их частей) или выполнении этапов и стадий строительномонтажных работ заказчику</p>
<p>A.2. Построение в натуре геодезической разбивочной плановой и высотной основы для строительства</p>	<p>Б.2. Геодезическо-маркшейдерский контроль в процессе строительномонтажного производства</p>	<p>В.2. Подготовка комплекта геодезическо-маркшейдерской документации на законченные строительством здания и сооружений и предъявление его работой и государственной комиссиям</p>
<p>A.3. Основные геодезические разбивочные работы на строительномонтажной площадке</p>	<p>Б.3. Геодезическо-маркшейдерские съемки заканчиваемых строительством объектов или отдельных частей их</p>	<p>В.3. Составление краткого технического отчета о выполненных в процессе строительства основных геодезическо-маркшейдерских работах</p>
<p>A.4. Приемка технической проектной документации и геодезической плановой и высотной основы, необходимых для выполнения комплекса геодезическо-маркшейдерских работ в последующие периоды строительства</p>	<p>Б.4. Геодезическо-маркшейдерская документация строительномонтажного производства</p>	<p>В.4. Сдача представителю службы заказчика или инженерно-геодезической службы местных Советов депутатов трудящихся технического отчета и сохранившихся в натуре пунктов и знаков геодезической плановой и высотной основы в районе строительства</p>

предусматривать разработку раздела «Организация производства геодезическо-маркшейдерских работ» с учетом организации и технологии строительного производства, а также технологических особенностей геометрического обеспечения процессов строительного-монтажного производства.

При решении вопросов организации производства геодезическо-маркшейдерских работ в ходе разработки ПОС должен быть предусмотрен комплекс этих работ, обеспечивающий своевременное и качественное выполнение строительного-монтажного производства: создание геодезической плановой и высотной основы, являющейся базисом для обеспечения точности всех последующих геометрических измерений и построений на графике и в натуре; основные геодезические разбивочные работы — вынос в натуру главных и основных осей зданий и сооружений или строительной сетки, определяющих точное геометрическое положение объектов в пространстве; детальные геодезические разбивочные работы по возведению в натуре геометрических элементов зданий и сооружений; систематический (пооперационный или поэтапный) геодезическо-маркшейдерский контроль в процессе строительного-монтажного производства, в задачу которого входит не только выявлять, но и предупреждать возможные появления брака при возведении геометрических элементов объекта; выполнение геодезическо-маркшейдерской (исполнительной) съемки заканчиваемых строительством объектов и их объемно-планировочных и конструктивных элементов, устанавливающей точное фактическое положение их в натуре; составление и ведение геодезическо-маркшейдерской документации, отражающей фактическое выполнение геометрических параметров проекта при размещении объектов и возведении их объемно-планировочных и конструктивных элементов.

Для особо сложных и крупных объектов народного хозяйства или комплексов в составе ПОС целесообразно также предусматривать следующие вопросы: ведение оперативного геодезическо-маркшейдерского плана строительного-монтажной площадки, отражающего развитие и ход строительного-монтажного производства, что необходимо для осуществления технического и оперативно-хозяйственного руководства этим производством; определение потребности строительного-монтажного производства в квалифицированных кадрах специалистов — инженеров, техников и рабочих, а также потребности в приборах, инструментах, оборудовании, транспортных средствах, материалах и журнально-технической документации для геодезическо-маркшейдерского обеспечения; организационной структуры геодезическо-маркшейдерской службы, необходимой для геометрического обеспечения строительного-монтажного производства, и привлечение специализированных организаций для выполнения специальных видов геодезическо-маркшейдерских работ; выполнение организационно-технических мероприятий, обеспечивающих последовательность, способы, комплексность, необходимую точность и безопасные условия проведения геодезическо-маркшейдерских работ в условиях большой насыщенности строительными механизмами, транспортом и высоких темпов строительного-монтажного производства на крупных промышленных стройках страны.

Раздел «Организация производства геодезическо-маркшейдерских работ» при необходимости должен также содержать:

схему построения в натуре главных или основных осей зданий и сооружений с предварительным расчетом точности и указаниями

по методике их построения; схему размещения и закрепления осевых знаков;

схему проведения работ по геодезическо-маркшейдерскому контролю за возведением зданий и сооружений, монтажом наиболее ответственных или особо сложных строительных конструкций; методике проверки положения строительных конструкций в плане, по высоте и по вертикали;

схему передачи и восстановления разбивочных осей и высотных отметок горизонтов, закрепления осевых точек и рабочих реперов на горизонтах (ярусах, этажах) зданий и сооружений; методике и расчет точности выполнения этих работ;

схему выполнения геодезическо-маркшейдерских съемок заканчиваемых строительством объектов, а также их объемно-планировочных и конструктивных элементов по различным этапам строительного производства с указанием методики и точности выполнения этих съемок;

порядок выполнения и состав необходимой исполнительной геодезическо-маркшейдерской документации на заканчиваемые строительством объекты и их составные части или элементы;

порядок выполнения и состав инструментальных геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, горных пород (грунтов), зданий и сооружений в процессе строительного производства (если это необходимо по технологии возведения зданий и сооружений, или в связи с процессами деформации горных пород под влиянием горнопроходческих и вскрышных работ или разработок полезных ископаемых, а также неблагоприятными физико-геологическими процессами и явлениями в районе размещения строительного монтажной площадки).

На специальные виды геодезическо-маркшейдерских работ, необходимых для обеспечения технологии строительного производства, составляются технические программы (проекты) с учетом календарных графиков (планов) строительного производства.

Раздел «Организация геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ», разрабатываемый в составе ПОС, согласовывается в установленном порядке с геодезическо-маркшейдерской (геодезической) службой генеральной подрядной строительной организации.

Все геодезическо-маркшейдерские (геодезические) работы на строительной площадке выполняются по проекту производства работ (ППР), в составе которого должен быть раздел «Производство геодезическо-маркшейдерских (геодезических) работ». Этот раздел разрабатывается геодезическо-маркшейдерской службой генеральной подрядной строительной организации. Для крупных и сложных объектов и комплексов по решению организации, утверждающей технический (техно-рабочий) проект, разработка ППР выполняется проектной, а в необходимых случаях специализированной организацией, проектно-технологическими институтами «Оргтехстрой» или трестами «Оргстрой». В этом случае указанный выше раздел должен быть согласован (в установленном порядке) с геодезическо-маркшейдерской службой генподрядчика.

На геодезическо-маркшейдерские работы, выполняемые субподрядными строительными организациями, или на специальные виды геодезическо-маркшейдерских работ, необходимых для обеспечения технологических процессов строительного

производства, следует разрабатывать в составе ППР раздел «Производство геодезическо-маркшейдерских работ» или рабочий проект производства этих работ с учетом календарных планов строительного-монтажного производства; указанные выше проекты разрабатываются геодезическо-маркшейдерской службой субподрядчика, согласовываются с геодезическо-маркшейдерской службой генподрядчика и утверждаются в установленном порядке.

В зависимости от технологических особенностей геометрического обеспечения строительного-монтажного производства и сложности объемно-планировочных и конструктивных решений объектов в ППР с учетом необходимых уточнений, обусловленных возможными изменениями в технологии и календарных сроках строительства, детально прорабатываются порядок, методы и точность выполнения геодезическо-маркшейдерских работ по этапам и стадиям строительного-монтажного производства.

Построение геодезической плановой и высотной основы для строительства

В соответствии с действующим законодательством в области капитального строительства и требованиями строительных норм и правил для обеспечения нормального развития и хода строительного-монтажного производства до начала строительства (в подготовительный период) заказчик обязан передать генеральной подрядной строительного-монтажной организации вынесенные в натуру и закрепленные знаками пункты геодезической разбивочной плановой и высотной основы строительного-монтажной площадки, в том числе: главных осей зданий, сооружений (вскрывающих горных выработок, производственных, вспомогательных, административных, бытовых, жилых, общественных зданий и сооружений) или строительной сетки; главных осей (трасс) инженерных коммуникаций (автомобильных, железных и подвесных дорог; улиц и проездов; магистральных трубопроводов; линий электроснабжения, электросвязи и сигнализации; трубопроводов водоснабжения, газификации, канализации и теплофикации; трубопроводов и линий технологического назначения); красных линий.

Геодезическая плановая и высотная основа на строительного-монтажной площадке представляет собой систему геометрических фигур, пункты которых закреплены специальными знаками. Геодезическая основа является базой, обеспечивающей точность измерений и построений при выполнении геометрических параметров проекта зданий, сооружений и инженерных коммуникаций в натуре; точность построения, объемы и методы выполнения работ по созданию геодезической основы должны быть предусмотрены в ПОС и ППР. При создании геодезической основы следует учитывать комплекс геодезическо-маркшейдерских работ, необходимых для геометрического обеспечения строительного-монтажного производства. Классификация геодезической основы на строительного-монтажной площадке по видам и назначению изложена в таблице 119. Создание геодезической основы должно быть закончено в подготовительный период, а высотной основы для инструментальных наблюдений за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений — к началу работ по наблюдениям.

Геодезическая основа	Наименование геодезической основы	Методы построения геодезической основы
Главная геодезическая основа: плановая	Обеспечение необходимой точности измерений и построений при выполнении комплекса работ по выносу в натуре и возведению зданий и сооружений	Полигонометрия, триангуляция и их сочетания
высотная		Геометрическое нивелирование
Рабочая геодезическая основа: плановая	Обеспечение передачи и восстановления разбивочных осей и рабочих высотных отметок, контрольных измерений	Засечки (угловые, комбинированные, лисинские), способ координат (полярных, прямоугольных), микротриангуляция, теодолитные ходы
высотная		Геометрическое нивелирование

Для промышленных, жилых, административных и общественных комплексов, а также объектов со сложными объемно-планировочными и конструктивными решениями главную плановую основу следует проектировать и создавать в виде строительной сетки — сетки треугольников, прямоугольников или параллельных линий с учетом взаимного расположения (параллельности и перпендикулярности) осей зданий и сооружений. Для отдельных объектов строительства, имеющих сложные геометрические формы в плане, в зависимости от конфигурации зданий или сооружений плановую основу следует создавать в виде сетки треугольников, многоугольников, центральных фигур и т. д. Для отдельных зданий и сооружений, а также для инженерных коммуникаций плановая основа создается в виде главных, или основных осей, закрепляемых в натуре постоянными знаками.

