

В. Л. АССУР А. М. ФИЛАТОВ

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

СРЕДНЕТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



В. Л. АССУР, А. М. ФИЛАТОВ

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

*Допущено Главным управлением геодезии
и картографии при Совете Министров СССР
в качестве учебного пособия для учащихся
топографических техникумов*



МОСКВА „НЕДРА“ 1985

Библиотечный №	103
Инв. №	1479/3
Дата	28.2.86

Ассур В. Л., Филатов А. М. Практикум по геодезии: Учебное пособие для техникумов. — М.: Недра, 1985.—358 с., ил. 173.

Рассмотрены практические работы по следующим разделам: масштабы, ориентирование, топографические карты, измерения расстояний лентами и дальномерами, теодолитные работы, геометрическое нивелирование, тахеометрическая, мензульная и комбинированная съемки, теория погрешностей измерений, определение астрономических азимутов по Солнцу и Полярной звезде, уравнивание нивелирных и теодолитных ходов и сетей. По каждому разделу кратко изложен необходимый теоретический материал.

Для учащихся техникумов, в которых изучают курс геодезии и топографии.

Табл. 71, ил. 173, список лит. — 16 названий.

Рецензенты: Б. Н. Нейман (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР), Е. В. Яковлев (Московский топографический политехникум)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Практикум по геодезии» составлено в соответствии с учебной программой, утвержденной Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР.

Материал расположен таким образом, что после вводных глав идет изложение вопросов назначения, содержания и работы с топографическими картами. Последовательно рассматриваются геодезические измерения, приборы, необходимые для этих измерений, их поверки и испытания, освещаются способы создания съемочного обоснования и производства топографических съемок (тахеометрической, мензульной и комбинированной). В каждой главе изложены вопросы вычисления и обработки материалов. Вопросы теории погрешностей изложены кратко в отдельной главе.

При изложении материала авторы стремились сохранить последовательность, в которой читается теоретический курс [4].

В конце каждой главы приводится перечень практических занятий с учащимися. По каждой теме изложен необходимый теоретический материал.

Главы 1—12 написаны В. Л. Ассуром, гл. 13—15 — А. М. Филатовым.

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗИИ. ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛОСКОСТИ

Геодезия* — наука, изучающая форму и размеры Земли, ее физическую поверхность и методы изображения этой поверхности на плоскости в виде планов и карт.

Геодезия призвана решать многочисленные задачи, вследствие чего ее в настоящее время подразделяют на несколько научных дисциплин, каждая из которых занимается решением определенных задач. Так, изучение формы и размеров Земли, методов точных измерений и обработки этих измерений с целью получения координат точек земной поверхности составляет предмет высшей геодезии. Изучением методов изображения сравнительно небольших участков поверхности Земли на плоскости и проводимых для этого измерительных действий на местности (измерения характеризуются меньшей точностью, чем измерения, проводимые в высшей геодезии) занимается геодезия или топография. Вопросы теории и способов изображения на плоскости значительных частей земной поверхности (отдельных государств, материков и всего земного шара) составляют предмет картографии. Рассмотрением методов выполнения различных измерительных работ при изысканиях, проводимых для проектирования и строительства сооружений, перенесением проектов этих сооружений в натуру, вопросами наблюдений за деформациями и осадками сооружений занимается инженерная геодезия.

На физической поверхности Земли мы выполняем различные геодезические измерения: измеряем длины линий, углы, превышения, время и т. д. Но все эти измерения не являются теми данными, которые можно использовать в практических целях. Для этого по результатам геодезических измерений необходимо вычислить координаты и высоты точек земной поверхности.

Физическая поверхность Земли весьма сложна, и математическая обработка результатов геодезических из-

* В переводе с греческого означает земледеление.

мерений на такой поверхности представляет очень большие и вряд ли преодолимые трудности.

Возможно представить поверхность, совпадающую со средним уровнем воды в океанах и соединяющихся с ними морях в спокойном состоянии (отсутствуют приливы, волнения, течения), и мысленно продолжить эту поверхность под материка и острова. Такую поверхность можно было бы принять за поверхность, образующую фигуру Земли, а поверхности суши и дна океанов и морей изучать относительно ее. Но проводить обработку результатов геодезических измерений (вычисление координат и высот точек физической поверхности Земли) возможно только на поверхности математически изученной. Предложенная уровенная поверхность не принадлежит к таковой.

Исследования показали, что наиболее близкой к поверхности Земли и математически изученной поверхностью является поверхность эллипсоида вращения, получаемая при вращении эллипса PEP_1E_1 (рис. 1) вокруг малой полярной оси PP_1 . Ученые разных стран по данным геодезических измерений на поверхности Земли неоднократно определяли размеры земного эллипсоида. Под руководством проф. Ф. Н. Красовского А. А. Изотовым в 1942 г. были получены размеры эллипсоида вращения, наиболее современные. Этот эллипсоид постановлением Совета Министров СССР в 1946 г. принят для геодезических работ в нашей стране и назван эллипсоидом Красовского.

В первом приближении поверхность Земли можно принять за сферу. Вычислен радиус такого шара — 6 371 110 м и длина окружности круга — 4 0010 570 м. Длины дуг меридиана составляют:

В градусной мере	В линейной мере
1°	111 140 м
1'	1 852 м
1"	31 м

Длины дуг параллелей по мере удаления к северу и югу от экватора уменьшаются.

Участки местности всегда изображаются на плоскости (бумаге) уменьшенными в определенном масштабе (см. § 3). Но ни поверхность эллипсоида, ни поверхность сферы нельзя развернуть в плоскость без разрывов или складок. Поэтому изображения поверхности Земли на плоскости (бумаге) будут иметь искажения. Искажены,

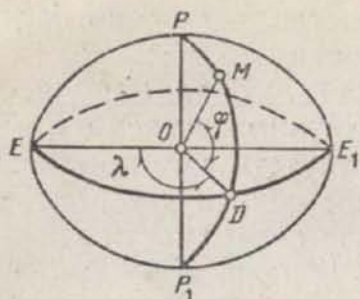


Рис. 1. Эллипсоид вращения

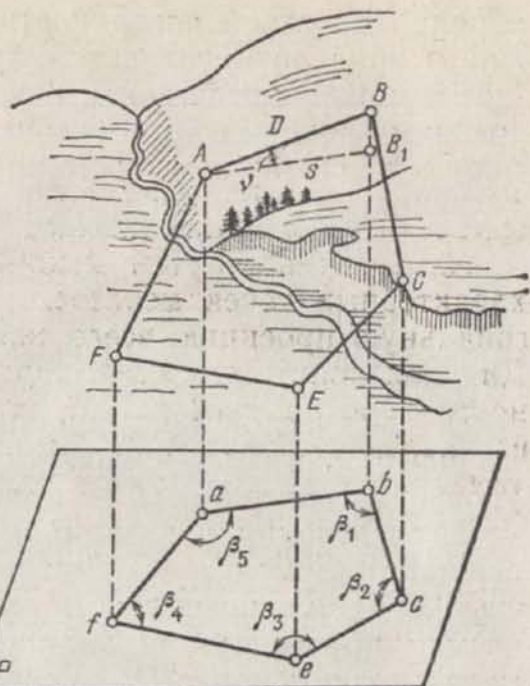


Рис. 2. Проекция участка местности

как правило, будут как длины линий, так и углы между ними. Только небольшие участки земной поверхности (до 20 км в длину и ширину) можно считать плоскостями, а искажения при изображении таких участков на бумаге не будут превышать погрешностей измерений и графических построений карт и планов.

П л а н о м называется уменьшенное и подобное изображение небольших участков местности, для которых сферическую поверхность Земли можно принимать за плоскость. **К а р т а** — это уменьшенное и искаженное, вследствие влияния кривизны Земли, изображение на плоскости значительной части или всей земной поверхности, построенное по определенным математическим законам — проекциям.

Предметы местности, контуры и их содержание изображаются на топографических картах и планах топографическими условными знаками, которые при необходимости сопровождаются пояснительными подписями, цифровыми характеристиками и собственными наименованиями (населенные пункты, реки, озера, урочища и т. д.).

При сечении земной поверхности отвесной плоскостью, расположенной в заданном направлении, получается **профиль** местности этого направления. Его уменьшенное изображение на бумаге называется тоже **профилем**.

В геодезии наиболее часто применяют ортогональное (прямоугольное) проектирование. Пусть P (рис. 2) —

горизонтальная плоскость. Из точек A, B, C, E, F пространственного многоугольника, расположенного на физической поверхности Земли, опускают перпендикуляры на плоскость P . Основания этих перпендикуляров a, b, c, e, f представляют собой ортогональные проекции одноименных точек местности, а линии ab, bc, \dots, fa — ортогональные проекции линий AB, BC, \dots, FA .

Аналогичным путем можно получить проекции всех характерных точек местности, а следовательно, и ортогональную проекцию всего заданного участка местности. Для получения проекций криволинейных объектов местности (дорог, ручьев и т. д.), очевидно, надо проектировать их характерные точки, намеченные с таким расчетом, чтобы части контура между двумя соседними точками можно было считать прямолинейными.

Горизонтальную проекцию нетрудно построить на бумаге. Для этого должны быть известны горизонтальные проекции ab, bc, \dots, fa (стороны) и горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ между ними. Непосредственными измерениями на местности получают длины линий AB, BC, \dots, FA и горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$. От измеренных длин линий на местности, например $AB = D$, нужно для построения перейти к длинам их проекций на горизонтальную плоскость ($AB_1 = s$, см. рис. 2). *Длина ортогональной проекции линии местности на горизонтальную плоскость называется горизонтальным проложением этой линии.*

Угол v между линией местности AB и ее ортогональной проекцией на горизонтальную плоскость ($AB_1 = ab$) измеряют непосредственно и называют *углом наклона* линии.

Из прямоугольного треугольника AB_1B (см. рис. 2) легко определить горизонтальное проложение линии местности

$$s = D \cos v.$$

Плановое положение точки на земной поверхности, картах и планах определяется координатами. Наиболее часто в геодезии используют географические (или астрономические) и прямоугольные координаты.

Географические координаты — широту φ и долготу λ — определяют путем астрономических измерений. Исходными в географической системе координат служат плоскость экватора EDE_1 и плоскость начального меридиана

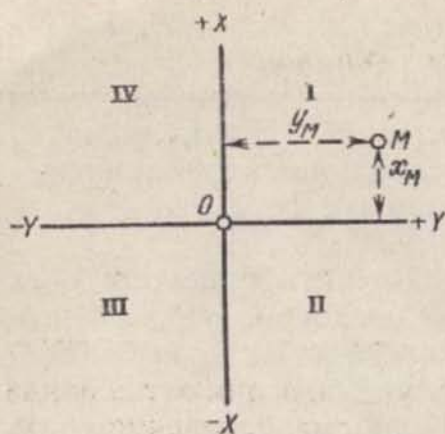


Рис. 3. Система прямоугольных координат



Рис. 4. Превышение между точками

PEP_1 (см. рис. 1). В СССР за начальный меридиан принят меридиан, проходящий через центр главного зала Гринвичской обсерватории. Географической широтой точки M называется угол MOD между отвесной линией MO и плоскостью экватора. Широты бывают северные (с. ш.) и южные (ю. ш.) в зависимости от того, в каком полушарии расположена точка; они могут принимать значения от 0° (на экваторе) до 90° (на полюсе).

Географической долготой точки M называется угол EOD между плоскостями гринвичского (начального) меридиана и меридиана точки M . Долготы отсчитывают по направлению к востоку (в. д.) или к западу (з. д.) от гринвичского меридиана; их величина может изменяться от 0 до 180° .

Система географических координат една для всей Земли и необходима для решения многих научных и практических задач. В то же время она достаточно сложна для использования ее в практических целях. Взаимное расположение пунктов в системе географических координат определяется в угловых единицах, а на земной поверхности расстояния измеряют в линейной мере; в этой же системе достаточно сложна математическая зависимость между координатами точек, расстояниями между ними и азимутами направлений.

Наиболее проста и удобна для практического использования система плоских прямоугольных координат x и y . В этом случае для расчетов и вычислений пользуются формулами плоской геометрии и прямолинейной тригонометрии.

Т а б л и ц а 1
Знаки координат и тригонометрических функций

Четверть	x или $\cos \alpha$	y или $\sin \alpha$
I	+	+
II	—	+
III	—	—
IV	+	—

Эту систему координат образуют две взаимно перпендикулярные прямые, называемые осями координат. Ось абсцисс (X) совмещают с одним из меридианов, а ось ординат (Y) — с экватором. За начало координат принимается точка их пересечения O (рис. 3). За положительное направление оси X принимают направление на север; за положительное направление оси Y — направление на восток. Четверти нумеруют по ходу часовой стрелки, начиная с северо-восточной. Положение любой точки M в этой системе определяется координатами x_M и y_M с соответствующими знаками (табл. 1).

В СССР принята зональная система прямоугольных координат Гаусса. Вся поверхность Земли разбивается на отдельные участки, ограниченные двумя меридианами. Такой участок называют зоной. Для топографических карт масштабов $1 : 10\,000$ и мельче разность долгот меридианов, ограничивающих зоны, равна 6° , для топографических планов масштабов $1 : 5000$ и крупнее — 3° . Счет зон ведется от гринвичского меридиана с долготой $\lambda = 0^\circ$ на восток. Средний меридиан в каждой зоне называется осевым. В проекции Гаусса осевой меридиан зоны и экватор (часть экватора) изображаются на плоскости взаимно перпендикулярными прямыми и принимаются за оси координат, а их пересечение — за начало координат.

Территория СССР расположена в северном полушарии, поэтому все абсциссы точек местности в пределах нашей страны всегда положительны; ординаты точек, расположенных к западу от осевого меридиана, будут отрицательными, а ординаты точек, расположенных к востоку от него, — положительными. Протяженность зоны по экватору составляет около 670 км.

Для того чтобы иметь дело только с положительными ординатами и избежать необходимости сопровождать ор-

динаты знаками плюс и минус, в каждой зоне начало координат принимают равным не 0, а 500 км. Тогда точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты y меньше 500 км, а к востоку — больше 500 км. Такие ординаты называются *п р е о б р а з о в а н н ы м и*. Для того чтобы по ординате можно было знать, в какой зоне расположена точка, перед численным значением преобразований ординаты указывается номер зоны. Например, точка с координатами $x = 6231,45$ км, $y = 7358,29$ км расположена в седьмой зоне на расстоянии 141,71 км к западу от осевого меридиана этой зоны ($358,29 - 500,00 = -141,71$).

Координаты x и y определяют положение точки, находящейся на физической поверхности Земли, только в плановом отношении. Для полного определения положения точки необходимо еще знать ее высоту. *Высотой точки H_A* (рис. 4) *называется расстояние по отвесному направлению между точкой A и уровенной поверхностью, принятой за начало счета высот*. В СССР счет высот ведут от нуля Кронштадтского футштока (горизонтальной черты на медной пластине в гранитном устое моста в г. Кронштадте). Численное значение высоты называют отметкой.

Разность высот одной точки B относительно другой точки A называется *п р е в ы ш е н и е м h* (см. рис. 4).

§ 2. ЕДИНИЦЫ МЕР И КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИБОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГЕОДЕЗИИ

Единицы мер. При производстве геодезических измерений единицей угла служит *г р а д у с*, равный $1 : 360$ части окружности; $1^\circ = 60'$, $1' = 60''$.

Значение угла можно выражать и в радианной мере, представляющей собой отношение длины дуги к ее радиусу.

Значение радиана: $\rho^\circ = 57,3$, $\rho' = 3438$ и $\rho'' = 206\,265$. В градусном исчислении $\rho = 57^\circ 17' 44,8''$.

Единица длины — *м е т р*. За метр принята длина «архивного метра» при температуре 0°C платинового жезла, хранящегося в Международном бюро мер и весов во Франции. Длина жезла должна быть равной одной десятиллионной части четверти Парижского меридиана. Однако длина меридиана в 1800 г. была определена не точно и «архивный метр» оказался короче задуманного на 0,2 мм. В 1889 г. была изготовлена 31-я копия «архивного метра». В СССР имеются два таких эталона. Один

из них, № 28, хранится во Всесоюзном институте метрологии в Ленинграде, другой, № 11, — в Академии наук СССР в Москве.

Для более надежного хранения установленной длины метра XI Международная конференция по мерам и весам, состоявшаяся в 1960 г., постановила выразить метр через длину световых волн. Метр равен длине 1650763,73 волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86.

Единица площади — *квадратный метр*; $10000 \text{ м}^2 = 1 \text{ га}$ (гектару), $100 \text{ га} = 1 \text{ км}^2$.

В качестве единицы времени служит *секунда* (s). Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133; $1 \text{ мин} = 60^s$, $1 \text{ ч} = 3600^s$, $1 \text{ сут} = 86400^s$.

Единица температуры — *градус по шкале Цельсия* ($^{\circ}\text{C}$).

Единицей давления служит *паскаль* (Па). Паскаль равен давлению, вызываемому силой 1 Н^* , равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м^2 . $1 \text{ Па} = 9,87 \cdot 10^{-6} \text{ атм}$ или $7,50 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$ Давление, равное 1013 гПа, наблюдается на уровне моря при температуре сухого воздуха 0°C .

Единицей массы служит *килограмм* (кг). Копия с него, № 12, хранится во Всесоюзном институте метрологии. Копия № 12 представляет платиново-иридиевую гирю—цилиндр диаметром и высотой 39 мм.

Линейные мерные приборы. Для измерения длин линий на местности широко используются различные приборы.

1. *Металлические рулетки.* Их изготавливают двух типов: РК — длиной 50, 75 и 100 м и РГ — длиной 20, 30 и 50 м. Рулетки имеют сантиметровые деления. На крайних дециметрах сантиметровые деления разделены на миллиметры.

2. *Стальные штриховые ленты.* Ленты изготавливают длиной 20, 24 и 50 м двух типов: ЛЗ, имеющие дециметровые деления, и ЛЗШ, у которых крайние дециметры имеют миллиметровые деления.

Точность измерения штриховыми мерными лентами обычно составляет $1 : 1000$ — $1 : 2000$. При применении

* Ньютон (Н) равен силе, сообщаящей телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 .

динамометров для натяжения ленты, фиксации нулевых штрихов и при учете температуры точность измерений может быть повышена до $1 : 5000$.

3. **Инварные проволоки и ленточки.** Это подвесные 24-метровые шкаловые мерные приборы. Инварные проволоки входят в базисные приборы Едерина, выпускаемые под марками БП-1 и БП-2.

Точность измерения инварными проволоками может достигать $1 : 1\,000\,000$.

4. **Нитяные дальномеры,** которые имеются в зрительных трубах всех геодезических приборов. Это дальномеры с постоянным углом и переменной базой. Нитяный дальномер измеряет линии длиной до 200 м с относительной погрешностью $1 : 300$. При увеличении расстояний, а также при работах в неблагоприятных внешних условиях погрешность измерения быстро возрастает.

5. **Оптические дальномеры,** представленные в виде насадок на теодолиты и кипрегели ДН-8, ДН-4, ДНР-5, ДН-10, а также в виде самостоятельных приборов Д-2, ДВ-20 и др. Все эти дальномеры двойного изображения с постоянной базой и переменным углом или с постоянным параллактическим углом и переменной базой. Длина измеряемых расстояний, как правило, не превышает 400 м, а точность измерений колеблется для различных конструкций от $1 : 1000$ до $1 : 6000$.

6. **Радио- и светодальномеры,** основанные на определении времени распространения радио- и световых волн. Светодальномеры (например, «Кварц») могут измерять расстояния с погрешностью порядка $1 : 400\,000$, радиодальномеры («Луч») — с погрешностью порядка $1 : 200\,000$.

Угломерные приборы. К ним относятся теодолиты и кипрегели. В нашей стране в соответствии с принятым ГОСТ 10529—79 «Теодолиты. Типы, основные параметры и технические требования» выпускаются теодолиты: высокоточные Т05 и Т1, точные Т2 и Т5 и технические Т15 и Т30.

Кипрегели позволяют строить горизонтальные направления графическим способом с погрешностью порядка $5-6'$.

Нивелиры. Для определения превышений горизонтальным лучом применяются нивелиры высокоточные Н-05, точные Н-3 и технические Н-10.

Приборы для камеральных работ.

1. Для построения координатной сетки на топографических планшетах применяют линейку Дробышева или ЛБЛ.

2. Для контрольных измерений с точностью до 0,02 мм, например при определении длин рабочих метров и дециметровых делений реек, используют контрольную (железную) линейку.

3. Для построения прямоугольных километровых сеток и для нанесения точек на план по прямоугольным координатам применяют координатографы.

4. При вычислительных работах используют различные счетные приборы:

а) счеты, устроенные по принципу десятичной системы счисления, их применяют главным образом для выполнения арифметических действий сложения и вычитания;

б) логарифмическую линейку. На нормальной логарифмической линейке (длина шкалы 25 см) можно производить быстро все арифметические действия. Линейка дает надежные результаты с 3—4-значными цифрами (с ошибкой не более единицы последнего знака);

в) арифмометры рычажные, типа «Феликс», и клавишные, типа 10-клавишной вычислительной машины ВК-1. На арифмометрах наиболее целесообразно производить умножение и деление;

г) вычислительные машины, большие и малые, работающие как от постоянного, так и от переменного тока напряжением в пределах 110—220 В и от электробатарей. В вычислительной геодезической практике особенно удобны микрокалькуляторы. Они малы по размерам и работают на сменных электробатареях, электроэлементах и аккумуляторах. Диапазон микрокалькуляторов велик: от простых арифметических действий до сложных расчетов. Особенно удобны микрокалькуляторы тем, что позволяют проводить вычисления без каких-либо таблиц. Электронный мозг миниатюрного компьютера вычисляет натуральные и десятичные логарифмы, тригонометрические функции, корни, степени и обратные величины чисел.

Микрокалькуляторы надежны, просты и удобны в эксплуатации. Точность вычислений на них безупречна.

Практические занятия. Решение задач с прямоугольными координатами.

§ 3. МАСШТАБЫ

Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане или карте называется **масштабом**. Следовательно, масштаб есть отношение длины отрезка на плане или карте к соответствующей ему горизонтальной проекции линии на местности. Для удобства пользования масштаб выражают в виде простой дроби $1 : M$, $1 : 500$, $1 : 10\,000$, $1 : 200\,000$ и т. д. Такой масштаб называется **численным**. В числителе этой дроби всегда единица какой-либо меры на плане, а в знаменателе показано, сколько таких же единиц в горизонтальном проложении этого отрезка на местности. Так, масштаб $1 : 500$ показывает, что 1 мм на плане соответствует $500\text{ мм} = 0,5\text{ м}$ горизонтальной проекции линии местности, а масштаб $1 : 25\,000$ — что 1 см на плане соответствует $25\,000\text{ см} = 250\text{ м}$ горизонтальной проекции линии местности.

Чем больше знаменатель численного масштаба, тем мельче масштаб плана или карты, и наоборот.

Пользуясь численным масштабом, можно измерять длины линий по плану и откладывать на плане отрезки горизонтальных проложений линий местности. Так, например, на карте масштаба $1 : 25\,000$ длина линии 1,84 см. Подсчитаем длину соответствующего ей горизонтального проложения линии местности: $1,84 \times 25\,000 = 46\,000\text{ см} = 460\text{ м}$. Длина горизонтального проложения линии местности 285,25 м, масштаб карты $1 : 10\,000$, определим длину этого отрезка на карте: $285,25 : 10\,000 = 28,525\text{ мм} = 2,85\text{ см}$.

При пользовании численным масштабом, как мы видим, приходится проводить вычисления, поэтому пользоваться им не совсем удобно. Чаще всего делают графические построения, называемые **линейным** и **поперечным** масштабами.

Для построения **линейного масштаба** проводят прямую AB и, начиная от одного ее конца, последовательно откладывают отрезок одинаковой длины a , называемый **основанием масштаба**. Обычно основание a берут равным 2 см (рис. 5). Линейный масштаб

с основанием $a = 2$ см называется нормальным. Первый отрезок (слева) делят дополнительно на 10 равных частей. Такая десятая часть основания называется **наименьшим делением**. Затем линейный масштаб оцифровывают согласно численному масштабу плана или карты, для которой он построен. По линейному масштабу десятые доли его основания оцениваются точно, а сотые — приближенно.

Допустим, масштаб карты $1 : 10\,000$. Тогда основанию масштаба $a = 2$ см на местности соответствует горизонтальная линия длиной 200 м. Вправо от первого основания, обозначенного нулем, подпишем 200, 400, 600, 800, 1000 м. Наименьшему делению масштаба на местности соответствует 20 м. Влево от нуля подпишем 40, 80, 120, 160, 200 м.

Теперь масштабом можно пользоваться. Определим по этому масштабу длину отрезка CD , взятого измерителем с карты. Правую ножку измерителя устанавливают на границе двух целых оснований вправо от нуля, например под цифрой 400, так, чтобы его левая ножка пришлась на первое основание, разделенное на 10 частей. Определяют число целых десятых делений основания от нуля, например шесть. Тогда $20\text{ м} \times 6 = 120\text{ м}$. На глаз оцениваем, что левая ножка измерителя удалена от шестого деления к седьмому примерно на 0,8 наименьшего деления, что соответствует $2\text{ м} \times 8 = 16\text{ м}$. Таким образом длина отрезка $CD = 400\text{ м} + 120\text{ м} + 16\text{ м} = 536\text{ м}$.

Для более точного откладывания линий на плане или для определения их длин по плану пользуются **поперечным масштабом**.

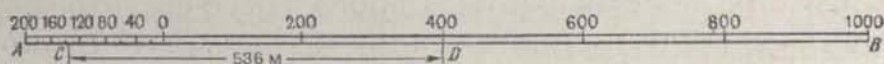


Рис. 5. Линейный масштаб

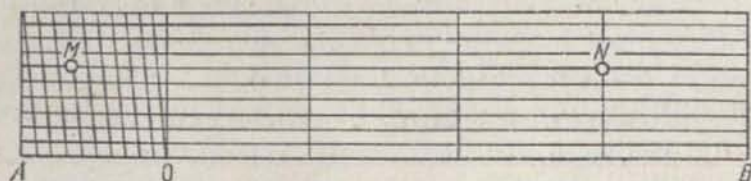


Рис. 6. Поперечный масштаб

Сущность поперечного масштаба заключается в следующем. На прямой AB откладывают несколько раз основание масштаба, равное обычно 2 см, из всех полученных точек восставляют перпендикуляры равной величины (примерно 2 см); два крайних перпендикуляра делят на десять равных частей; через полученные точки проводят прямые, параллельные AB (рис. 6). Верхнюю и нижнюю линии первого (левого) основания разбивают на десять равных частей. Точки деления соединяются между собой параллельными наклонными линиями в следующем порядке: начало верхней линии — с концом первого малого деления нижней линии, конец первого малого деления верхней линии — с концом второго деления нижней линии и т. д.

Очевидно малые отрезки первого основания будут равны $0,1$ основания масштаба, а наименьшее деление поперечного масштаба будет равно $0,01$ основания масштаба.