Основные геодезические разбивочные работы на строительномонтажной площадке

Задачей основных геодезических разбивочных работ на строительномонтажной площадке является вынос в натуре основных геометрических элементов проекта: главных осей улиц (проездов), красных линий, главных осей инженерных коммуникаций, главных или основных осей зданий и сооружений. Основные геодезические разбивочные работы выполняются от пунктов главной геодезической основы, построенной в виде строительной сетки или методом триангуляции, полигонометрии и их сочетаний. Для отдельных зданий и сооружений построение геодезической основы в виде строительной

сетки нецелесообразно или неэкономично, в этом случае рекомендуется непосредственно от пунктов триангуляции или полигонометрии выносить в натуру главные или основные оси зданий и сооружений; это должно быть предусмотрено в ПОС или ППР.

Приемка технической проектной документации и геодезической плановой и высотной основы

До начала строительно-монтажных работ заказчик обязан передать генподрядчику необходимую для производства работ техническую проектную документацию: технический проект и рабочие чертежи или техно-рабочий проект. Геодезическо-маркшейдерская служба генподрядчика совместно с техническим (производственно-техническим) отделом принимает от заказчика топографические планы, стройгенпланы, рабочие и разбивочные чертежи объектов, конструкций и объемно-планировочных и конструктивных элементов, а также топографическую и геодезическо-маркшейдерскую документацию, в том числе: каталоги координат (X, Y, H) пунктов геодезической плановой и высотной основы, главных или основных осей зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, красных линий; дубликаты планов, продольных и поперечных профилей инженерных коммуникаций, а при необходимости также дубликаты топографических планов территории строительно-монтажной площадки промышленного объекта, жилого массива, микрорайона, поселка; схемы расположения и каталоги координат и высот пунктов геодезической основы (знаков, марок и реперов), заложенных в процессе изысканий и проектирования на территории строительства; чертежи знаков, а также альбомы зарисовок, привязок пунктов к постоянным объектам на местности; краткий отчет о проведенных геодезических и топографических работах с указанием срока их проведения, методики и точности выполнения работ, схем выполнения геодезической плановой и высотной основы строительно-монтажной площадки.

Геодезическо-маркшейдерская служба генподрядчика производит проверку геометрических размеров, координат и высотных отметок в технической проектной документации и согласовывает с представителями заказчика вопросы по устранению выявленных в процессе проверки неувязок и недостатков в проектной документации. Проверка геометрических размеров, координат и высотных отметок рабочих чертежей и генерального плана производится, как правило, «в две руки». Выявленные в проектной документации ошибки геометрических размеров, планового и высотного положения зданий и сооружений (или их объемно-планировочных и конструктивных элементов), а также несоответствие одноименных размеров и отметок в различных чертежах проекта должны быть изложены в докладной записке главному инженеру строительно-монтажной организации и заказчику. Разбивочные работы в этом случае надлежит выполнять только после внесения проектной организацией соответствующих исправлений в проектную документацию; эти исправления должны быть заверены проектной организацией и заказчиком.

Геодезическо-маркшейдерская служба генподрядчика принимает в установленном порядке от заказчика вынесенные в натуру и закрепленные знаками пункты геодезической плановой и высотной

основы, в том числе главных или основных осей зданий и сооружений, главных осей улиц, проездов, инженерных коммуникаций, красных линий. При приемке производят полевые проверки размещения и закрепления знаками пунктов геодезической основы.

6. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ В ОСНОВНОЙ ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА

Детальные геодезические разбивочные работы на строительном-монтажном площадке

Основная задача геодезических детальных разбивочных работ — вынос в натуре от главных и основных осей зданий и сооружений (или параллельных им линий строительной сетки) элементов, определяющих геометрические контуры зданий, сооружений и отдельных частей их, в соответствии с требованиями проекта, строительных норм, правил и ГОСТ. Детальные разбивочные работы включают: аналитические вычисления или графические определения разбивочных элементов на базе рабочих чертежей и геодезической плановой и высотной основы; построение в натуре вспомогательных разбивочных осей и рабочих высотных отметок или горизонтов; вынос в натуре геометрических элементов — точек, прямых и кривых линий — контуров, определяющих геометрическое положение зданий и сооружений в пространстве.

Работы, указанные в первых двух пунктах, выполняют специалисты геодезическо-маркшейдерской службы строительного-монтажной организации, а работы по выносу в натуре геометрических элементов — линейный инженерно-технический персонал (старшие производители, производители строительного-монтажных работ и мастера). В случае особо ответственных и сложных конструкций эти работы поручаются руководством строительного-монтажной организацией специалисту геодезическо-маркшейдерской службы.

Геодезическо-маркшейдерский контроль в процессе строительного-монтажного производства

Основной задачей геодезическо-маркшейдерского контроля в процессе технологии строительного-монтажных работ является обеспечение своевременного и точного выполнения геометрических параметров проекта при размещении зданий, сооружений и выполнении в натуре объемно-планировочных и конструктивных элементов возводимых объектов. Геодезическо-маркшейдерский контроль должен не только выявлять в процессе строительного-монтажного производства фактические геометрические отклонения от проекта и требований строительных норм, правил и ГОСТ, но также предупреждать возможное появление недопустимых геометрических отклонений проведением систематических и пооперационных геодезическо-маркшейдерских измерений на основе оперативного геодезическо-маркшейдерского (геодезического) плана строительного-монтажной пло-

Период строительства	Вид геодезическо-маркшейдерского контроля	Задачи геодезическо-маркшейдерского контроля
Подготовительный	Входной	<p>Контроль (при приемке от заказчика):</p> <p>за составом и качеством топографической и геодезическо-маркшейдерской документации на объекты строительства; за правильностью геометрических размеров, координат и высотных отметок на генеральных планах, рабочих чертежах, разбивочных чертежах;</p> <p>за составом и качеством закрепленных в натуре знаками пунктов (с полевыми проверками) геодезической плановой и высотной основы (в том числе главных и основных осей зданий и сооружений, главных осей улиц, проездов, инженерных коммуникаций, красных линий); за правильностью выноса в натуру главных и основных осей зданий и сооружений, главных осей улиц, проездов, инженерных коммуникаций, красных линий</p>
Основной	Промежуточный или пооперационный (постатный, пообъектный)	<p>Контроль:</p> <p>за сохранностью и точностью геометрического положения знаков, марок и реперов геодезической разбивочной плановой и высотной основы (в том числе главных и основных осей зданий, сооружений, главных осей улиц, проездов и инженерных коммуникаций, красных линий); за правильностью выноса в натуру основных геометрических параметров объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений, рабочих (вспомогательных) разбивочных осей и высотных отметок;</p> <p>за точным и правильным переносом (передачей) главных и основных осей зданий и сооружений с горизонта на горизонт (с яруса на ярус, с этажа на этаж);</p> <p>за правильностью выполнения в натуре геометрических параметров проекта: при производстве земельно-скальных работ (разработка котлованов, траншей, выемок, отсыпок грунтов и т. д.); при проходке вскрывающих горных выработок для возведения инженерных коммуникаций и сооружений; при укладке инженерных коммуникаций в траншеи, котлованы, ко-</p>

Период строительства	Вид геодезическо-маркшейдерского контроля	Задачи геодезическо-маркшейдерского контроля
		<p>роба (трубопроводы и кабели различного назначения); при возведении фундаментов и подземных частей зданий и сооружений; при возведении объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений.</p> <p>Постоянный контроль за возведением зданий и сооружений из сборных объемных и конструктивных элементов в процессе их монтажа за правильностью выполнения геометрических параметров.</p> <p>Контрольные инструментальные наблюдения за деформациями земной поверхности, горных пород (грунтов), зданий и сооружений (если это предусмотрено проектом)</p> <p>Инструментальный контроль высокой точности при производстве специальных видов строительно-монтажных работ: монтажа фундаментов под технологическое оборудование и закладных частей для монтажа этого оборудования; монтажа объемных и сложных металлических конструкций, технологического оборудования и агрегатов; объемов выполненных земляных и бетонных работ (контрольные съемки и замеры, контрольный учет производятся при необходимости, которая устанавливается в зависимости от технологии строительно-монтажного производства техническим руководством строительства по специальному заданию); правильности ведения горнопроходческих работ в части направления, профиля и габаритов горных выработок; за соблюдением границ безопасного ведения горнопроходческих работ при строительстве подземных сооружений, шахт, рудников, карьеров (если это предусмотрено проектом или специальным заданием технического руководства строительства); геометрических параметров проходки горных выработок и объемов выполненных работ по проходке; правильности геометрических параметров возведения крепи горных выработок и объемов выполненных работ; за выполнением установленных проектом мер защиты зданий и сооружений от вредного воздействия горных выработок в процессе строительно-монтажных работ</p>

Период строительства	Вид геодезическо-маркшейдерского контроля	Задачи геодезическо-маркшейдерского контроля
Завершающий (окончание строительства)	Выходной	Контроль: за выполнением геометрических параметров проекта законченных строительством зданий, сооружений и инженерных коммуникаций; за своевременным и правильным выполнением исполнительной геодезическо-маркшейдерской документации на заканчиваемые строительством объекты или их объемно-планировочные и конструктивные элементы; за составлением и оформлением комплекта геодезическо-маркшейдерской документации по завершении строительства объектов

шадки и календарных графиков выполнения строительного-монтажных работ (с учетом фактического выполнения указанных графиков).

Геодезическо-маркшейдерский контроль следует осуществлять на всех этапах и стадиях строительного-монтажного производства: в подготовительный период (организационно-техническая подготовка к строительству — проектирование и создание геодезической разбивочной плановой и высотной основы); в основной период строительства (земляные работы, возведение инженерных коммуникаций и фундаментно-подземных частей зданий, сооружений, подземных сооружений, монтаж строительных конструкций); по окончании строительства (сдача-приемка законченных строительством зданий, сооружений, объемно-планировочных и конструктивных элементов их). Виды и задачи геодезическо-маркшейдерского контроля в процессе строительного-монтажного производства изложены в табл. 120.

Геодезическо-маркшейдерская съемка в процессе строительного-монтажного производства

Задачей геодезическо-маркшейдерской съемки является получение наиболее полных и достоверных данных о фактическом геометрическом положении заканчиваемых строительством зданий, сооружений или их объемно-планировочных и конструктивных элементов. Съемку надлежит производить по этапам и стадиям строительного-монтажного производства с таким расчетом, чтобы результаты этой съемки служили исходными данными для последующих этапов и стадий строительства. Геодезическо-маркшейдерская съемка — это комплекс измерений, выполняемых с пунктов геодезической плановой и высотной основы для определения фактического геометрического положения в плане, по высоте и по вертикали объемно-планировочных и конструктивных элементов зданий и соору-

жений. В процессе геодезическо-маркшейдерской съемки в результате выполнения камеральных работ (вычислений и графических построений на основе результатов измерений) получают графическую документацию — планы, профили и разрезы, отображающие объекты съемки. Объектами геодезическо-маркшейдерской съемки являются: здания и сооружения, их конструктивные и объемно-планировочные элементы; рельеф строительно-монтажной площадки; наиболее характерные точки на территории строительства, инженерно-геологические, геолого-разведочные скважины и шурфы, устья горных выработок, точки зондирования грунтов и т. д. Для объектов, указанных в первых двух пунктах съемки, в процессе строительства наиболее характерной чертой является непрерывное изменение во времени и пространстве. Эта особенность требует систематического проведения съемок в процессе выполнения работ по возведению объектов по этапам их производства (от заложения котлованов и траншей до окончания монтажа или строительством объемно-планировочных и конструктивных элементов) для правильного и своевременного отражения состояния строительно-монтажного производства и, в частности, выполнения геометрических параметров проекта. Особое внимание должно быть уделено съемкам подземной части зданий, сооружений, подземным инженерным коммуникациям и сооружениям, а также объектов, геометрические элементы которых в процессе строительства становятся недоступными для измерений или, как принято называть, «скрытыми».

Выполнение геодезическо-маркшейдерской съемки в процессе строительно-монтажного производства требует соблюдения основных принципов производства геодезическо-маркшейдерских работ, которые исторически возникли в метрологии и последовательно развивались в геодезии, инженерной геодезии, маркшейдерии, топографии и других отраслях наук и производства, связанных с измерениями. Основные принципы производства геодезическо-маркшейдерских работ в строительстве заключаются в следующем:

1) геодезическо-маркшейдерские измерения, вычисления и построения должны выполняться от общему к частному, т. е. от основных геометрических элементов, определяющих положение объекта в пространстве, к детальным элементам объемно-планировочных и конструктивных решений объекта строительства. Такой порядок выполнения работ обусловлен закономерностями накопления погрешностей измерений;

2) все геодезическо-маркшейдерские измерения, вычисления и построения должны соответствовать необходимой точности, обусловленной требованиями проекта и соответствующими требованиями строительных норм, правил, ГОСТ и установленной специально выполняемыми в ПОС и ППР расчетами точности геодезической основы, основных и детальных разбивочных работ, геодезическо-маркшейдерских контроля и съемок заканчиваемых строительством объектов, а в необходимых случаях инструментальных наблюдений за деформациями грунтов оснований, фундаментов и конструктивных элементов зданий и сооружений. Этот принцип отражает тенденцию к достижению оптимальной точности геодезическо-маркшейдерских работ, так как избыточная точность приводит к излишним затратам труда, времени и средств, а недостаточная точность — к непроизводительным затратам материальных, трудовых и денежных ресурсов;

3) все геодезическо-маркшейдерские работы должны производиться с обязательным внутренним контролем правильности их вы-

полнения. Методы контроля геодезическо-маркшейдерских работ предусматривают в зависимости от вида выполняемых работ в ПОС и ППР;

4) геодезическо-маркшейдерские работы являются эффективным и объективным инструментом контроля за выполнением геометрических параметров объектов в процессе строительного-монтажного производства. От того, насколько своевременно, правильно и объективно осуществляются функции геодезическо-маркшейдерского контроля, зависит качество выполнения геометрических параметров зданий и сооружений, что в конечном итоге предопределяет технико-экономические показатели строительства зданий и сооружений. Следовательно, четвертый принцип можно сформулировать как требование объективности и независимости производства геодезическо-маркшейдерских работ.

В процессе строительного-монтажного производства геодезическо-маркшейдерская съемка выполняется специалистами геодезическо-маркшейдерской службы генеральной подрядной и субподрядных строительного-монтажных организаций. Контрольные съемки при приемке работ от субподрядных организаций выполняет геодезическо-маркшейдерская служба генподрядчика, а при сдаче-приемке закончиваемых строительством зданий, сооружений или отдельных элементов — служба заказчика или по его поручению служба специализированной или проектной организации; для объектов городского и поселкового строительства контрольную съемку выполняет инженерно-геодезическая служба органов по делам строительства и архитектуры местных Советов депутатов трудящихся, в обязанности которой входит также съемка для составления исполнительных генеральных планов городов, поселков, жилых массивов, микрорайонов.

7. ГЕОДЕЗИЧЕСКО-МАРКШЕЙДЕРСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Техническая проектная документация — основа для организации производства геодезическо-маркшейдерских работ

Выполнение комплекса геодезическо-маркшейдерских работ, обеспечивающих строительное-монтажное производство, базируется на технической проектной документации, разрабатываемой проектной организацией и утверждаемой в установленном порядке. Проектирование предприятий, зданий и сооружений в соответствии с действующим законодательством в капитальном строительстве осуществляется в две стадии (технический проект и рабочие чертежи) или в одну (техно-рабочий-проект — технический проект, совмещенный с рабочими чертежами).

Основой для организации производства геодезическо-маркшейдерских работ на строительном-монтажной площадке в составе технического или техно-рабочего проекта является следующая документация:

Генеральный план (как часть проекта)

а) генеральный план, который содержит планировочные решения, вертикальную планировку, устройство ливнеотоков, решения по инженерным сетям и коммуникациям и т. д.; в графическую часть генплана входят ситуационный план размещения объектов в масштабе 1 : 5000; 1 : 10000 или 1 : 25000 с внешними коммуникациями (железные и автомобильные дороги, инженерные сети и др.); генеральный план с нанесением проектируемых, существующих, реконструируемых и подлежащих сносу зданий, сооружений, всех видов транспорта, очередей и пусковых комплексов строительства, благоустройства и озеленения территории, план внутриплощадочных дорог с указанием типов покрытия в масштабе 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000; картограмма земельных масс; план инженерных коммуникаций, как правило, сводный, в масштабе генерального плана с указанием диаметров магистральных трубопроводов; схема грузопотоков и людских потоков (для крупных предприятий);

б) проектное решение внешних транспортных коммуникаций, графическая часть которого содержит план внеплощадочных железнодорожных путей, автомобильных дорог и других транспортных коммуникаций в масштабе 1 : 5000; 1 : 10000; продольные профили транспортных путей в масштабе 1 : 5000; 1 : 10000; и, в необходимых случаях, характерные поперечные профили земляного полотна в масштабе 1 : 100; 1 : 200; планы и схемы отдельных нетиповых сооружений и узлов транспорта;

Технологическая часть

а) технологическая схема производства, графическая часть которой содержит принципиальную схему технологического процесса и схему межцеховых и технологических коммуникаций и трубопроводов; план и разрезы основных производственных зданий (цехов и установок) с нанесением мест расположения основного технологического оборудования и транспортных средств, а также вентиляционных камер, кондиционеров, трансформаторных подстанций, распределительных устройств, помещений КИП и автоматики в масштабе 1 : 200; 1 : 400;

б) схема электроснабжения и электрооборудования, в состав графической части которой входят схемы электроснабжения объектов и релейных защит; трассы основных электрических сетей в масштабе 1 : 1000; 1 : 2000 и 1 : 5000 (указываются, как правило, на сводном плане инженерных сетей); планы и разрезы крупных подстанций с размещением электрооборудования, а также подстанций высокого напряжения в масштабе 1 : 200; 1 : 400;

в) схема тепловых сетей, графическая часть которой содержит схемы трасс магистральных и распределительных тепловых сетей и в масштабе 1 : 1000; 1 : 2000 (наносятся на сводном плане инженерных сетей); эскизы нетиповых проектных решений (специальных установок, мест пересечения железных дорог, оврагов и др.);

Строительная часть

а) архитектурно-строительные решения, в состав графической части которых входят: планы основных зданий и сооружений в масштабе 1 : 200; 1 : 400, а для особо крупных зданий в масштабе 1 : 800 с нанесением компоновки цехов и отделений; разрезы со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций, как правило, в масштабе 1 : 200, а особо крупных зданий в масштабе 1 : 400; фасады зданий в масштабе 1 : 200, 1 : 400; по

остальным зданиям и сооружениям технические характеристики приводятся в форме таблиц;