При численном масштабе $1 : 10\,000$ основанию в 2 см на плане будет соответствовать 200 м на местности, малые отрезки первого основания будут соответствовать 20 м, а наименьшее деление — 2 м. Линия MN вправо от 0 имеет три основания, т. е. $200\text{ м} \times 3 = 600\text{ м}$, влево — шесть малых отрезков, что соответствует $20\text{ м} \times 6 = 120\text{ м}$, линия MN расположена на шестой горизонтальной линии, что соответствует $2\text{ м} \times 6 = 12\text{ м}$. Вся линия $MN = 600\text{ м} + 120\text{ м} + 12\text{ м} = 732\text{ м}$.

При численном масштабе $1 : 2000$ основанию, равному 2 см, будет соответствовать на местности 40 м, малые отрезки первого основания будут соответствовать 4 м, а наименьшее деление — $0,4\text{ м}$.

Если при помощи карты и поперечного масштаба требуется определить горизонтальное проложение линии местности или отложить на карте длину известного горизонтального проложения линии местности, то надо взять эту линию в раствор измерителя. Правая ножка измерителя должна приходиться на один из перпендикуляров справа от нуля, левая — на пересечение наклонных и горизонтальных линий первого основания, при этом обе ножки измерителя должны находиться на одной горизонтальной линии или в середине между одноименными горизонтальными линиями.

Поперечный масштаб гравирован на специальных металлических линейках, называемых масштабными, на

металлических транспортирах, на линейках кипрегелей и т. д.

Точностью масштаба называется наименьшая длина горизонтального проложения линии местности, меньше которой на плане или карте нельзя различить невооруженным глазом. Практически невооруженным глазом на плане или карте можно различить отрезок длиной не менее 0,1 мм. Так, например, точность масштабов 1 : 200, 1 : 1000, 1 : 5000, 1 : 25 000 равна соответственно 0,02, 0,1, 0,5, 2,5 м.

Точность масштаба позволяет решать две важные задачи: 1) определять размеры местных предметов и извилины контуров, которые могут быть изображены в данном масштабе и которые в данном масштабе не изобразятся; 2) устанавливать масштаб, в каком следует составлять план или карту, чтобы на ней изобразились нужные нам предметы местности и извилины контуров.

Практические занятия. Работы с численным, линейным и поперечным масштабами.

Глава 3

ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ

§ 4. ПОНЯТИЕ ОБ ОРИЕНТИРОВАНИИ

Ориентировать линию местности — значит определить ее направление относительно другого направления, принятого за исходное. При изображении линий местности на планах и картах, а также при перенесении проектов сооружений в натуру возникает необходимость ориентирования линий относительно стран света. В геодезии исходными направлениями для ориентирования приняты: географический (истинный) меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны. Так как в каждой точке земной поверхности меридианы имеют вполне определенное направление (вместо осевого меридиана принимают направление ему параллельное), то для определения положения любой линии относительно стран света пользуются углом между меридианом и этой линией.

Направление географического меридиана получают из астрономических наблюдений. Меридиан одним направлением указывает на северный, а другим на южный по-

люс. Направление магнитного меридиана определяет свободно подвешенная и уравновешенная магнитная стрелка. Магнитная ось такой стрелки в каждой точке земной поверхности совпадает с направлением магнитного меридиана этой точки. В пределах каждой зоны средний (осевой) меридиан, принятый за ось абсцисс, или линию, ему параллельную, считают начальным направлением для всех линий данной зоны. Положение осевого меридиана зоны или линии, ему параллельной, определить нельзя. Но угол между ним и любой линией зоны (называемый дирекционным углом) можно вычислить.

§ 5. АЗИМУТЫ ЛИНИЙ

Азимут *линии* OB (рис. 7) называется *углом* A , образованный географическим меридианом, проходящим через данную точку O , и направлением линии, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления меридиана. По абсолютному значению азимуты изменяются от 0 до 360° .

В различных точках Земли меридианы не параллельны между собой, так как все они сходятся у полюсов. Поэтому в разных точках одной и той же линии азимуты имеют различную величину. Различную величину имеют прямой и обратный азимуты линии. Во-первых, они отличаются друг от друга на 180° вследствие изменения направления линии и, во-вторых, на величину γ (от непараллельности меридианов).

Если представить в конечной точке B направление, параллельное географическому меридиану точки O , то оно образует с географическим меридианом точки B угол γ (см. рис. 7). Угол между меридианами точек O и B обозначается γ и называется *сближением меридианов*. Если один из меридианов принимать как осевой меридиан зоны, а другой — как меридиан любой произвольной точки, то сближением меридианов γ будет угол, образованный между меридианом точки и осевым меридианом зоны. Принято считать сближение меридианов к востоку от осевого меридиана положительным, а к западу — отрицательным.

Между прямым и обратным азимутами (см. рис. 7) существует зависимость

$$A_{\text{обр}} = A_{\text{пр}} \pm 180^\circ + \gamma.$$

Знаком минус удобно пользоваться, когда $A_{\text{пр}}$ более 180° .

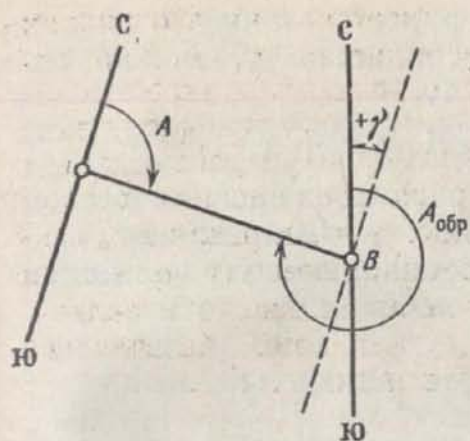


Рис. 7. Азимут линии

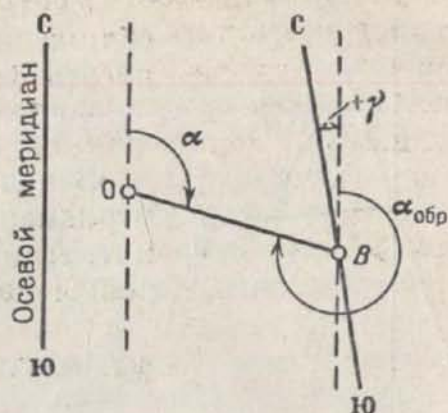


Рис. 8. Дирекционный угол

Зависимость между широтой φ , разностью долгот двух точек $\Delta\lambda$ и сближением меридианов γ можно представить формулой

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi.$$

Из этой формулы следует: 1) на экваторе ($\varphi = 0^\circ$) сближение меридианов $\gamma = 0$, а на полюсе ($\varphi = 90^\circ$) сближение $\gamma = \Delta\lambda$; 2) если расстояние между точками небольшое (менее 1 км), то в этом случае сближением меридианов γ можно пренебречь (при расстоянии 1 км на широте 40° $\gamma < 0,5'$, на широте 60° $\gamma < 1,0'$, на широте 80° $\gamma = 3,0'$) и тогда

$$A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ.$$

§ 6. ДИРЕКЦИОННЫЕ УГЛЫ ЛИНИЙ

Нам уже известно (см. § 4), что ориентирование линий можно проводить относительно осевого меридиана зоны или направления, ему параллельного.

Дирекционным углом линии $ОВ$ (рис. 8) называется угол α между северным направлением осевого меридиана зоны или направлением, параллельным ему, и направлением данной линии, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (положительного направления оси абсцисс) по ходу часовой стрелки.

В отличие от азимута: 1) дирекционный угол линии в любой ее точке сохраняет свою величину (постоянен); 2) прямой и обратный дирекционные углы линии отличаются на 180° , т.е.

$$\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ.$$

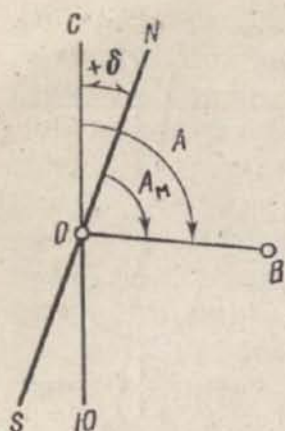


Рис. 9. Магнитный азимут

Учитывая ранее сказанное о знаках сближения меридианов γ , можно написать формулу

$$A = \alpha + \gamma.$$

В точке, расположенной на осевом меридиане зоны, $\gamma = 0$, и для нее азимут A и дирекционный угол α линии равны между собой.

§ 7. МАГНИТНЫЕ АЗИМУТЫ ЛИНИЙ

Под влиянием земного магнетизма свободно подвешенная магнитная стрелка устанавливается в плоскости магнитного меридиана, проходящего через данную точку. Как известно, все магнитные силовые линии (меридианы) сходятся в магнитных полюсах Земли, не совпадающих с географическими полюсами.

Магнитным азимутом линии OB (рис. 9) называется угол A_m между направлением магнитного меридиана (стрелки) и направлением данной линии, отсчитываемый от северного направления магнитной стрелки по ходу часовой стрелки.

Из-за несовпадения полюсов в каждой точке земной поверхности магнитный и географический меридианы образуют между собой угол δ , называемый с к л о н е н и е м магнитной стрелки. Северный конец магнитной стрелки может отклоняться от географического меридиана как к востоку, так и к западу. В зависимости от этого различают восточное — положительное и западное — отрицательное склонения.

Учитывая знаки величин δ и γ , имеем формулы зависимости

$$A = A_m + \delta, \quad A_m = \alpha - \pi,$$

где $\pi = \delta - \gamma$ называется поправкой направления.

В различных точках Земли склонение магнитной стрелки имеет различную величину, на территории СССР величина его колеблется от 0 до $\pm 15^\circ$ (исключая районы магнитных аномалий). Кроме того, величина склонения магнитной стрелки в любой точке земной поверхности изменяется. Различают регулярные изменения, которые делятся на вековые, годовые и суточные, и случайные,

которые вызываются изменениями солнечной активности, землетрясениями, извержениями и другими факторами. Вековые изменения склонения магнитной стрелки составляют $22,5^\circ$ в течение 500 лет, суточная амплитуда колебаний склонения магнитной стрелки обычно не превышает $15'$, случайные изменения склонения могут достигать 2° .

Вследствие этих изменений склонения, ориентирование при помощи магнитных азимутов можно проводить только в тех случаях, когда не требуется большая точность ориентирования.

Магнитная стрелка, кроме склонения, имеет еще вызываемое земным магнетизмом наклонение. В северном полушарии северный конец магнитной стрелки опускается и ось стрелки образует с горизонтом угол, который и называется *наклоном*. Для уравнивания магнитной стрелки на ее южный конец надевают подвижную медную муфточку.

Для решения задач на ориентирование не обязательно запоминать формулы, приведенные в § 6 и 7. Необходимо правильно создать рисунок, используя знаки сближения меридиан γ и склонения магнитной стрелки δ .

На рисунках, так же как на топографических картах, обозначают: географический меридиан — линией со звездочкой на конце, осевой меридиан — линией с усиком на конце и магнитный меридиан — линией со стрелкой. Ориентируемую линию OB на рисунках изображают двойной.

Примеры и их решения:

1. Географический азимут A линии $OB = 357^\circ 50'$, сближение меридианов $\gamma = -1^\circ 30'$. Определить дирекционный угол α этой линии. Построим чертеж (рис. 10, а), на основании которого

$$\alpha = A + \gamma = 357^\circ 50' + 1^\circ 30' = 359^\circ 20'.$$

2. Магнитный азимут A_m линии $OB = 2^\circ 10'$, склонение магнитной стрелки $\delta = -4^\circ 20'$. Определить географический азимут A этой линии.

Построив чертеж (рис. 10, б), видим, что

$$A = 360^\circ - \delta + A_m = 360^\circ - 4^\circ 20' + 2^\circ 10' = 357^\circ 50'.$$

3. Магнитный азимут A_m линии $OB = 3^\circ 40'$, сближение меридианов в точке O $\gamma = -3^\circ 10'$, склонение магнитной стрелки в этой же точке $\delta = -24^\circ 50'$. Определить географический азимут A и дирекционный угол α этой линии.

Строим чертеж (рис. 10, в), из него видим

$$A = 360^\circ - \delta + A_m = 360^\circ - 24^\circ 50' + 3^\circ 40' = 338^\circ 50';$$

$$\alpha = A + \gamma = 338^\circ 50' + 3^\circ 10' = 342^\circ 00'.$$

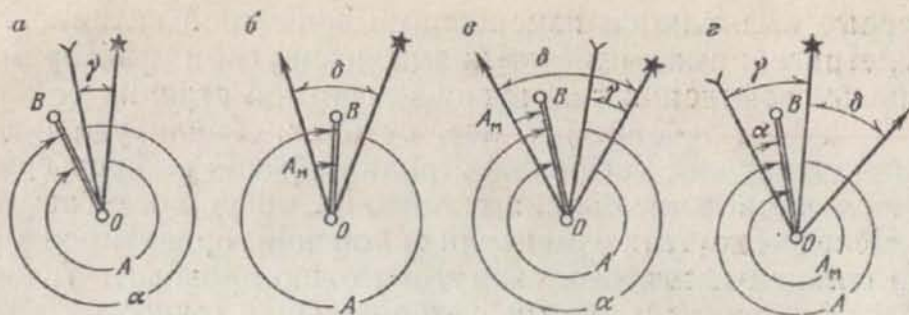


Рис. 10. Графическое решение примеров

4. Дирекционный угол α линии $OB = 1^\circ 10'$, сближение меридианов в точке $O \gamma = -2^\circ 05'$, склонение магнитной стрелки в этой же точке $\delta = +12^\circ 10'$. Нужно определить географический A и магнитный A_M азимуты линии OB .