б) планы кондиционирования, отопительной и вентиляционной систем, графическая часть которых содержит планы основных производственных зданий с нанесением на них сложных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а в необходимых случаях и разрезы;

в) сеть водоснабжения и канализации, графическая часть которой содержит трассы внешних магистральных сетей (указывается, как правило, на ситуационном плане), внутривозрастных сетей и сооружений на них (указываются с диаметрами трубопроводов на сводном плане инженерных сетей); планы и разрезы (только в необходимых случаях) по основным сооружениям водопровода и канализации;

Жилищно-гражданское строительство

ситуационный план района строительства с вариантами выбора территории для жилищного строительства; генеральный план города (поселка), проект детальной планировки с эскизом застройки в объеме, необходимом для строительства;

Организация строительства

а) в состав ПОС (объем и содержание этой части проекта устанавливается «Инструкцией о порядке составления и утверждения проектов организации строительства и проектов производства работ» СН 47-67) входят ситуационный план строительства (при необходимости) с расположением предприятий материально-технической базы, жилых поселков, массивов, микрорайонов, внешних путей и дорог, станций примыкания к путям МПС и других объектов; стройгенплан с расположением постоянных, временных зданий и сооружений и устройств, в том числе железных и автомобильных дорог, основных коммуникаций и складов, крупных механизированных установок с выделением условными обозначениями схемы потоков и объектов, осуществляемых в подготовительный период;

б) в состав ППР (подготовительного периода) входят календарный план производства работ или сетевой график; строительный генеральный план всей площадки строительства с уточненным расположением на нем временных сооружений, внеплощадочных и внутривозрастных коммуникаций и сетей с подводкой сетей к местам потребления с выделением работ, выполняемых в подготовительный период; рабочие чертежи привязки типовых временных сооружений;

в) ППР (для объекта) должен содержать стройгенплан объекта, а в случаях, когда ППР составляется на пусковой комплекс, — стройгенплан комплекса объектов с расположением приобъектных постоянных и временных путей, схем энергоснабжения, теплоснабжения, кранов, сетей административно-хозяйственной и диспетчерской связи, механизированных установок, складов и других сооружений и устройств, необходимых для нужд строительства, а также баланс земляных масс;

Рабочие чертежи

планы, профили, разрезы зданий и сооружений, а также отдельные сложные объемно-планировочных и конструктивных элементов в принятом проекте масштабе, в которых указаны все необходимые геометрические параметры объектов строительства и привязки

главных или основных осей к пунктам геодезической основы, в том числе строительной сетки.

Классификация геодезическо-маркшейдерской документации

Геодезическо-маркшейдерская документация должна содержать современные и точные данные о рельефе местности, ситуации земной поверхности, геодезической плановой и высотной основе, состоянии строительного производства. Она подразделяется на следующие виды: первичную, вычислительную и графическую.

Назначение геодезическо-маркшейдерской документации состоит в том, чтобы дать объективное отражение фактически выполненных работ по размещению и возведению объектов строительства; она имеет юридическую силу. Каждая строительномонтажная организация обязана иметь полный комплект геодезическо-маркшейдерской документации, обеспечивающей решение всех инженерных и хозяйственных задач при производстве строительномонтажных работ. Эта документация подлежит инвентаризации; инвентарная опись ведется в специальных книгах, пронумерованных, прошнурованных и скрепленных печатью строительномонтажной организации. На каждом документе должен быть указан его инвентарный номер. Проверка наличия документов по инвентарной книге проводится один раз в год, а также при сдаче-приемке дел, о чем составляется акт.

Строительномонтажная организация обязана обеспечить надежное хранение всей геодезическо-маркшейдерской документации (вычислительная и графическая документация должна храниться в негорючем шкафу). Разрешение пользоваться документацией или снимать с нее копии для собственных нужд организации дает главный геодезист или главный маркшейдер этой организации, а для нужд других организаций — руководитель или главный инженер.

Ответственность за полноту и достоверность геодезическо-маркшейдерской документации, за своевременное ее составление, пополнение и внесение корректив несет главный инженер и главный геодезист или главный маркшейдер, а за обеспечение правильного и безопасного хранения этой документации — руководитель строительномонтажной организации.

В состав обязательной первичной геодезическо-маркшейдерской документации входят журналы измерения базисов, полигонометрии и теодолитных ходов, нивелирования, съемки (тахеометрической, мензульной и др.), выноса в натуру геометрических параметров проекта (разбивочных работ), геодезическо-маркшейдерского контроля, акты о производстве геодезическо-маркшейдерской разбивки, по выносу в натуру красных линий и границ участка, геодезическо-маркшейдерской проверки строительных (монтажных, специальных) работ.

Журналы измерений, разбивок и съемок должны быть в твердом переплете и иметь стандартные размеры 144×203 или 144×101 мм с числом листов не более 50. Каждый журнал должен иметь свой номер; на последней странице журнала за подписью главного геодезиста или главного маркшейдера должно быть указано прописью общее количество пронумерованных страниц.

Непосредственно на месте проведения работ в журналы измерений заносятся средние значения измеренных величин и определя-

ется соответствие измерений требованиям норм. После окончания измерений все записи и вычисления должны быть проверены в камеральных условиях, о чем делается запись в журнале измерений и даются ссылки на соответствующие им журналы вычислений. В журналах съемки проверенные средние значения должны быть внесены тушью или чернилами.

В состав обязательной вычислительной геодезическо-маркшейдерской документации входят журналы вычислений длин базисов; решения треугольников (многоугольников); уравнивания триангуляции и вычисления окончательных координат; обработки длин сторон полигонометрии; уравнивания полигонометрии и вычисления координат; уравнивания нивелирных ходов и вычисления высотных отметок; вычислений координат пунктов геодезической рабочей плановой и высотной основы строительного-монтажной площадки; вычисления координат пунктов главной геодезической основы; ведомость приведенных направлений для пунктов триангуляции; каталоги координат и высот пунктов геодезической основы (по видам и разрядам); координат и высот пунктов теодолитных ходов и инженерных коммуникаций; координат и высот характерных точек зданий и сооружений; марок и реперов геодезической высотной основы; координат центров инженерно-геологических, геологоразведочных и горных выработок (в том числе скважин), осевых точек и дирекционных углов подземных выработок и сооружений; ведомости углов поворота, прямых и кривых главных осей инженерных коммуникаций; углов поворота створных знаков и расстояний по главной оси инженерных коммуникаций; учета разбивочных работ и исполнительных съемок зданий и сооружений; колодезев, коверов, распределительных шкафов и других сооружений инженерных коммуникаций; опор и других сооружений по осям воздушных линий; железнодорожных путей; экспликация зданий и сооружений.

Журналы вычислений имеют стандартные размеры 203×288 мм, общее количество листов в них не должно превышать 100. Каждый журнал имеет свой номер; на последней странице журнала за подписью главного геодезиста или главного маркшейдера должно быть указано общее количество пронумерованных страниц. Записи в журналах вычислений следует вести чернилами или тушью четко и разборчиво. В журналах вычислений делается ссылка на номера страниц и журналов измерений (съемок, разбивок), из которых выписаны исходные данные и результаты измерений. Ошибочные вычисления перечеркиваются и сопровождаются объяснениями за подписью лиц, выполнявших эти вычисления. Одновременно даются ссылки на страницы журналов, где помещены соответствующие правильные вычисления. Вычисления должны заканчиваться определением невязок и сравнением их с соответствующими допусками норм. Все вычисления обязательно ведутся с контролем или же выполняются «две руки».

Для табличных и текстовых материалов установлен стандартный формат 288×203 мм с размерами полей: слева — 30 мм, справа, сверху и снизу — 5—15 мм; допускается применение двойного формата 288×406 мм. Схематические чертежи, прилагаемые к текстовым материалам или материалам вычислений, должны быть стандартного размера или кратного ему с учетом сохранения высоты листа, равной 288 мм, во избежание излишних перегибов.

Каталоги и ведомости заверяют подписями составителя и про-

веряющего. В каталоги координат и высот пунктов геодезической основы включаются все пункты, расположенные на территории строительства, в том числе пункты геодезической основы, созданной ранее для инженерных изысканий и прочих целей. Пункты каталогов располагают в соответствии с порядком выполнения геодезических работ. По итогам каждой работы дается краткая характеристика, в которой указываются наименование и вид выполненной работы; класс и точность выполнения измерений; организация-исполнитель и должность и фамилия ответственных исполнителей; дата, месяц и год выполнения работ; характеристики геометрических параметров геодезической основы (наибольший и наименьший углы, наибольшая, средняя и наименьшая длины сторон); типы знаков, закрепляющих пункты; приборы, применявшиеся для угловых и линейных измерений, показатели точности — невязки и средние квадратические ошибки (угловые, линейные, азимутальные и координатные) по материалам полевых работ и уравнивания; методика уравнивания, система координат и высот, исходные пункты и их геодезические данные, принятые для вычисления длин сторон, дирекционных углов, координат и высот; формулы перехода от местной системы координат к условной; местонахождение материалов полевых работ и камеральной обработки; документ, из которого взяты данные, внесенные в каталог. Подчистки в каталогах запрещаются. При исправлении ошибочное число зачеркивается и над ним пишется новое, так, чтобы то и другое число ясно читались; каждое исправление завершается подписью ответственного лица.

Ведомости углов поворота, прямых и кривых, ведомости колодцев, опор и других сооружений составляются отдельно по каждой линии коммуникаций в направлении от нулевого до конечного пикета. В ведомость вносятся лишь проверенные и принятые данные о фактически выполненных геометрических параметрах, полученные путем измерений и съемок, а также на основе исполнительной документации. Исполнительные чертежи, составленные на основе рабочих чертежей, допускается использовать только после соответствующего контроля ответственными специалистами.

Ведомость учета разбивочных работ и съемок заканчиваемых строительством объектов предназначена для учета материалов, используемых для составления геодезическо-маркшейдерской документации, в том числе оперативного плана строительно-монтажной площадки. Эта ведомость ведется в виде журнала.

Экспликация зданий и сооружений имеет инвентаризационное назначение и содержит сведения об объектах, которые не могут быть размещены на чертежах. В состав экспликации включают все здания и наземные сооружения, кроме дорог, колодцев, подземных сооружений, опор линий электропередач и других сооружений, относящихся к подземным и воздушным коммуникациям.

Ведомость железнодорожных путей содержит перечень всех путей в порядке нумерации их на плане с характеристикой путевых устройств (типы рельсов, стрелочных переводов и т. д.).

Геодезическо-маркшейдерская графическая документация представляет собой уменьшенное (в заранее определенном масштабе) изображение на плоскости (бумаге или других материалах) зданий, сооружений и их элементов, рельефа земной поверхности и ситуации строительно-монтажной площадки, построенное в соответствии с геометрическими правилами. Эта документация на каждый определенный период времени должна отражать полные и достоверные дан-

ные о состоянии строительно-монтажных работ, рельефе и ситуации земной поверхности на участке, о взаимном расположении зданий, сооружений и коммуникаций между ними, о геометрических характеристиках возводимых зданий и сооружений.

В состав обязательной геодезическо-маркшейдерской графической документации входят основные и специальные планы, профили, разрезы и проекции, которые составляются по результатам геодезическо-маркшейдерских измерений и служат основой для составления всех остальных видов графической документации. Основные планы, профили, разрезы и проекции являются важнейшими техническими и юридическими документами строительства.

Терминологические определения графической документации

П л а н — ортогональная проекция на горизонтальную плоскость без учета кривизны Земли в масштабе 1 : 10000 и крупнее;

К а р т а т о п о г р а ф и ч е с к а я — картографическая проекция на горизонтальную плоскость с учетом кривизны Земли в масштабе 1 : 10000 и мельче;

К а р т а г е о л о г и ч е с к а я (инженерно-геологическая, гидрологическая) — проекция на горизонтальную плоскость выходов горных пород (грунтов) и других инженерно-геологических, геологических и гидрологических элементов в масштабе 1 : 10000 и мельче;

К а р т о г р а м м а — карта с указанием границ деления на определенные территориальные единицы, имеющие свои назначение и обозначения;

С х е м а — изображение без соблюдения масштаба, передающее основную идею или воспроизводящее взаимодействие главных элементов;

Ч е р т е ж и отдельных участков, зданий и сооружений — планы и разрезы или горизонтальные проекции и разрезы;

Г о р и з о н т а л ь н ы е г е о л о г и ч е с к и е р а з р е з ы толщи горных пород (грунтов) — разрезы, составляемые для характеристики строения толщи горных пород (грунтов) на участке строительства;

Г е о л о г и ч е с к и е р а з р е з ы по отдельным горным выработкам — продольные и поперечные геологические разрезы, составляемые на основе съемок (зарисовок) горных выработок, подземных сооружений;

С в о д н ы е ч е р т е ж и — копии чертежей, выполненных на планшетах или отдельных листах чертежной бумаги, сведенные на один лист из прозрачного материала (калька, пленка и т. д.), любого размера с любым расположением линий сетки относительно линий рамки или линий обреза бумаги;

С о в м е щ е н н ы е п л а н ы — планы, на которых одновременно изображены объекты, находящиеся на различных горизонтах, ярусах, этажах;

Объекты изображения графической документации

И н ж е н е р н ы е к о м м у н и к а ц и и — линии сообщения (железные, автомобильные и подвесные дороги; трубопроводы водо-

снабжения, газоснабжения, канализации, теплофикации и т. д., линии электроснабжения, электросвязи и сигнализации);

Подземные инженерные коммуникации — коммуникации, проложенные в подземном пространстве на определенной для каждой из них глубине (горизонте), в том числе коллекторные тоннели, линии метрополитена и т. д.

Для каждого чертежа определяются содержание, масштаб, разграфка и материал, на котором он выполняется. Чертежи, создаваемые непосредственно по результатам съемки, являются оригиналами. Отдельные чертежи, полученные от других организаций — исполнителей, выполняющих съемки, могут быть дубликатом. Дубликаты и оригиналы чертежей выполняют на планшетах или листах чертежной бумаги стандартных размеров. Планшеты должны иметь единую трапециевидную или квадратную разграфку, листы чертежной бумаги — квадратную разграфку.

При трапециевидной разграфке планшеты ограничиваются рамками, совпадающими с линиями географической сетки; прямоугольные координаты вершин углов рамок, размеры рамок и площадей определяются из специальных таблиц. При квадратной разграфке планшеты ограничиваются рамками, совпадающими с линиями квадратной координатной сетки, которые проводят через 100 мм. Планшеты всех масштабов имеют размеры 500×500 мм, за исключением масштаба 1 : 5000, в этом случае планшет имеет размеры 400×400 мм. Координаты вершин углов рамок должны быть кратными: в масштабе 1 : 500 — 250 м, 1 : 1000 — 500 м, 1 : 2000 — 1000 м, 1 : 5000 — 2000 м.

На листах чертежной бумаги чертеж ограничивается рамками прямоугольной формы; линии сетки проводят через 100 мм; в зависимости от наиболее целесообразного расположения объекта изображения они могут иметь любое расположение по отношению к линиям рамки; на таких чертежах должно быть указано направление меридиана.

Основные форматы листов стандартного размера (ЕСКД*. Форматы. ГОСТ.2.301—68. Взамен ГОСТ 3450—69) приведены в таблице 121.

Допускается применение дополнительных форматов, образуемых увеличением сторон основных форматов на величину, кратную размерам формата А1, при этом коэффициент увеличения должен быть целым числом.

Т а б л и ц а 121

Обозначение формата	44	24	22	12	11
Размеры сторон формата, мм	1189×841	594×841	594×420	297×420	297×210
Соответствующее обозначение потребительского формата	A0	A1	A2	A3	A4

Оригиналы чертежей и их дубликаты выполняют на листах чертежной бумаги высшего качества (Гознак) или на прозрачных лис-

* ЕСКД — Единая система конструкторской документации.

тах. Планшеты изготовляют на жесткой основе (алюминий, авиационная фанера), на полужесткой основе (хлопчатобумажная ткань, склеенная с чертежной бумагой) или на мягкой основе (хлопчатобумажная ткань). Листы чертежной бумаги подготавливают на полужесткой или на мягкой основе. Из прозрачных материалов в качестве основы для составления оригиналов и дубликатов институтом ВНИМИ рекомендуется применять листы винипроза и пленки полиэтилентерефталата (лавсан, хостафен и т. п.). Для чертежей, создаваемых на копиях (специальной производственной и технической графической документации), применяются листы прозрачной бумаги (кальки), винипроза, пленки полиэтилентерефталата, триацетатной целлюлозы и листы диазотипной бумаги. Методика работы на прозрачных материалах изложена в «Руководстве по составлению маркшейдерской графической документации на прозрачной основе», ВНИМИ, 1961.

Графическая документация является исходной для составления или пополнения генеральных планов, отражающих взаимное геометрическое положение законченных строительством объектов в пространстве. Эта документация является основой технички правильной и экономически целесообразной, а во многих случаях и безопасной эксплуатации объектов народного хозяйства, а также основным документом для реконструкции зданий и строительства на смежных территориях. Поэтому геодезическо-маркшейдерская графическая документация должна быть полной, точной и достоверной, от нее требуется наглядность и максимальная информативность, с тем чтобы производить необходимые измерения и вычисления для определения геометрических параметров.

Для решения инженерных задач в процессе строительного производства комплект геодезическо-маркшейдерской документации должен систематически пополняться и отражать все изменения в состоянии объектов.

Состав геодезическо-маркшейдерской графической документации определяется в зависимости от вида или отрасли строительства, специфики возведения объектов, объемно-планировочных и конструктивных решений; он регламентируется специальными инструкциями и может быть изменен в соответствии с составом проектной графической документации с учетом требований строительных норм, правил и ГОСТ. Конкретный состав комплекта этой документации должен быть установлен геодезическо-маркшейдерской службой генеральной подрядной строительного-монтажной организации, согласован с заказчиком и утвержден техническим руководством этой организации.

Состав основной геодезическо-маркшейдерской графической документации

Документация	Масштаб
Обзорная карта района строительства	1 : 10 000—1 : 25 000
Сводный план строительного-монтажных площадок, вспомогательных площадок и внешних линейных сооружений . .	1 : 5000—1 : 10 000

План строительного-монтажной площадки промышленного предприятия, комплекса, объекта	1 : 500—1 : 2000
План строительного-монтажной площадки жилого массива, микрорайона, поселка	1 : 500—1 : 1000
План строительства подсобных предприятий (расположенных отдельно)	1 : 1000—1 : 2000
Планы карьеров по добыче строительных материалов, а также жилых поселков при них	1 : 500—1 : 2000

Состав специальной геодезическо-маркшейдерской графической документации

Документация	Масштаб
План геодезической плановой и высотной основы	1 : 5000—1 : 25 000
Схема расположения планшетов	—
План наземных зданий и сооружений	В масштабе основного плана
План подземных инженерных коммуникаций и сооружений	1 : 500—1 : 2000
План надземных (воздушных) линий и сооружений	1 : 500—1 : 2000
Планы разбивки и закрепления главных, основных и вспомогательных осей зданий и сооружений	В масштабе рабочих чертежей
Картограмма геодезической и топографической изученности	1 : 10 000—1 : 50 000
Исполнительные планы, профили, разрезы и проекции законченных строительством зданий, сооружений, объемно-планировочных и конструктивных элементов	В масштабе рабочих чертежей

Специальные планы, профили, разрезы и проекции предназначены для решения отдельных более конкретных инженерных задач, возникающих при производстве строительного-монтажных работ, и составляются по основным графическим документам или по результатам специальных съемок.