Построим чертеж (рис. 10, г) и на основании его напишем

$$A = 360^\circ - \gamma + \alpha = 360^\circ - 2^\circ 05' + 1^\circ 10' = 359^\circ 05';$$

$$A_M = A - \delta = 359^\circ 05' - 12^\circ 10' = 346^\circ 55'.$$

§ 8. БУССОЛЬ И ЕЕ ПОВЕРКИ

Для определения магнитных азимутов и склонений магнитной стрелки, подписываемых на топографических картах, применяют буссоль, принципиально устроенную так же, как компас, но дающую более точные данные. Основные части буссоли (рис. 11) — кольцо 1 с градусными или полуградусными делениями и намагниченная стрелка 2, помещенная в коробку 4, закрытую в верхней части стеклом. На южный конец стрелки надета подвижная муфточка 5. Стрелка вращается на острое шпилья, вделанного в дно коробки. Для уменьшения трения в середину стрелки вставлена втулка из твердого минерала (агата), который опирается на острое шпилья. Для предохранения шпилья при перевозках и хранении буссоль имеет арретир 3 — устройство, которое может поднимать стрелку и прижимать ее к верхнему стеклу.

Для измерения магнитного азимута линии OB буссоль устанавливают горизонтально в точке O так, чтобы центр буссоли и точка O лежали на одной отвесной линии. Затем, открепив арретир и дав стрелке успокоиться, осторожно поворачивают буссоль так, чтобы ее диаметр $0-180^\circ$ совместился с направлением линии OB (см. рис. 11). Теперь отсчет по северному концу стрелки и будет магнитным азимутом A_M линии OB .

Если нужно определить склонение магнитной стрелки δ , то пользуются формулой

$$\delta = \alpha - A_m + \gamma.$$

Величины α и γ вычисляют.

Кроме круглых бусселей применяются еще ориентир-буссоли, у которых градусное кольцо заменено двумя секторами с углом $20-25^\circ$, расположенными в противоположных частях круга. Ориентир-буссоли имеют коробку продолговатой формы.

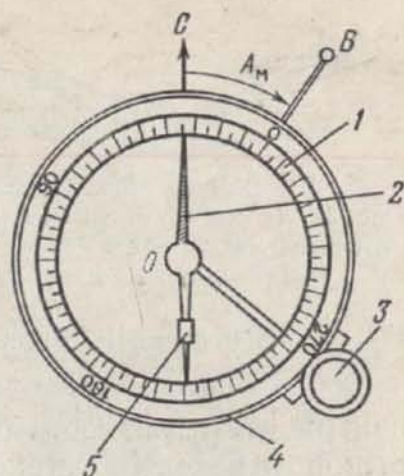


Рис. 11. Буссоль

Перед тем как пользоваться буссолью, необходимо провести ее проверки и отъюстировать. Буссоль должна удовлетворять следующим условиям.

1. Стрелка буссоли должна быть хорошо намагничена.

Открыв арретир и дав стрелке успокоиться, делают отсчет по одному из ее концов. Подносят к стрелке металлический предмет, выводят этим стрелку из состояния покоя, предмет убирают, дают стрелке вновь успокоиться и повторяют отсчет. Стрелка должна успокаиваться быстро и возвращаться на прежнее место (отсчеты не должны отличаться более $0,3^\circ$). Если отсчеты изменяются на величину более $0,3^\circ$ и если стрелка успокаивается медленно, то стрелку нужно намагничивать. Для этого стрелку вынимают из буссоли и располагают горизонтально. Затем разноименными полюсами двух магнитов несколько раз одновременно проводят от середины к концам стрелки (рис. 12).

2. Стрелка буссоли должна быть уравновешена.

Устанавливают буссоль так, чтобы плоскость кольца заняла горизонтальное положение. Открыв арретир и дав стрелке успокоиться, смотрят, лежат ли концы стрелки в одной плоскости с градусным кольцом. Если не лежат, то уравновешивание производят подвижной муфточкой 5 (см. рис. 11).

3. Центр вращения стрелки должен быть совмещен с центром градусного кольца буссоли, т. е. стрелка буссоли не должна иметь эксцентриситета.

В этом случае отсчеты по концам успокоившейся стрелки должны отличаться ровно на 180° . При наличии экс-



Рис. 12. Схема намагничивания стрелки компаса

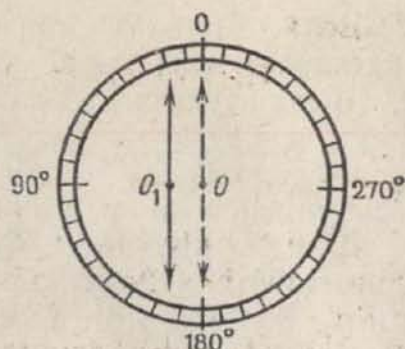


Рис. 13. Экцентриситет компаса

центриситета разность отсчетов по концам стрелки будет отличаться от 180° (рис. 13). Так, например, отсчет по северному концу $36,8^\circ$, а по южному $218,2^\circ$. При пользовании такой bussolью для исключения эксцентриситета отсчеты каждый раз надо проводить по обоим концам магнитной стрелки и за окончательное значение магнитного азимута брать среднее из них, изменив отсчет по южному концу на 180° . В нашем примере окончательное значение отсчета будет $(36,8^\circ + 218,2^\circ - 180^\circ) : 2 = 37,5^\circ$.

4. Арретир должен хорошо закреплять стрелку.

При закреплении арретиром стрелка должна быть надежно прижата к стеклу bussoli и оставаться совершенно неподвижной, при откреплении арретир не должен мешать стрелке свободно вращаться. Проверяется опробованием.

Необходимо иметь в виду, что поверки и юстировки bussoli еще не гарантируют правильности показаний bussoli. Показания bussoli зависят от положения нулевого диаметра градусного кольца bussoli в ее коробке. Для получения правильных отсчетов по рабочим bussoly их сравнивают с нормальной bussolью, которую, в свою очередь, ежегодно проверяют в Институте земного магнетизма.

Поправка за приведение отсчетов рабочей bussoli к правильным вычисляется по формуле

$$\Delta r = S_n - S_p + \Delta n,$$

где S_n — отсчет по нормальной bussoli; S_p — отсчет по рабочей bussoli; Δn — поправка нормальной bussoli, которая берется из паспорта.

Практические занятия. Решение задач на ориентирование. Поверка bussoli.

§ 9. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КАРТ

Географические карты по их содержанию и назначению принято разделять на общегеографические и специальные.

На общегеографических картах физико-географические (рельеф, почвенно-растительный покров, гидрография и т. п.) и социально-экономические (населенные пункты, промышленные сооружения, дорожная сеть и т. д.) элементы изображают во всем их многообразии.

Основой специальных карт служат общегеографические карты. Но в этом случае один из элементов общегеографической карты изображают с особой полнотой и подробностью (например, рельеф или почвенно-растительный покров), в то время как другие элементы показывают менее подробно или даже не показывают совсем или элементы общегеографических карт отображают неполно и упрощенно, но дополнительно наносят специальные элементы (например, климат, почвы, экономические сведения и т. д.).

Общегеографические карты, начиная с планов самых крупных масштабов и до карт масштаба $1 : 1\,000\,000$ включительно, называются топографическими.

По масштабам топографические карты подразделяют на мелкомасштабные ($1 : 1\,000\,000$, $1 : 500\,000$, $1 : 300\,000$ и $1 : 200\,000$), среднемасштабные ($1 : 100\,000$, $1 : 50\,000$ и $1 : 25\,000$) и крупномасштабные ($1 : 10\,000$, $1 : 5000$, $1 : 2000$, $1 : 1000$ и $1 : 500$).

Топографические карты на значительные территории состоят из многих отдельных листов. На отдельном листе изображается участок, составляющий малую часть земной поверхности. Чем крупнее масштаб карты, тем меньше площадь земной поверхности, изображенной на одном листе. Листы карт по размерам должны быть удобными как при их изготовлении, так и при использовании.

Топографические карты каждого из принятых масштабов имеют свое назначение. Так, топографические мелкомасштабные карты предназначены для общего изучения местности при генеральном проектировании народного хозяйства, для учета ресурсов поверхности земли и вод-

ных пространств, для предварительных проектирований крупных инженерных сооружений и для нужд обороны страны.

Топографические карты среднемасштабные отличаются от мелкомасштабных карт и большей подробностью содержания и более высокой точностью. Эти карты предназначены для детального проектирования в сельском хозяйстве, железных и автомобильных дорог, трасс трубопроводов и линий электропередач, для предварительной разработки планировки и застройки населенных пунктов, для подсчета запасов полезных ископаемых, для обороны на конкретных участках и направлениях.

Крупномасштабные топографические карты и планы предназначены для более точного детального проектирования, например для составления технических проектов орошения и осушения, для разработки генеральных планов городов, инженерных сетей и коммуникаций, сложных транспортных развязок, для составления генеральных планов и рабочих чертежей при проектировании на застроенных и незастроенных территориях, для вертикальной планировки, составления проектов озеленения и т. п.

Чем ответственнее задачи, решаемые при помощи топографических карт, тем крупнее требуется масштаб съемки. Так, например, для составления генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки с густой сетью подземных коммуникаций необходимы топографические планы масштаба 1 : 500. Но топографические съемки крупных масштабов требуют больших затрат. Поэтому их проводят лишь там, где в них возникает действительная необходимость и где эта необходимость обоснована инженерными расчетами.

§ 10. МЕЖДУНАРОДНАЯ РАЗГРАФКА КАРТЫ МАСШТАБА 1 : 1 000 000

Лист карты представляет собой горизонтальную проекцию сфероидической трапеции — определенного участка земной поверхности. С востока и запада каждый лист ограничен меридианами, а с севера и юга — параллелями.

Для получения листов карты масштаба 1 : 1 000 000 всю поверхность эллипсоида делят меридианами, проведенными через 6°, на 60 колонн. Каждая колонна занумерована арабскими цифрами от 1 до 60. Счет колонн на-

чинается от меридиана 180° (Чукотский полуостров) и идет против хода часовой стрелки с запада на восток. Напомним, что за начальный принят меридиан, проходящий через центр круглого зала астрономической обсерватории в Гринвиче (пригород Лондона).

Разграфка земной поверхности на колонны соответствует разграфке на шестиградусные зоны, но нумерация колонн и зон различна. Номер колонны равен номеру зоны, увеличенному на 30. (Первой зоне соответствует 31-я колонна.)

От экватора к северному и южному полюсам поверхность эллипсоида делят параллелями на ряды через 4° . Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита от А до V, начиная от экватора. На рис. 14 показана часть земной поверхности, охватывающая территорию СССР с разграфкой на листы карт масштаба $1:1\,000\,000$.

Каждый лист карты масштаба $1:1\,000\,000$ лежит в определенном ряду и определенной колонне. Его обозначение — номенклатура — складывается из литеры ряда и номера колонны. Так, лист карты, на котором находится Москва, имеет номенклатуру N-37 (см. рис. 14).

Участок земной поверхности, имеющий 6° по долготе и 4° по широте, для средней широты СССР имеет на местности размеры: по меридиану 444 км и по параллели 374 км. Если такой участок изобразить в масштабе $1:1\,000\,000$, то лист такой карты будет иметь размеры $44,4 \times 37,4$ см и будет вполне удобен для изготовления и для работы с ним.

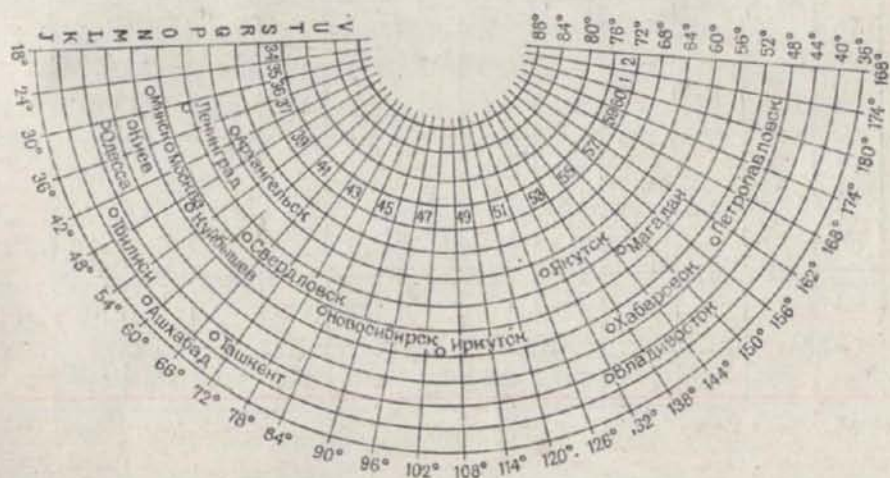


Рис. 14. Схема получения листов карты масштаба $1:1\,000\,000$

К северу и югу меридианы сближаются и площади листов карт уменьшаются. Поэтому севернее 60-й параллели листы карт издаются сдвоенными по долготе, а севернее 76-й параллели — четверенными.

§ 11. НОМЕНКЛАТУРА И РАЗМЕРЫ ЛИСТОВ КАРТ

Номенклатура — обозначение листов карт различных масштабов в определенной системе, указывающей их взаимное расположение.

В основе номенклатуры топографических карт различных масштабов лежит лист карты масштаба 1 : 1 000 000. Листы карт более крупных масштабов получают делением листа карты масштаба 1 : 1 000 000, осуществляемой в такой последовательности.