Состав обязательной геодезическо-маркшейдерской документации для конкретной строительного-монтажной площадки может быть уточнен в зависимости от вида и состава геодезическо-маркшейдерских работ специальной инструкцией для отдельных видов или отрасли

строительства, утверждаемой в установленном порядке строительным министерством, ведомством, а также специализированным главным управлением.

Оперативный геодезическо-маркшейдерский план строительно-монтажной площадки

В процессе строительства крупных промышленных предприятий, энергетических, гидротехнических комплексов и других объектов народного хозяйства происходят дополнения и изменения технической проектной документации (генпланы, рабочие чертежи); кроме того, динамика процессов строительно-монтажного производства обуславливает постоянные изменения ситуации и обстановки на территории строительно-монтажной площадки. Поэтому основное назначение оперативного геодезическо-маркшейдерского плана состоит в том, чтобы своевременно и точно отражать все происходящие в процессе строительно-монтажного производства изменения, давая объективную картину хода строительства. Особо важное значение эта документация приобретает при наличии работ скрытого характера, не имеющих ярко выраженных характеристик при визуальном осмотре (подземные сооружения и коммуникации, обменно-планировочные и конструктивные элементы, перекрываемые при производстве последующих этапов строительно-монтажных работ).

Оперативный план представляет собой комплекс графической документации (планы, профили, разрезы, таблицы, каталоги, ведомости и т. д.), основное требование к которой — своевременная и объективная информация о ситуации строительно-монтажной площадки на определенный календарный период производства строительно-монтажных работ; о взаимном геометрическом расположении всех объектов и коммуникаций между ними; о точности выполнения геометрических параметров при размещении и возведении объектов и их элементов (в графическом и аналитическом виде); об изменениях рельефа территории строительно-монтажной площадки; о фактически выполненных объемах земляных, бетонных, закладочных и др. видах работ; о фактических координатах и высотных отметках пунктов геодезической плановой и высотной основы и других характерных элементов зданий, сооружений и коммуникаций.

За своевременность и правильность составления оперативного плана отвечает геодезическо-маркшейдерская служба генподрядчика.

Оперативный план на крупных объектах ведут специально создаваемые структурные звенья специалистов, а на небольших объектах — непосредственно геодезическо-маркшейдерская служба строительно-монтажной организации. Ведение оперативного плана осуществляется на основе сбора и систематизации геодезическо-маркшейдерских и топографических данных, постоянно поступающих от исполнителей геодезическо-маркшейдерских работ с различных объектов и участков стройки с учетом геодезических, аэрофотографических и топографических материалов, полученных от заказчика, сводных и пообъектных генпланов, стройгенпланов, рабочих и разбивочных чертежей, геодезическо-маркшейдерской документации, полученной в результате выполнения работ по созданию геодезической основы, выполнению разбивок и съемок субподрядными организациями.

В комплекс документов оперативного геодезическо-маркшейдерского плана строительного-монтажной площадки входят следующие материалы: основная графическая документация (ведется на сводных и основных планах, профилях, разрезах); детальная или пообъектная документация (ведется на копиях или специальных графических документах более крупного масштаба); вспомогательная (пояснительная и обосновывающая) документация (представляет систематизированные текстовой и табличный материалы).

В материалах оперативного плана должны содержаться следующие данные: назначение объекта (название или номер по генплану); высота или этажность его; вид и материал конструкций; геометрические размеры объекта в натуре (с округлением до 0,01 м); координаты основных точек и углов объекта (с округлением до 0,01 м); высотные отметки поверхностей пола этажа, яруса, горизонта, отмокостки или тротуаров на углах здания и против входа; дата сдачи законченного строительством объекта.

Исполнительная геодезическо-маркшейдерская документация

Исполнительная документация составляется на законченный строительством объект: она должна содержать точные геометрические данные, полученные по результатам непосредственных измерений. Для несложных объемно-планировочных и конструктивных решений наземной и подземной части объектов, а также для типовых решений допускается составление исполнительных поэтажных (по-ярусных, погоризонтных) планов, разрезов на копиях рабочих чертежей. Для подземной части объектов, особенно фундаментов глубокого заложения, подземных сооружений и коммуникаций, а также для объектов со сложными объемно-планировочными и конструктивными решениями исполнительная документация составляется в виде специальных планов, профилей, разрезов и проекций.

На исполнительной графической документации указываются все необходимые геометрические размеры: проектные — красной тушью, а фактически выполненные — зеленой или черной с указанием полученных отклонений и имеющих место нарушений установленных допусков.

Для того чтобы не перегружать исполнительную графическую документацию, следует составлять в качестве приложений к ней табличный материал — ведомости, экспликации зданий и сооружений, спецификации, каталоги, в которых необходимая геометрическая информация систематизируется по конкретным объектам в математическом виде.

Состав исполнительной документации определяется в зависимости от назначения объекта и специфики его возведения и регламентируется строительными нормами, правилами и ГОСТ.

Исполнительная документация по планировке территории составляется в масштабе 1 : 500, 1 : 1000 или 1 : 2000 и должна содержать границы и ограждения участков планировки территории (с указанием их назначения и материала покрытия); характерные высотные отметки участков и направление скатов; откосы, пандусы, уступы, обрывы, подпорные стенки, лестницы и т. д. с отметками верха и низа; отметки въездов и входов на участки; отметки головок рельс,

осей коммуникаций (дорог, каналов, канав, лотков и т. д.), дамб и других инженерных сооружений линейного типа, урезом рек, ручьев, озер (показывают на пересечениях и других характерных местах, но не реже, чем через 10 см в масштабе плана). Спланированный рельеф земной поверхности на больших территориях показывают горизонталями; при этом указывают высотные отметки наиболее характерных точек рельефа.

Исполнительная документация зданий, сооружений составляется в виде планов (поэтажных, поярусных, погоризонтных), разрезов и профилей в масштабе 1 : 500, 1 : 200 или 1 : 100 и включает:

в планах — главные, основные и вспомогательные разбивочные оси с указанием геометрических привязок к пунктам геодезической основы (линиям строительной сетки); фундаменты и конструктивные части зданий и сооружений, фундаменты под машины, механизмы и оборудование с указанием высотных отметок полов, верха фундаментов и поверхности земли около углов зданий, сооружений; размеры по наружному контуру на уровне отмостки или тротуара (с округлением до 0,01 м); отметки входов в здание, примысков и террас (с указанием верха и низа); контуры тротуаров или отмосток вокруг здания, сооружения с указанием их отметок на углах здания и в наиболее характерных местах; вводы инженерных коммуникаций; для конструктивных частей и элементов объектов должны быть указаны материал и их назначение;

в разрезах — оси зданий, сооружений; фундаменты, стены, перекрытия и полы зданий, фундаменты под технологическое оборудование с указанием высотных отметок верха и низа фундамента, верха полов, перекрытий и мест ввода коммуникаций.

Исполнительная документация инженерных коммуникаций и сооружений составляется в зависимости от их вида и назначения. Инженерные коммуникации и сооружения классифицируются по следующим видам: наземные (или проложенные на земной поверхности) — автомобильные дороги, железные дороги широкой и узкой колеи, каналы гидротехнические (деривационные, ирригационные, отводящие и др.), канавы гидротехнические (водосточные, дренажные и т. д.), дамбы и другие земляные сооружения линейного типа, трубопроводы различного назначения; надземные (воздушные или проложенные на специальных опорах) — подвесные канатные дороги, рельсовые дороги, линии электропередач (ЛЭП), линии электро-связи; подземные (проложенные ниже уровня земной поверхности) — линии водоснабжения (питьевая, промышленная, пожарная и т. д.), линии газоснабжения, линии канализации (бытовая, промышленная, ливневая — общесплавная, раздельная и полураздельная), линии теплоснабжения, линии дренажа (горизонтальный и вертикальный), внутривзводские и межзаводские линии технологического обеспечения (ацетиленопровод, кислородопровод и т. д.), магистральные линии транспортирования продуктов (нефть, газ и т. д.), кабельные линии электроснабжения различного напряжения, кабельные линии электросвязи (телеграф, телефон, сигнализация, радиовещание и телевидение), туннели различного назначения (транспортные, метрополитен, коллекторные, гидротехнические напорные и безнапорные и т. д.), подземные сооружения различного назначения (технологические, складские, аварийные и т. д.).

8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА, ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ

1. Глава СНиП I-A.3-62 «Применение единой модульной системы при назначении размеров сборных конструкций и изделий».

2. Глава СНиП I-A.4-62 «Система допусков. Основные положения».

3. Глава СНиП II-A.4-62 «Единая модульная система в строительстве. Основные положения проектирования».

4. Глава СНиП III-A.6-62 изд. 1968 г. «Организационно-техническая подготовка к строительству. Основные положения» (п. 1.5).

5. Глава СНиП III-K.1-62 «Жилые и общественные комплексы, здания и сооружения. Правила организации строительства и приемки в эксплуатацию» (пп. 1.12, 2.2, 2.3).

6. «Инструкция, о порядке составления и утверждения проектов организации строительства и проектов производства работ» СН 47-67, с дополнением пункта 1.7, внесенным постановлением Госстроя СССР от 30 июля 1971 г. № 126.

7. ГОСТ. «Единая система конструкторской документации» (ЕСКД) — (комплекс стандартов).

8. «Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства» СН 212-62 (пп. 6.04—6.17, разделы 9 и 10).

9. «Указания по организации строительства предприятий по добыче полезных ископаемых» СН 377-67 (Раздел 3, «Маркшейдерские, геодезические и геологические работы»).

10. Главы III части СНиП в области правил строительного-монтажного производства и установления допускаемых геометрических отклонений при размещении и возведении зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багратуни Г. В. и др. Инженерная геодезия. Под ред. Закарова П. С. М., «Недра», 1969.
2. Беликов Е. Ф. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. М., Геодезиздат, 1960.
3. Бесчастный Г. К., Миронович М. И. Новые дальномерные насадки двойного изображения. Труды ВНИИМ, 1971, сб. 84.
4. Богуславский М. Г., Элиашберг В. М., Шарова Е. Е., Федотова Л. И. Государственный первичный эталон единицы плоского угла — радиана. «Измерительная техника». 1972, № 7, с. 9—19.
5. Большаков В. Д., Демушкин А. И. Светодалномер топографический СТ-62М. (Краткое описание и инструкция). М., 1968, 72 с. (МИИГАиК).
6. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965, с. 464.
7. Бородулин Г. И. Руководство по светодалномеру ТД-2. Л., 1969, 97 с. (ВНИИМ).
8. Бородулин Г. И., Сеницын В. А., Попов И. А. Светодалномер ТД2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Л., 1969, (ВНИИМ).
9. Бородулин Г. И., Попов И. А., Сеницын В. А. Маркшейдерский светодалномер МСД-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1970, (ВНИИМ).
10. Бородулин Г. И. Обзор современных светодалномеров. «Геодезия и картография», 1970, № 8.
11. Бржезинский М. Л. Эталонная интерференционная установка для воспроизведения единицы длины. «Измерительная техника». 1967, № 11, с. 23—27.
12. Бржезинский М. Л., Симахина Г. В. и др. Эталонная установка для воспроизведения единицы длины и результаты ее исследования. Труды метрологических институтов, вып. 101 (151), 1968, с. 5—18.
13. Бурдун Г. Д., Калашников Н. В., Стоцкий Л. Р. Международная система единиц. М., «Высшая школа», 274 с.
14. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М., «Стандарты», 1972, 318 с.
15. Бычков О. Д. Уровни и микронивелиры и их применение для геодезической выверки конструкций. М., «Недра», 1973.
16. Валитов Р. А., Сретенский В. Н. Радиотехнические измерения. М., «Советское радио», 1970.

17. Видуев Н. Г., Ракитов Д. И., Гржибовский В. П. Геодезические измерения при установке машин и оборудования. М., «Недра», 1967.
18. Ганьшин В. Н. Математическая обработка наблюдений, сходных по форме с наблюдением направлений. Сборник статей по геодезии, ГУГик, М., Геодезиздат, вып. 8, 1954, с. 27—39.
19. Ганьшин В. Н., Спорышкова Н. А. О расчете ошибок округления. «Известия вузов», раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», вып. № 2, 1965, с. 51—58.
20. Ганьшин В. Н., Нестеренок М. С. Оценка стандарта при помощи эмпирической средней квадратической ошибки. «Известия вузов», раздел «Геодезия», 1967, № 3, с. 3—9.
21. Ганьшин В. Н., Хренов Л. С. Тахеометрические таблицы. М., «Недра», 1967.
22. Ганьшин В. Н., Купчинов И. И. и др. Инженерная геодезия. М., «Недра», 1968.
23. Ганьшин В. Н., Коськов В. И., Хренов Л. С. Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. М., «Недра», 1969, 208 с.
24. Ганьшин В. Н., Ларина Т. А. и Кудряков В. М. Съемка и обследование подземных инженерных сетей на действующих промышленных предприятиях и площадках. М., «Недра», 1971, 88 с.
25. Гайдаев П. А., Большаков В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений. М., «Недра», 1969, 400 с.
26. Геодезические работы на строительной площадке. М., Стройиздат, 1973, 304 с. (ЦНИИОМТП) составил канд. техн. наук В. С. Сытник с участием инженеров В. В. Шлапак, Т. В. Бондаренко, Х. М. Муборакова
27. Грейм А. А., Сарвин А. А. Маркшейдерский тахеометр ПВД. «Геодезия и картография». Журн. АН Венгерской Народной Республики Т. 6. 1971, с. 345—354.
28. Грейм И. А. Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. М., «Недра», 1971.
29. Грубер О. Оптическое измерение длин и полигонометрия. М., Углетехиздат, 1968.
30. Гусев Н. А. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. Учебное пособие. М., «Недра», 1968.
31. Даниленко Т. С. Геодезическое обеспечение монтажных работ. М., «Недра», 1971, 124 с.
32. Деймлих Ф. Геодезическое инструментоведение. М., «Недра», 1970.
33. Дурнева П. И. Таблицы для вычисления горизонтальных проложений и превышений при работе с дальномерами ДДЗ и ДД5. М., «Недра», 1964.
34. Ермаков В. И., Пушкин С. Б., Сачков В. Н. Государственный эталон времени и частоты. «Измерительная техника», 1967, № 11, с. 42—51.
35. Жонголович И. Д., Сабина Т. Б. Таблицы натуральных значений $\operatorname{tg} \frac{x}{2}$ и $\operatorname{tg}^2 \frac{x}{2}$ с пятью значащими цифрами. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1963, 383 с.
36. Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., «Недра», 1970.
37. Зданович В. Г., Белоликов А. Н., Гусев Н. А., Звонарев К. А. Высшая геодезия. М., «Недра», 1970.
38. Инструкция 87-65 по поверке землемерных лент. Взамен

- Инструкции 87-55. Издание официальное. М., «Стандарты», 1965.
39. **Инструкция** по эксплуатации шлангового технического нивелира НШТ-1. г. Харьков. Изд-во «Прапор», 1966.
40. **Инструкция** о построении Государственной сети СССР. М., «Недра», 1966, 342 с.
41. **Инструкция** 89-64 по поверке измерительных металлических рулеток. Издание официальное. М., «Стандарты», 1970.
42. **Инструкция** по топографо-геодезическим работам при изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства СН 212-73 Госстроя СССР.
43. **Инструкция** по нивелированию I, II, III, IV классов. М., «Недра», 1974.
44. **Кардаев М. А., Величко В. А., Мепуришвилли Г. Е.** Геодезия в дорожном строительстве. М., «Недра», 1972.
45. **Кемниц Ю. В.** Математическая обработка зависимых результатов измерений. М., «Недра», 1970, 189 с.
46. **Кендалл М. Дж., Стьюарт А.** Теория распределения. М., «Наука», 1966, 587 с.
47. **Комри Л. Дж.** Шестизначные математические таблицы Чемберса. М., «Наука», 1964, 574 с.
48. **Кондрашков А. В.** Электрооптические и радиогеодезические измерения. М., «Недра», 1972.
49. **Котков А. В., Лифшиц И. М.** Об учете погрешностей фазовращателя в светодальномерах с фиксированными частотами модуляции. «Геодезия и картография», 1970, № 11, с. 22—24.
50. **Котков А. В.** Макет лабораторного комплекса для поверки и аттестации светодальномеров. В кн.: «Автомобильные дороги, мосты и геодезия». Л., Издание ЛИСИ, 1972, с. 79—82.
51. **Котков А. В.** Метрологические основы аттестации электрооптических дальномеров. В кн.: Приборы и методы инженерной геодезии. Вып. 2, Л., ВАГО при АН СССР. Ленингр. отд. 1974, с. 78—96.
52. **Котков А. В.** Аттестация делений шкалы фазовращателей электрооптических дальномеров. В кн.: «Автомобильные дороги, мосты и геодезия», Л., Издание ЛИСИ, 1973.
53. **Котков А. В., Шур В. Л.** Образцовый 24-метровый компаратор с погрешностью $1 \cdot 10^{-7}$. В кн.: «Автомобильные дороги, мосты и инженерная геодезия». Доклады XXXI научной конференции ЛИСИ, Л., издание ЛИСИ, 1973.
54. **Котлов А. Ф.** Современные геодезические инструменты. М., «Высшая школа», 1968.
55. **Коськов Б. И.** Городская полигонометрия. М., «Геодезиздат», 1962, 238 с.
56. **Коськов Б. И., Павлов К. П.** Руководство по переносу проектов планировки и застройки городов и поселков в натуру. М., Госгеолтехиздат, 1963, 262 с.
57. **Коськов Б. И.** Справочное руководство по съемке городов. М., «Недра», 1974, 397 с.
58. **Крупп Н. Я., Рябов Ю. И.** Взрывобезопасный лазерный прибор для задания направлений горным выработкам при их проведении. «Уголь», 1972, № 3.
59. **Крупп Н. Я., Рябов Ю. И. и др.** Применение лазерного прибора с самоустанавливающимся направлением светового пучка в инженерной геодезии. Сб. ЛОВАГО «Геодезические работы в народном хозяйстве», 1972.