1. Лист карты масштаба 1 : 500 000 получают делением листа карты масштаба 1 : 1 000 000 на четыре части

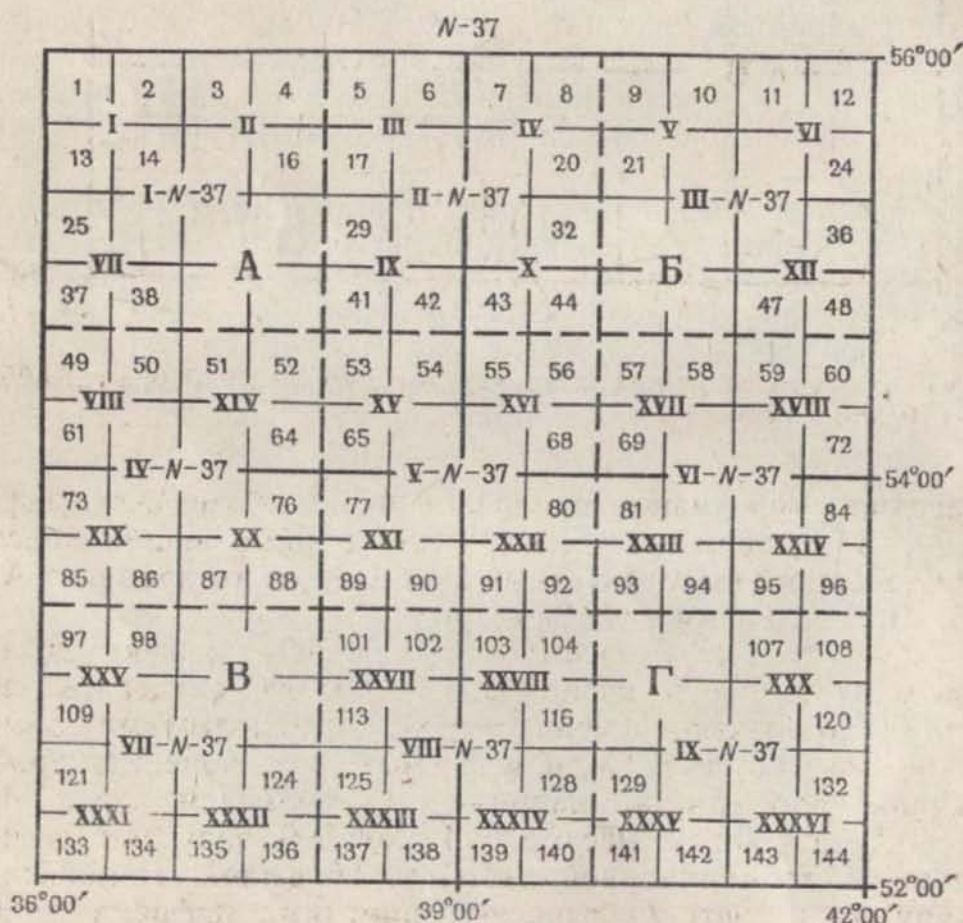


Рис. 15. Схема получения листов карт масштабов 1 : 500 000; 1 : 300 000 и 1 : 200 000

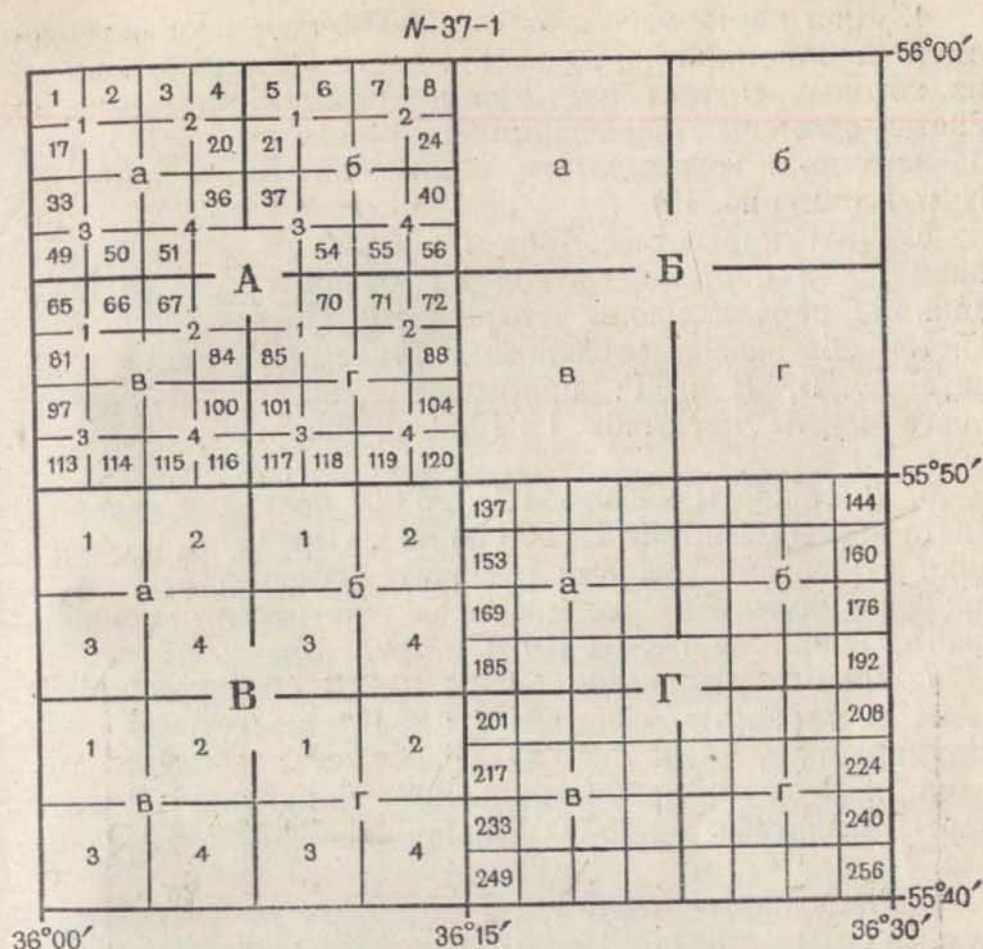


Рис. 16. Схема получения листов карт масштабов 1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000; 1 : 5000

(средним меридианом и параллелью) и обозначают шифром, в котором к номенклатуре данного миллионного листа прибавлены заглавные буквы русского алфавита А, Б, В, Г, например N-37-В (рис. 15).

2. Лист карты масштаба 1 : 300 000 образуют делением листа карты масштаба 1 : 1 000 000 на девять частей и обозначают номенклатурой, где используются римские цифры от I до IX, помещаемые перед номенклатурой миллионного листа, например IX-N-37 (см. рис. 15).

3. Лист карты масштаба 1 : 200 000 получают делением листа миллионной карты на 36 частей. Номенклатуру этих листов обозначают римскими цифрами от I до XXXVI, помещаемыми после номенклатуры миллионного листа, например N-37-VI (см. рис. 15).

4. Лист карты масштаба 1 : 100 000 получают делением листа миллионной карты на 144 части (12 рядов, каждый из которых состоит из 12 листов). Номенклатуру этих листов обозначают арабскими цифрами от 1 до 144, прибавленными к номенклатуре миллионного листа, например N-37-1 (см. рис. 15).

5. Лист карты масштаба 1 : 50 000 образуется делением листа карты масштаба 1 : 100 000 средними меридианом и параллелью на четыре части. Номенклатуру этих листов обозначают заглавными буквами русского алфавита А, Б, В и Г, прибавленными к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 100 000, например N-37-1-Б (рис. 16).

6. Лист карты масштаба 1 : 25 000 получают делением листа карты масштаба 1 : 50 000 на четыре части и обозначают строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, прибавленными к номенклатуре пятидесятитысячного листа, например N-37-1-В-г (см. рис. 16).

7. Лист карты масштаба 1 : 10 000 образуется делением листа карты масштаба 1 : 25 000 на четыре части. Номенклатуру этих листов обозначают арабскими цифрами от 1 до 4, прибавленными к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 25 000, например N-37-1-В-а-1 (см. рис. 16).

8. Лист карты масштаба 1 : 5000 получают делением листа карты масштаба 1 : 100 000 на 256 частей (16 рядов, состоящий каждый из 16 листов) и обозначают арабскими цифрами от 1 до 256, прибавленными к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 100 000, при этом порядковый номер листа масштаба 1 : 5000 указывают в скобках, например N-37-1-(256). Лист карты масштаба 1 : 5000 составляет 1/4 листа карты масштаба 1 : 10 000 (см. рис. 16).

9. Лист карты масштаба 1 : 2000 образуют путем деления листа карты масштаба 1 : 5000 на девять частей и обозначают строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, д, е, ж, з, и, прибавленными к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 5000. При этом в указанной номенклатуре указатели листов карт масштабов 1 : 5000 и 1 : 2000 берут в скобки, например N-37-1-(256-и) (рис. 17).

В проекции Гаусса все меридианы (за исключением осевого) и параллели изображаются в виде кривых линий. Однако на листах топографических карт меридианы и параллели, в том числе и рамки трапеций, изображают

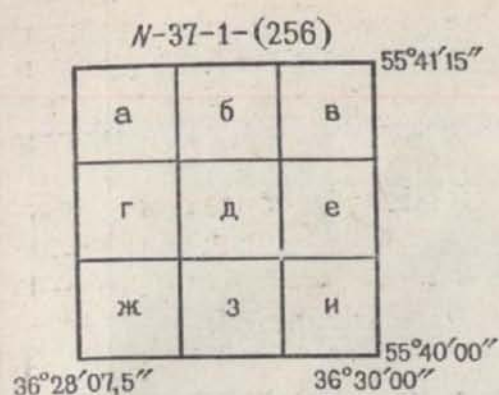


Рис. 17. Схема получения листов карт масштаба 1 : 2000

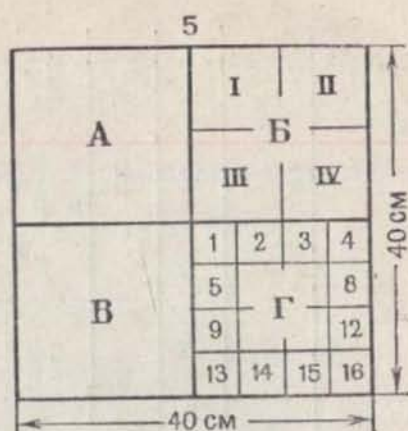


Рис. 18. Схема получения листов карт при квадратной разграфке

прямыми линиями, так как в пределах листа карты эти искривления практически не заметны.

В табл. 2 для листов карт различных масштабов приведены размеры сторон.

При создании топографических планов (карт) в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 (на города и населенные пункты, для мелиоративного строительства и на небольших участках площадью до 20 км²) применяют квадратную разграфку листов. За основу такой разграфки принимают лист плана масштаба 1 : 5000 с размерами рамок 40 × 40 см (2 × 2 км) и обозначают такие листы арабскими цифрами. Порядок нумерации произвольный, обычно устанавливаемый техническими проектами или главным архитектором (в городах и поселках).

Листы плана масштаба 1 : 2000 в этом случае получают делением листа карты масштаба 1 : 5000 на четыре части и обозначают шифром, получаемым прибавлением заглавных букв русского алфавита А, Б, В и Г к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 5000, например 5-А (рис. 18).

Листы плана масштаба 1 : 1000 получают делением листа плана масштаба 1 : 2000 на четыре части и обозначают шифром, получаемым прибавлением римских цифр I, II, III и IV к номенклатуре листа плана масштаба 1 : 2000, например 5-Б-III (см. рис. 18).

Листы плана масштаба 1 : 500 получают делением листа плана масштаба 1 : 2000 на 16 частей и обозначают шифром, получаемым прибавлением арабских цифр от 1 до 16 к номенклатуре листа плана масштаба 1 : 2000,

Таблица 2

Размеры сторон листов карт

Масштаб	Номенклатура	Стороны листов					
		в угловой мере		в линейной мере для широты 56°			
				по параллели		по меридиану	
		по долготе	по широте	на мест-ности, км	в мас-штабе карты, см	на мест-ности, км	в мас-штабе карты, см
1:1 000 000	N-37	6°	4°	374,0	37,4	446,6	44,5
1:500 000	N-37-A (от А до Г)	3°	2°	187,0	37,4	222,3	44,5
1:300 000	I-N-37 (от I до IX)	2°	1° 20'	125,0	41,7	148,2	49,4
1:200 000	N-37-1 (от I до XXXVI)	1°	0° 40'	62,4	31,2	74,1	37,0
1:100 000	N-37-1 (от 1 до 144)	30'	20'	31,4	31,4	37,0	37,0
1:10 000	N-37-1-A (от А до Г)	15'	10'	15,7	31,4	18,5	37,0
1:25 000	N-37-1-A-a (от а до г)	7' 30"	5' 00"	7,85	31,4	9,2	36,8
1:10 000	N-37-1-A-a-1 (от 1 до 4)	3' 45"	2' 30"	3,92	39,2	4,6	46,0
1:5 000	N-37-1 (1) (от 1 до 256)	1' 52,5"	1' 15"	1,96	32,2	2,3	46,0
1:2 000	N-37-1-(1-a) (от а до и)	0' 37,5"	0' 25,0"	0,65	32,5	0,77	38,5

Примечание. Широта 56° — средняя для территории СССР.

Таблица 3

Размеры сторон и площади листов планов

Масштаб	Стороны листов, см	Площадь, км ² (га)
1 : 5000	40×40	4 (400)
1 : 2000	50×50	1 (100)
1 : 1000	50×50	0,25 (25)
1 : 500	50×50	0,0625 (6,25)

например 5-Г-12 (см. рис. 18). Лист плана 1 : 500 составляет 1/4 листа плана масштаба 1 : 1000.

При квадратной разграфке листов размеры рамок приведены в табл. 3.