60. **Лебедев Н. Н., Мещеряков А. В.** Оптический центрировочный прибор высокой точности. «Известия вузов», раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», 1964, вып. 3 и 1967, вып. 6.
61. **Лебедев Н. Н.** Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1974, 369 с.
62. **Левчук Г. П.** Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1970.
63. **Линник Ю. В.** Способ наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М., Физматгиз, 1962, 349 с.
64. **Литвинов Б. А.** Основные вопросы построения и уравнивания полигонометрических сетей. М., «Геодиздат», 1962.
65. **Лобанов А. Н.** Фототопография. М., «Недра», 1968.
66. **Маликов С. Ф., Тюрин Н. И.** Введение в метрологию. М., «Стандарты», 1965, 240 с.
67. **Нейман Ю. М.** О назначении весов по эмпирическим дисперсиям, журн. «Известия вузов», раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», 1968, № 3, с. 26—31.
68. **Пашенков В. З.** Радио- и светодальномеры. М., «Недра», 1972.
69. **Прилепин М. Т., Голубев А. Н.** Оптические квантовые генераторы в геодезических измерениях. М., «Недра», 1972, 168 с.
70. **Пустыльник Е. И.** Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука», 1968, 288 с.
71. **Расписание** передач сигналов точного времени и образцовых частот на 1973 г. СССР. Междугосударственная комиссия единой службы времени при Госстандарте СССР. М., «Стандарты», 1973.
72. **Рекомендации** по применению геодезического оборудования при производстве инженерно-геодезических изысканий для строительства. ПНИИС, М., Стройиздат, 1972.
73. **Рекомендации М 2 (1973)** Консультативного Комитета по определению метода. Международное бюро мер и весов. Павильон Бретей, Ф92 — Севр., Франция, 19 июня 1973 г. (перевод с французского).
74. **Руководство** по применению короткобазисного параллактического метода измерения длин линий при инженерно-геодезических изысканиях для строительства, ПНИИС, М., Стройиздат, 1971.
75. **Руководство** по применению кипрегелей — автоматов и дальномерных насадок при инженерно-геодезических изысканиях для строительства. ПНИИС, М., Стройиздат, 1971.
76. **Руководство** по эталонированию 24-метровых инварных проволок, предназначенных для измерения базисов триангуляции 1, 2 и 3 классов. Сб. рефератов. Вып. 15. М., 1959, (ЦНИИГАиК), 46 с.
77. **Руководство** по применению ственных знаков в полигонометрических и теодолитных ходах. М., «Недра», 1972, 56 с.
78. **Руководство** по применению кипрегелей-автоматов при инженерно-геодезических изысканиях для строительства. ПНИИС Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1971, 63 с.
79. **Сарвин А. А.** Методика тарирования дальномеров для малых расстояний. Межвузовский сборник. Оптико-механическое приборостроение. Л., Изд-во ЛГУ им. А. А. Жданова, 1973.
80. **Справочник геодезиста.** Под редакцией Большакова В. Д. М., «Недра», 1966.
81. **Субботин И. Е., Мазницкий А. С.** Справочник строителя по инженерной геодезии. «Будівельник», Киев, 1972.
82. **Сундаков Я. А.** Геодезические работы при возведении круп-

ных промышленных сооружений и высотных зданий. М., «Недра», 1972.

83. РС 37—69. Рекомендации по стандартизации. Метрология. Поверочная схема для штриховых и концевых мер длины. Берлин. СЭВ. 1969. Группа П 54.

84. РС 1922—69. Рекомендации по стандартизации. Метрология. Поверочная схема для угловых мер и угломерных приборов. Берлин. СЭВ. 1969. Группа П 54.

85. РС 2262—69. Рекомендации по стандартизации. Метрология. Угловые меры образцовые. Методы испытаний и поверки. Берлин. СЭВ. 1969. Группа П 59.

86. Сытник В. С. Строительная геодезия. М., «Недра», 1973, 131 с.

87. Техническое описание и инструкция по эксплуатации длинномера АД1м. Л., Издание ВНИМИ, 1969.

88. Федоров А. С., Мартынов В. М. Лазерные приборы и их применение в строительстве. «Межотраслевые вопросы строительства», 1968, № 2.

89. Хренов Л. С. и Коськов Б. И. Создание постоянного схемочного обоснования на территории городов. «Геодезия и картография», 1965, № 3.

90. Шейн Д. С. Городская полигонометрия. Руководство по вычислительным работам. М., Гослитиздат по строительству и архитектуре, 1952, 219 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Раздел I.

Основы метрологии геодезических работ в строительстве

1. Определение метрологии, ее назначение и задачи	4
Общие сведения	4
Вопросы общей теории измерений длин и углов	5
2. Средства измерений	12
Инструменты для измерения углов	13
Инструменты и приборы для измерения расстояний	—
Инструменты и приборы для измерения превышений	37
Универсальные инструменты и приборы	40
Лучевые приборы и установки	53
3. Методы измерения величин и их построения	57
Измерение и построение углов	—
Измерение и откладывание расстояний	59
Измерение превышений и вынос точки с проектной отметкой	62
Вынос в натуру линии и плоскости заданного уклона	63
Вынос проектной вертикали	65
Измерение малых смещений	—
Измерение горизонтальных направлений круговыми приемами	66
Поправки в измеренные расстояния	67
4. Обеспечение единства измерений	69
Общие сведения	—
Порядок передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим мерам и приборам	70
5. Рабочие поверки и исследование измерительных приборов	85
Рабочие поверки нивелиров	—
Рабочие поверки теодолитов	86
Выполнение поверок теодолита	87
Рабочие поверки оптических отвесов	89
6. Теория погрешностей измерений	—
Общие сведения	—
Классификация погрешностей измерений	90
Закон распределения случайных погрешностей	91
Распределение нормированной случайной погрешности	92
Доверительная вероятность	95
Доверительный интервал	96
Два способа оценки измерений	—
Основные задачи теории погрешностей измерений	97
7. Математическая обработка результатов измерений	—
Множественные прямые измерения	—
Прямые совместные многократные измерения	108
Косвенные измерения	111
8. Техника вычислений	118
Общие сведения	—
Запись и округление приближенных чисел	—
Косвенное вычисление значения искомой величины	121
Вычисление среднего арифметического	122
Решение элементарных задач	123
Применение специальных таблиц	126
Интерполирование	127

Раздел II.

Геодезия в строительстве

1. Геодезическая основа для строительства	130
Общие сведения	—
Главная плановая основа	—
Триангуляция	132
Трилатерация	150

Полигонометрия	161
Строительная сетка	208
Главная высотная основа	222
Нивелирование IIC класса	226
Нивелирование IIIC класса	230
Нивелирование IVС класса	231
Рабочая плановая и высотная основа	232
Типы знаков и центров для закрепления пунктов плановой и высотной основы на строительной площадке	237
2. Съёмочные работы в строительстве	249
Фототеодолитная съёмка	—
Мензульная съёмка	252
Тахеометрическая съёмка	254
Горизонтальная съёмка застроенных территорий	256
Вертикальная съёмка	263
3. Разбивочные работы	266
Общие сведения	—
Планы, используемые для проектирования	267
Способы проектирования	271
Точность разбивочных работ	272
Методы построения проектной точки на местности	274
Вынос на натуру проектных отметок и красных линий	278
Вынос на местность проектной вертикальной планировки	311
Разбивочные работы на строительной площадке	315
Вынос на местность главных осей инженерных коммуникаций	320
Детальные разбивочные работы	321
Методы выноса трасс на местность	326
Разбивочные работы при возведении конструктивных элементов зданий и сооружений	332

Раздел III.

Геодезическо-маркшейдерские контроль и наблюдения в процессе строительного-монтажного производства

1. Геодезическо-маркшейдерский контроль в процессе строительного-мон- тажного производства	341
2. Геодезическо-маркшейдерские наблюдения за деформациями зданий и сооружений в процессе строительства	348
3. Исполнительная съёмка законченных строительством объектов и от- дельных их частей	352
4. Исполнительная (техническая) документация подземных инженерных коммуникаций	353

Раздел IV.

Организация геодезическо-маркшейдерских работ в процессе строительства

1. Основные задачи геодезическо-маркшейдерской службы по геометриче- скому обеспечению строительного-монтажного производства	356
2. Обязанности подрядных строительного-монтажных организаций и орга- низаций заказчика	360
3. Обязанности, права и ответственность работников геодезическо-марк- шейдерской службы	361
4. Классификация геодезическо-маркшейдерских работ	366
5. Организация геодезическо-маркшейдерских работ в подготовительный период строительства	367
Проектирование геодезическо-маркшейдерских работ	—
Построение геодезической плановой и высотной основы для строи- тельства	371
Основные геодезические разбивочные работы на строительного-мон- тажной площадке	372
Приёмка технической проектной документации и геодезической пла- новой основы	373
6. Организация производства геодезическо-маркшейдерских работ в ос- новной период строительства	374

Детальные геодезические разбивочные работы на строительномонтажной площадке	374
Геодезическо-маркшейдерский контроль в процессе строительномонтажного производства	374
Геодезическо-маркшейдерская съемка в процессе строительномонтажного производства	377
7. Геодезическо-маркшейдерская документация строительномонтажного производства	379
Техническая проектная документация — основа для организации производства геодезическо-маркшейдерских работ	379
Классификация геодезическо-маркшейдерской документации	382
Терминологические определения графической документации	385
Объекты изображения графической документации	385
Оперативный геодезическо-маркшейдерский план строительномонтажной площадки	389
Исполнительная геодезическо-маркшейдерская документация	390
8. Строительные нормы и правила, Государственные стандарты	392
Список литературы	393

Владимир Николаевич Ганшин
 Борис Иванович Косков
 Константин Иванович Зимин
 Герман Иванович Бородулин
 Анатолий Васильевич Котков
 Леонид Сергеевич Хренов
 Альберт Поликарпович Старицын

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Редакция литературы по технологии строительных работ
 Зав. редакцией Е. А. Парина
 Редактор А. Ф. Тарасова
 Мл. редактор И. Н. Полетаева
 Оформление переплета художника
 Технический редактор В. М. Родионова
 Корректоры Г. А. Кравченко, Е. А. Степанова

Сдано в набор 12.X.1974 г. Подписано к печати 4.IV.1975 г. Т-05369.
 Формат 84×108/32. Бумага типографская № 1. 21 усл. печ. л. (уч.-изд. 27,37 л.).
 Тираж 60 000 экз. Изд. № А-Х—4079. Зак. № 379. Цена 1 р. 56 к.

Стройиздат
 103006, Москва, Каляевская, 23а
 Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете
 Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии
 и книжной торговли
 Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

Цена 1 р. 56 к.

МОНГОЛЫН ХАМААГАХ АЖААХ
ЭРХ ЗӨВЧЛӨЛ