§ 12. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КИЛОМЕТРОВАЯ СЕТКИ

Каждый лист топографической карты с севера и юга ограничен параллелями, а с запада и востока — меридианами. Чтобы по карте можно было определить географические координаты изображенных на ней предметов и контуров местности, имеется градусная рамка, расположенная между внутренней и внешней рамками листа карты. Минуты широты по восточной и западной сторонам градусной рамки и минуты долготы по северной и южной сторонам отмечены чередующимися черными и белыми шашками. Каждая минута (шашка) широты и долготы разделена на шесть равных частей, отмеченных точками, расстояние между которыми равно 10" (рис. 19).

Каждый угол внутренней рамки листа карты имеет подпись долготы и широты его. Очевидно, что при наличии таких подписей и градусной рамки нетрудно определить долготу и широту любой точки карты. Так, для определения широты какой-либо точки надо к этой точке приложить линейку или провести через нее прямую линию параллельно южной, а значит, и северной рамке листа карты. Эту параллельность нетрудно проверить: линейка или прямая линия должна пересечь на западной и восточной сторонах градусной рамки одноименные деления минут или одноименные части этих делений. Теперь остается отсчитать число минут и секунд (секунды берутся на глаз) по градусной рамке от южного угла до места пересечения ее линейкой или прямой и прибавить этот отсчет ми-

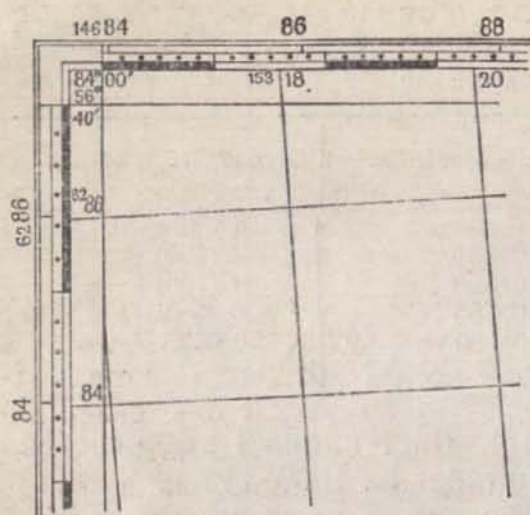
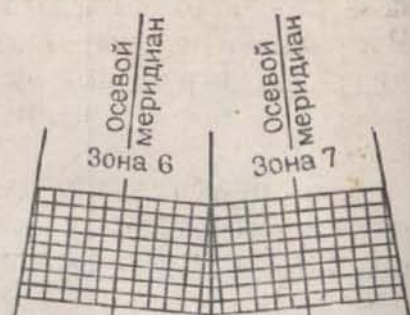


Рис. 19. Рамки листов карт

Рис. 20. Смежные зоны



путь и секунд к значению широты угла листа карты. Например, южная граничащая лист карты (параллель) имеет широту $54^{\circ}40'$, наш отсчет по градусной рамке до контура получается равным $1'14''$. Таким образом, широта точки контура равна $54^{\circ}41'14''$. Используя северную и южную стороны градусной рамки и прикладывая линейку или проводя прямую линию так, чтобы край линейки или прямая проходили через нашу точку и пересекали на северной и южной градусных рамках одноименные деления минут или одноименные части этих делений, определяют долготу точки. Например, западный меридиан, ограничивающий лист карты, имеет долготу $84^{\circ}00'$, наш отсчет по градусной рамке составляет $1'15''$. Долгота точки будет равна $84^{\circ}01'15''$.

Для определения прямоугольных координат на листы топографических карт наносят координатную сетку, которая представляет собой систему прямых линий, парал-

Таблица 4

Расстояния между километровыми линиями, принятые в СССР

Масштаб	Расстояние		Масштаб	Расстояние	
	на карте, см	на местности, км		на карте, см	на местности, км
1 : 200 000	5	10	1 : 10 000	10	1
1 : 100 000	2	2	1 : 5 000	10	0,5
1 : 50 000	2	1	1 : 2 000	10	0,2
1 : 25 000	4	1	1 : 1 000	10	0,1

дельных координатным осям данной зоны (осевому меридиану и экватору). Прямые линии, составляющие координатную сетку, отстоят одна от другой на определенном для карт каждого масштаба расстоянии (табл. 4). Расстояние это выражается в целых километрах или долях километра. Поэтому линии координатной сетки называют километровыми, а саму сетку — километровой сеткой.

Оцифровка линий километровой сетки (см. рис. 19) дается у их продолжений за рамкой листа карты (между внутренней и градусной рамками), абсцисс — вдоль западной и восточной сторон, ординат — вдоль северной и южной. При этом полные абсциссы и ординаты (ординаты преобразованные) подписывают только на выходах крайних линий данного листа (по углам листа); остальные выходы линий километровой сетки подписывают двумя последними цифрами числа.

Осевые меридианы различных зон не параллельны между собой, поэтому на стыке зон километровые линии одной зоны расположены под углом к километровым линиям смежной зоны (рис. 20). Это создает осложнение при использовании смежных листов карт на стыке зон. Осложнение устраняют введением полосы перекрытия шириной 4° (полоса в 2° установлена вдоль западной и восточной границ каждой зоны). На всех листах топографических карт, расположенных в пределах этой полосы, кроме километровой сетки данной зоны, описанной выше, дают выходы линий дополнительной километровой сетки соседней с ней зоны (дополнительную километровую сетку не показывают). Выходы линий дополнительной километровой сетки наносят между оформительской (внешней) и градусной рамками, а подписи дополнительной сетки располагают за внешней рамкой (см. рис. 19). По этим выходам дополнительной километровой сетки можно построить и саму сетку, если необходимо пользоваться единой системой координат на смежных листах карт, принадлежащих к разным зонам.

Для определения прямоугольных координат любой точки карты, пользуясь измерителем и поперечным масштабом, измеряют расстояния от нее до южной и западной сторон квадрата километровой сетки, в котором находится данная точка. Измеренные расстояния нужно прибавить к значениям километров, подписанных на выходах сетки. Например, от южной стороны квадрата рас-

стояние до пункта равняется 560 м (в масштабе карты). Получаем абсциссу пункта $x = 6\,065\,000\text{ м} + 560\text{ м} = 6\,065\,560\text{ м}$. Затем записываем ординату левой стороны квадрата — 4307 — и к этому значению прибавляем расстояние от нее до пункта, равное, например, 240 м. Получаем ординату пункта $y = 4\,307\,000\text{ м} + 240\text{ м} = 4\,307\,240\text{ м}$.

§ 13. ЗАРАМОЧНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ КАРТ

Сверху (выше северной рамки) каждой топографической карты указывают номенклатуру листа. Ниже южной рамки помещают: 1) сведения о среднем склонении магнитной стрелки и сближение меридианов для данного листа карты. Эти сведения даются графически в условных знаках, описанных в § 7; 2) численный и линейный масштабы; 3) сведения о высоте сечения рельефа (через сколько метров проведены сплошные горизонталы); 4) график заложений (о нем см. § 16); 5) год проведения съемки и обновления, что позволяет судить о достоверности изображения.

На топографических картах при помощи топографических условных знаков должны быть изображены все физико-географические и социально-экономические элементы местности: отдельные контуры (участки пашни, леса, луга, огороды и т. д.), населенные пункты, отдельные постройки, промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты, дорожная сеть, гидрография, сооружения на них, растительный покров, грунты и болота, границы и ограждения, геодезические пункты и рельеф. Изображение ряда объектов и предметов местности сопровождается собственными наименованиями (населенные пункты, реки, озера, горы и т. д.) и пояснительными и цифровыми характеристиками (длина и грузоподъемность мостов, средняя высота и толщина деревьев в лесу, число дворов в населенных пунктах, ширина и характер покрытия дорог, глубина и грунт брода и т. д.). Детальность изображения контуров и отдельных предметов зависит от масштаба создаваемой карты и географических условий района работ.

Для каждого масштаба карт разработаны и издаются таблицы условных знаков, обязательные для всех учреждений, занимающихся созданием топографических карт. Условные знаки позволяют легко читать карту. Для при-

дания картам большей наглядности и для облегчения читаемости при изображении ее содержания употребляют различные цвета: так, объекты гидрографии оформляют голубым цветом, растительность (лесные массивы и сады) — зеленым, шоссейные дороги и огнеупорные здания — красным, улучшенные дороги и неогнеупорные постройки — желтым, элементы рельефа (естественного) — коричневым, пашни — белым. Все остальные элементы карты изображают черным цветом.

§ 14. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИЗОБРАЖЕНИЮ МЕСТНОСТИ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ

Топографические карты и планы должны правильно изображать местность со всеми ее географическими особенностями и характерными чертами. Это заставляет предъявлять к содержанию топографических карт и планов требования к их достоверности, полноте, ясности и точности. Разберем эти требования.

Достоверность. Под достоверностью карт и планов понимают соответствие натуре условных обозначений, численных характеристик и словесных подписей. Для этого необходимо не только не допускать ошибок, но и уметь правильно выбирать и размещать по карте условные знаки. При выборе условных знаков в изображении форм рельефа необходимо иметь общее представление о местности, ее рельефе, гидрографии, растительности.

Полнота и ясность. На картах должны быть изображены условными знаками все имеющиеся на местности контуры и предметы. Большинство из них должно сопровождаться пояснительными подписями, названиями и численными характеристиками. Однако полнота изображения не должна нарушать ясности карты. Если карту загрузить второстепенными деталями настолько, что станет затруднительно читать и отличать на ней более важные и наиболее существенные детали, то карта хотя и будет полной, но станет неясной и трудной для восприятия. Топографическая карта должна быть полной по содержанию и в то же время ясной по изображению. Необходимо из массы местных подробностей (особенно в густонаселенной местности) правильно выбрать главные, основные для нанесения на карту, умело размещать и четко изображать условные знаки. Так, например, для более правильной характеристики растительного покрова

на картах применяют сочетание различных условных знаков (луг с кустами, заболоченный луг с кочками, редкий лес по лугу, моховое труднопроходимое болото с редким карликовым лесом и т. д.). Однако инструкция запрещает применять в одном контуре более трех разных условных знаков, так как карты будут трудно читаться. Если в одном и том же контуре окажется более трех элементов почвенно-растительного покрова, то надо показывать только три элемента, наиболее характерных и важных в хозяйственном отношении, а остальные не показывать.

Подобным же образом поступают при скоплении однородных или разнородных предметов, особенно в населенных пунктах. В первую очередь наносят более важные предметы (жилые здания), а затем менее важные (надворные постройки), в случае необходимости у последних можно уменьшить изображающие их условные знаки или опустить некоторые из них. При съемке же в масштабе 1 : 25 000 и мельче часто приходится делать отбор и показывать не все жилые здания.

Т о ч н о с т ь. Точность топографических карт и планов характеризуется погрешностями изображенных на них предметов и контуров местности относительно ближайших точек, определенных геодезическими измерениями. Средние величины этих погрешностей устанавливаются действующими инструкциями по топографическим съемкам.

Средние погрешности в плановом положении четких контуров и предметов местности относительно ближайших точек планового съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм (в горных и высокогорных районах — 0,7 мм).

Средние погрешности определения высоты и изображения рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны по высоте превышать (допустимые величины даются в долях высоты сечения) в открытых районах:

1/4 принятой высоты сечения рельефа при углах наклона на участке съемки до 2° для планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 и при углах наклона до 1° для карт масштаба 1 : 10 000;

1/3 принятой высоты сечения рельефа при углах наклона от 2 до 6° для планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000; от 1 до 2° для карт масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000;

$\frac{1}{3}$ принятой высоты сечения рельефа в горных и предгорных районах, в долинах и на характерных точках рельефа (перегибах склонов). На склонах число горизонталей должно соответствовать разности высот, определенных на перегибах склонов.

На залесенных участках местности все средние погрешности съемки рельефа увеличиваются в 1,5 раза.

Предельные расхождения не должны превышать удвоенных значений средних погрешностей. Число предельных погрешностей не должно превышать 10 % от общего числа контрольных измерений.

§ 15. РЕЛЬЕФ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ

К изображению рельефа на топографических картах и планах предъявляют ряд требований: 1) изображение должно давать возможность определять абсолютные высоты точек местности и превышения между точками; 2) изображение должно правильно определять направление склонов и их крутизну; 3) изображение должно давать ясное и пространственное представление о рельефе местности, о взаимном расположении его отдельных форм, о действительном ландшафте.

На топографических картах и планах рельеф местности изображается горизонталями. Горизонталями можно изображать задернованные склоны, крутизна которых менее 45° . Поэтому изображение рельефа горизонталями сочетается с изображением условными знаками деталей рельефа: промоин, обрывов, осыпей, узких оврагов, скал, курганов, ям и т. д.

Для более наглядного изображения рельефа и для облегчения счета горизонталей некоторые из них утолщают. Чтобы свободно отличать на картах и планах холм от котловины и хребет от лощины, у горизонталей ставят скатштрихи — черточки, которые вычерчивают перпендикулярно к линиям горизонталей, вплотную к ним и направленные вниз по скату.

Кроме того, на картах и планах подписывают ряд высот характерных точек местности (вершин холмов, урезов воды, седловин, пересечения дорог и т. д.). Принято на каждом квадратном дециметре карты (плана) подписывать от 5 до 15 отметок высот характерных точек местности.

Горизонтали представляют собой замкнутые кривые линии, образующиеся при сечении местности уровнями

поверхностями, проведенными на разных высотах. *Горизонталью называется кривая линия, соединяющая точки местности, имеющие одну высоту.* При этом горизонталями соединяют точки местности, имеющие не любые абсолютные высоты, а точки, имеющие высоты, кратные принятой высоте сечения рельефа. Так, например, если принятая высота сечения рельефа 5 м, то горизонтали не могут соединять точки с высотами 61, 66, 71 м или 63, 68, 73 м, а соединяют точки с высотами 60, 65, 70 м. Абсолютные высоты точек исчисляют от уровенной поверхности Балтийского моря, и первая горизонталь при высоте сечения рельефа, например, 2 м будет соединять точки, имеющие абсолютные высоты 2 м, вторая — 4 м, третья — 6 м и т. д. При этой высоте сечения рельефа (2 м) горизонталей, соединяющих точки с нечетным значением абсолютных высот (например, 3, 79, 105 м), быть не может.

Горизонтали имеют следующие свойства: 1) все точки, лежащие на одной горизонтали, имеют одинаковые отметки высот, кратные принятой высоте сечения рельефа; 2) все горизонтали — непрерывные замыкающиеся линии. Если они замыкаются в пределах листа карты, то обозначают холм или котловину, 3) горизонтали не могут пересекаться; 4) расстояние между горизонталями характеризует крутизну ската. Чем ближе друг к другу проведены горизонтали, тем круче скат, и наоборот; 5) водораздельные линии и оси ложин горизонтали пересекают под прямым углом.

В зависимости от абсолютного значения высот точек и их взаимного расположения (расчлененности рельефа) различают участки для съемки: равнинные с углами наклона, не превышающими 2° , равнинно-пересеченные и всхолмленные с углами наклона до 6° , горные и предгорные с углами наклона, большими 6° , и с возвышенностями высотой более 200 м.

Высота сечения рельефа (расстояние по высоте между соседними горизонталями) зависит от назначения и масштаба карты, а также от степени расчлененности рельефа местности (табл. 5).

Некоторые горизонтали утолщают, каждую десятую при высоте сечения рельефа 0,5 и 2,5 м (при высоте сечения, например, 0,5 м утолщают горизонтали с высотами 5, 10, 15, ..., 200, 205, 210 и т. д.) и каждую пятую при высоте сечения рельефа 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 40,0; 80,0 м (при высоте сечения, например, 10 м подде-

Таблица 5

Основные высоты сечения рельефа на топографических картах и планах

Масштаб	Высота сечения рельефа, м	Примечание
1 : 500	0,5; 1,0	Второе значение для горных и предгорных районов
1 : 1 000	0,5; 1,0	Второе значение для участков с углами наклона более 4°
1 : 2 000	0,5; 1,0; 2,0	Последнее значение для участков с углами наклона более 4°
1 : 5 000	0,5; 1,0; 2,0; 5,0	
1 : 10 000	1,0; 2,0; 5,0	Первое значение для участков с углами наклона до 2°; последнее — для горных и предгорных районов
1 : 25 000	2,5; 5,0; 10,0	Последнее значение для высокогорных районов
1 : 50 000	10 и 20	
1 : 100 000	20 и 40	
1 : 200 000	20, 40 и 80	
1 : 300 000		

жат утолщению горизонтали с высотами 50, 100, 150,, 450, 500, 550 м и т. д.).

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые его характерные особенности не могут быть изображены основными горизонталями, то применяют для их показа дополнительные горизонтали. К дополнительным горизонталям относятся: полугоризонтالي и четвертьгоризонтالي, которые проводят через половину или четвертую часть принятой на карте или плане основной высоты сечения рельефа, а также вспомогательные горизонтали с произвольной высотой сечения рельефа. Дополнительные горизонтали изображают на планах и картах прерывистыми линиями (у полугоризонталей черточки значительно длинней, чем у четвертьгоризонталей).

§ 16. ГРАФИК ЗАЛОЖЕНИЙ

Расстояние между горизонталями на карте или плане называется з а л о ж е н и е м и обычно обозначается буквой *d*. Заложение и характеризует крутизну склона: чем меньше заложение, чем чаще расположены горизонтали, тем круче склон на местности. Если горизонтали

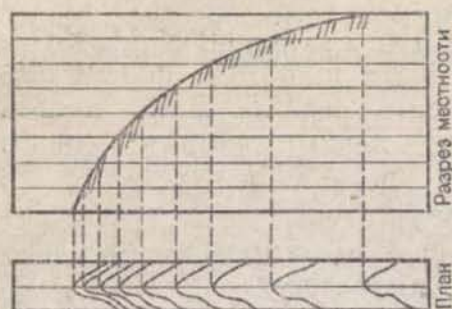


Рис. 21. Изображение горизонталями выпуклого склона

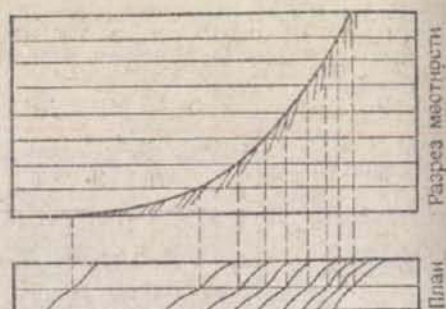


Рис. 22. Изображение горизонталями вогнутого склона

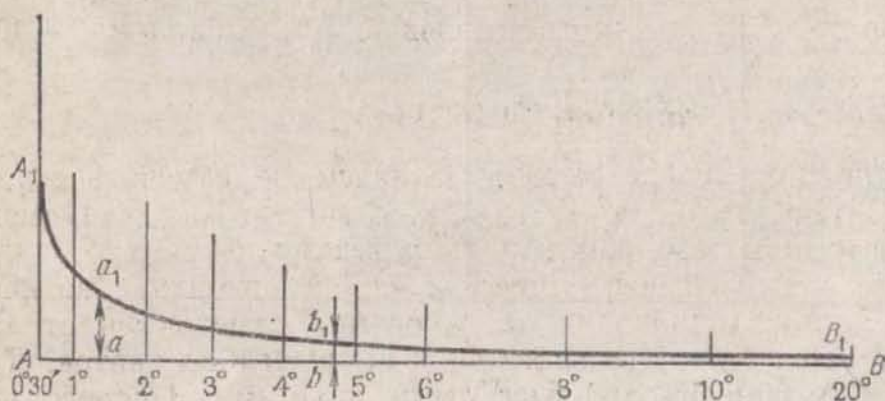


Рис. 23. График заложений

сгущаются к подножию склона (рис. 21), то склон будет выпуклым. Если, наоборот, горизонтали чаще расположены в верхней части склона, а к его подножию разрежены, то форма склона будет вогнутой (рис. 22). Чаще всего склоны имеют более сложные формы, состоящие из разных сочетаний ровного, выпуклого и вогнутого скатов.

Наименьшее расстояние между горизонталями (заложение) измеряется на плане по направлению, перпендикулярному к горизонтали. Направление, нормальное к горизонтали, принимается за направление склона и называется направлением наибольшей крутизны.

Высота сечения рельефа h , заложение d и угол наклона v , выражающий крутизну линии местности, связаны формулой

$$d = h \operatorname{ctg} v.$$

По этой формуле можно вычислить угол наклона ската, зная высоту сечения рельефа данной карты и измерив заложения. Чтобы не делать вычислений, для каждой карты и плана по принятой для них высоте сечения рельефа строят график заложений. Он помещается (см. § 13) ниже южной рамки карты. Пользуясь им, определяют крутизну ската (угол наклона) по любым направлениям.

Чтобы определить по карте или плану крутизну ската (угол наклона), берут измерителем кратчайшее расстояние (заложение) aa_1 между двумя соседними горизонталями и, пользуясь им, по графику (рис. 23) между горизонтальной линией AB и плавной кривой A_1B_1 по отрезку aa_1 находят крутизну ската ($1^\circ 20'$). Заложению bb_1 , например, будет соответствовать угол наклона $4^\circ 40'$.

§ 17. ПРОВЕДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЕЙ

Горизонтали на местности ничем не отмечены. Поэтому наносить их на карты (планы) так же, как, например, наносят при наземных топографических съемках контуры и предметы местности, невозможно. Горизонтали на картах (планах) проводят на основании отметок высот характерных точек рельефа и точек перегибов скатов. Такие точки называют высотными пикетами. Процесс нахождения вспомогательных точек, отметки высот которых кратны принятой высоте сечения рельефа, т. е. таких, через которые проходят горизонтали, называется **интерполированием горизонталей**.

Графически интерполирование горизонталей можно проводить, воспользовавшись краем полоски миллиметровой бумаги. На карте или плане имеются два пикета A и B , расположенные на перегибах одного и того же ската, между которыми наклон местности не изменяется. Предположим, отметка высоты пикета A $H_A = 162,4$ м, а отметка высоты пикета B $H_B = 154,5$ м. Требуется провести между ними горизонтали при заданной высоте сечения рельефа $h = 2$ м. По отметкам высот пикетов A и B и заданной высоте сечения видно, что между ними должны быть проведены горизонтали с отметками высот 156, 158,

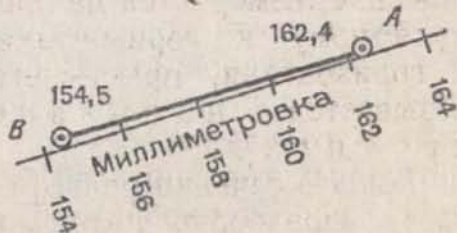


Рис. 24. Схема интерполирования горизонталей

160 и 162 м. Измерим краем миллиметровки расстояние между пикетами *A* и *B* (рис. 24). Пусть, например, оно будет равно 36 мелким клеткам (36 мм). Разделим это расстояние на число горизонталей, которое должно быть между пикетами *A* и *B*: в нашем примере четыре ($36 : 4 = 9$). Эти девять миллиметров будут величиной заложения на склоне между пикетами *A* и *B*. На миллиметровой полоске проведем шесть (на две больше числа горизонталей) параллельных линий (штрихов) на равных 9 мм расстояниях друг от друга и оцифруем их от 154 до 164 м. Приложим теперь край миллиметровой полоски к линии *AB* (рис. 24) и будем перемещать ее по линии с таким расчетом, чтобы пикеты *A* и *B* расположились между штрихами на миллиметровке в местах, соответствующих их отметкам. Так, пикет *A* должен расположиться выше черточки, подписанной 154 м, на $1/4 d \approx 2$ мм (0,5 м представляет $1/4$ от 2 м), а пикет *B* — ниже черточки, подписанной 164 м, на $3/4 d \approx 7$ мм (1,6 м представляет $3/4$ от 2 м). Теперь против черточек на миллиметровке, оцифрованных 156, 158, 160 и 162 м на линии *AB*, карандашом ставят точки. Это будут те вспомогательные точки, через которые должны быть проведены соответствующие горизонталы. Так же можно интерполировать горизонталы между другими пикетами.

Такое графическое интерполирование горизонталей практически не проводят. Как в процессе съемки, так и при составлении планов и карт в камеральных условиях интерполирование горизонталей делают на глаз. Интерполирование на глаз практически не снижает точность и во много раз производительней.

После интерполирования вспомогательные точки с одинаковыми отметками высот соединяют плавными кривыми линиями в соответствии с изгибами изображаемой местности. Затем горизонталы нужно «уложить». Горизонталы должны отражать закономерности развития рельефа, его геоморфологические особенности. Так, например, резкие изломы горизонталей можно обнаружить только в горных условиях. Рисунок любой горизонтали, как правило, повторяет рисунок окружающих ее горизонталей. В отдельных случаях требуется проведение дополнительных горизонталей.

На рис. 25 изображены семь высотных пикетов. Здесь же приведены превышения между пикетами и горизонталями. Высота сечения рельефа принята 5 м.

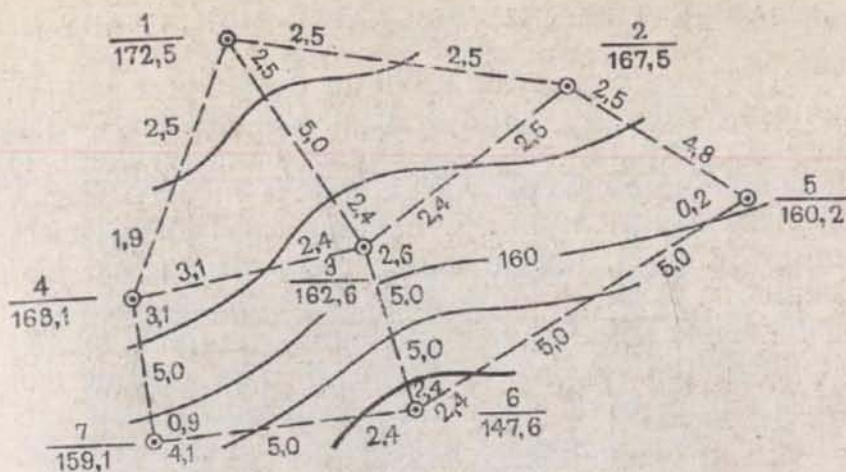


Рис. 25. Схема проведения горизонталей

Чтобы провести горизонталы, рассматривают отрезки между пикетами, соединенными пунктирными линиями. Так, между пикетами 1 и 2 пройдет одна 170-я горизонталь, при этом пройдет в середине между этими пикетами, так как она удалена по высоте на 2,5 м от пикета 1 и 2. Между пикетами 1 и 3 пройдут 170-я и 165-я горизонталы, при этом 170-я горизонталь пройдет на 2,5 м ниже пикета 1, а 165-я горизонталь — на 2,4 м выше пикета 3. Штрихи для проведения горизонталей намечают, разделив расстояние между пикетами 1—3 на три части: 2,5; 5,0 и 2,4 м, т. е. средний промежуток вдвое больше крайних. Между пикетами 1 и 4 проходит одна 170-я горизонталь на 2,5 м ниже пикета 1 и на 1,9 м выше пикета 4. Очевидно, расстояние между пикетами 1—4 можно разделить на девять частей. От пикета 4 170-я горизонталь будет проходить на расстоянии четырех таких частей, от пикета 1 — пяти. Через намеченные штрихи плавно проводят 170-ю горизонталь. Рассуждая аналогично, намечают штрихи между пикетами для горизонталей 165, 160, 155 и 150 (см. рис. 25).

Первоначально рисуют и укладывают горизонталы мягким остро заточенным карандашом. Для исправления пользуются мягкой резинкой. Для исправления мелких деталей, чтобы снимать резинкой только детали, подлежащие исправлению, пользуются трафаретами с окошечками. Очень удобны так называемые офицерские линейки.

§ 18. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО КАРТЕ ИЛИ ПЛАНУ

Топографические карты и планы позволяют решать ряд различных задач, связанных с планированием, изысканиями и строительством. Задачи эти следующие: 1) определение номенклатуры листа карты любого масштаба, в который входит пункт с заданными географическими координатами; 2) определение географических координат вершин углов листов карт различных масштабов; 3) определение номенклатур смежных листов карт; 4) определение длин отрезков на карте; 5) определение направлений на карте; 6) определение географических и плоских координат точек (решение изложено в § 12); 7) определение высот точек; 8) определение крутизны склонов (решение изложено в § 16); 9) построение линий заданного уклона; 10) построение профиля по заданному направлению; 11) определение видимости между точками; 12) определение полей невидимости; 13) определение границ водосборной площади; 14) определение границ затопления; 15) изучение условных знаков и чтение карты.

Определение номенклатуры листа карты

Условие задачи. Пункт (точка) имеет географические координаты $\varphi = 47^{\circ}35'30''$ и $\lambda = 78^{\circ}04'15''$. Определить номенклатуру листа карты масштаба 1 : 25 000, на территории которого пункт расположен.

Решение задачи. Задачу решают в такой последовательности. Пользуясь значениями широты и долготы пункта, первоначально определяют номенклатуру листа карты масштаба 1 : 1 000 000, на котором находится точка. Очевидно, что наш пункт с широтой $47^{\circ}35'30''$ расположен в ряду L , ограниченном параллелями с широтами 44° и 48° . Теперь необходимо найти зону. Ширина зон, как мы знаем, равняется 6° . Так как $78 : 6 = 13$, то, значит, пункт расположен в 14-й зоне, ограниченной меридианами с долготами 78° и 84° . Но для номенклатуры листа карты масштаба 1 : 1 000 000 нужно знать не номер зоны, а номер колонны. Мы уже знаем, что номер колонны всегда больше номера зоны на 30. Значит, пункт расположен в 44-й колонне ($14 + 30 = 44$). Номенклатура листа карты масштаба 1 : 1 000 000 для нашего пункта будет $L-44$. Теперь нужно определить номенклатуру листа карты масштаба 1 : 100 000, в пределах которого расположен пункт. Для этого лист карты масштаба 1 : 1 000 000

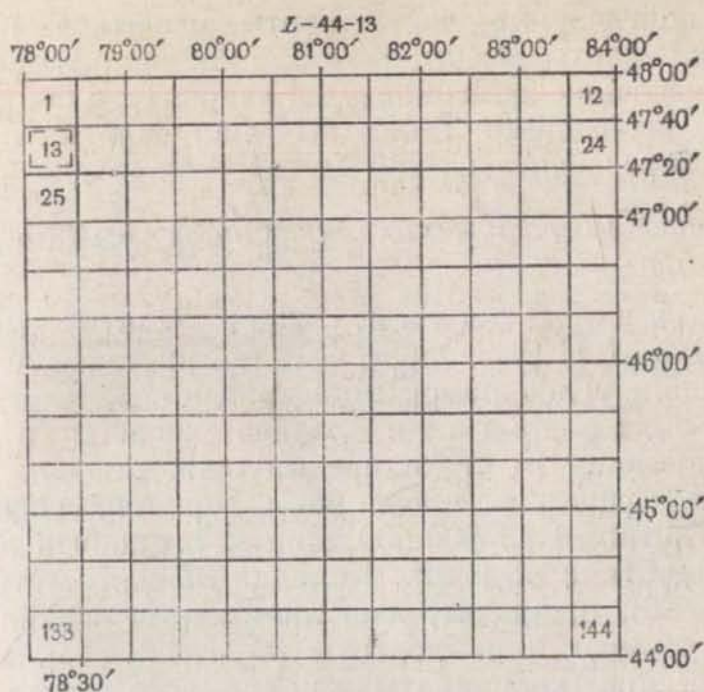
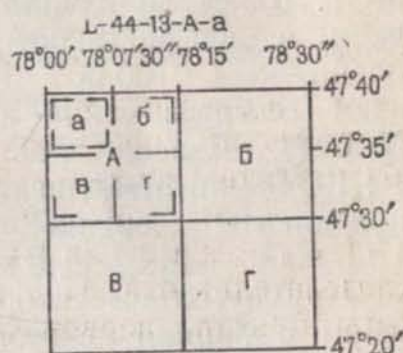


Рис. 26. Схема определения номенклатуры листа карты масштаба 1 : 100 000

Рис. 27. Схема определения номенклатуры листов карт масштабов 1 : 50 000 и 1 : 25 000



L-44 делят на 144 части (рис. 26) и оцифровывают широты и долготы отдельных листов. Рассматривая схему (см. рис. 26), устанавливаем, что наш пункт располагается на листе карты масштаба 1 : 100 000 под номером 13. Значит, номенклатура этого листа будет L-44-13. Далее строят схему (рис. 27) листа масштаба 1 : 100 000 карты L-44-13, делят его на четыре части и получают листы А, Б, В, Г карты масштаба 1 : 50 000. Оцифровывают значение их широт и долгот и устанавливают, что заданный пункт расположен на территории листа карты L-44-13-A. Делением листа карты масштаба 1 : 50 000 L-44-13-A на четыре части получают листы карты масштаба 1 : 25 000 а, б, в, г. Определяют и оцифровывают значение их широт и долгот и находят, что пункт расположен на листе карты масштаба 1 : 25 000 L-44-13-A-a.

При определении листа карты масштаба 1 : 10 000 делят лист карты масштаба 1 : 25 000 на четыре части. При определении номенклатур планов 1 : 5 000 и далее 1 : 2 000 необходимо было бы лист карты масштаба 1 : 100 000 разделить на 256 частей.

Определение географических координат вершин углов листов карт

Условие задачи. Лист карты масштаба 1 : 25 000 М-37-44-В-г. Определить географические координаты вершин углов рамок этой трапеции.

Решение задачи. Задача решается в той же последовательности, что и предыдущая. Сначала определяем географические координаты вершин углов листа карты масштаба 1 : 1 000 000. Ряд М ограничен параллелями с широтами 48 и 52°. Колонка 37 соответствует 7-й зоне (37—30), и, значит, наш лист карты ограничен меридианами, имеющими долготы 36 и 42°. Так найдены географические координаты миллионного листа карты М-37. Далее лист миллионной карты М-37 делят на 144 части и оцифровывают широты и долготы листов карты масштаба 1 : 100 000. Рассматривая рис. 26, устанавливают географические координаты вершин листа карты М-37-44. Далее строят схему листа карты масштаба 1 : 100 000 М-37-44, делят его на четыре части и получают координаты вершин углов листа карты масштаба 1 : 50 000 — М-37-44-В и т. д.

Прямоугольные координаты вершин углов рамок трапеций выбирают по географическим координатам вершин углов листов по специальным таблицам*. В этих же таблицах даны размеры рамок, диагоналей и площадей этих трапеций.

Определение номенклатур смежных листов карт

Условие задачи. Дана карта масштаба 1 : 50 000, лист М-37-133-В. Нужно назвать номенклатуры восьми смежных листов карт того же масштаба.

Решение задачи. Прежде всего надо решить, не находится ли лист данной карты на границе ряда и колонны и если находится, то где эти границы. Лист карты масштаба 1 : 100 000 М-37-133 находится в юго-западном

* Таблицы координат Гаусса—Крюгера и таблицы размеров рамок и площадей топографических съемок. М., Геодезиздат, 1961.

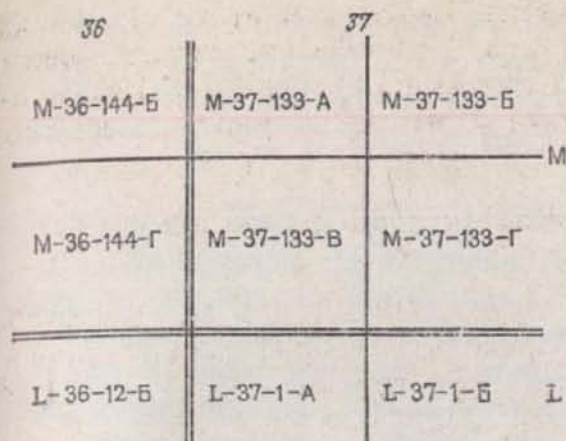
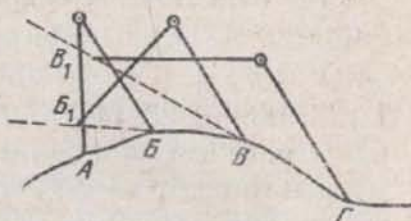


Рис. 28. Схема определения номенклатуры смежных листов карт

Рис. 29. Схема определения длины отрезка кривой линии



углу листа карты масштаба 1 : 1 000 000. Значит, с западной его стороны будет расположен лист М-36, южнее — L-37 (рис. 28), а переходя к сотысячным листам, с запада будет расположен лист М-36-144, с юга — L-37-1. По схеме (рис. 28) нетрудно установить номенклатуру всех восьми граничащих листов карт масштаба 1 : 50 000, М-37-133-А, М-37-133-Б, М-37-133-Г, L-37-1-Б, L-37-1-А, L-36-12-Б, М-36-144-Г и М-36-144-Б.

Определение длин отрезков на карте

Расстояние между двумя точками по прямой можно определить измерителем при помощи линейного масштаба и более точно — при помощи поперечного масштаба. Большие расстояния между точками можно определять по частям.

Длины кривых линий (по рекам, дорогам и т. п.) определяют или специальным прибором, называемым курвиметром, или измерителем и масштабной линейкой.

Если измерение длины проводят измерителем и масштабной линейкой, то криволинейный отрезок АГ (рис. 29) делят на ряд прямолинейных участков АВ, ВВ, ВГ и т. д. Устанавливают раствор измерителя в начале и конце первого прямолинейного участка АВ в точках А и В. Затем ножку измерителя из точки А (заднюю) переносят в точку В₁, находящуюся на продолжении второго участка ВВ. При этом не меняют раствор измерителя. После этого вторую ножку измерителя переносят из точки В в точку В. Так в растворе измерителя мы получили суммарную величину двух отрезков АВ + ВВ. Далее, не меняя раствора, переносят ножку измерителя (заднюю) из точки В₁ в точку В₁ на продолжении третьего участка

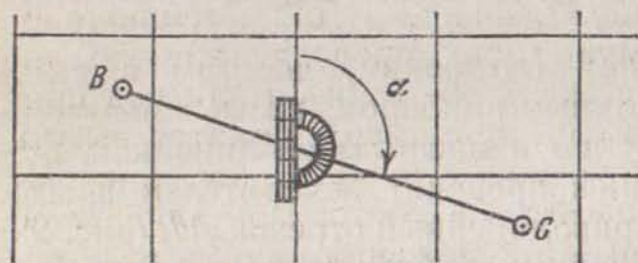
$BГ$, после чего первую ножку измерителя переносят из точки B в точку $Г$ и получают в его растворе сумму трех участков $AB + BV + BГ$. Так поступают и далее.

Определение направлений на карте

Уже известно, что боковые стороны рамки листов карт и планов являются географическими меридианами (за исключением планов при квадратной разграфке листов, см. § 11), а вертикальные листы километровой сетки параллельны осевому меридиану зоны и поэтому не параллельны боковым сторонам рамок. Направления по карте определяют транспортиром. Точность таких определений не выше $15'$.

Если нужно определить направление какой-либо линии BC по карте, то удобнее всего определить ее дирекционный угол α . Для этого нулевой диаметр транспортира совмещают с любой вертикальной линией километровой сетки, пересекающей линию BC (рис. 30), а центр транспортира совмещают с точкой пересечения направления BC с этой же вертикальной линией сетки. Остается только отсчитать по транспортиру дирекционный угол α .

Для определения географического азимута A линию BC продолжают на карте (карандашом) до пересечения ее с боковой стороной рамки листа и нулевой диаметр транспортира совмещают с географическим меридианом — стороной рамки.



Километровая сетка

Рис. 30. Схема определения направлений

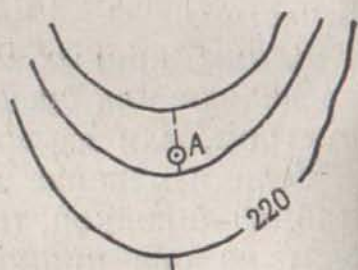


Рис. 31. Схема определения высоты точки

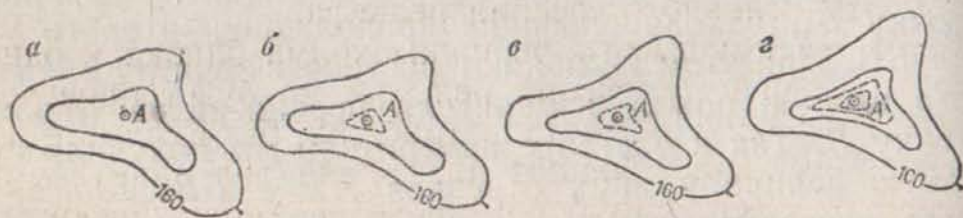


Рис. 32. Схема определения высот точек

Магнитный азимут A_m , очень нужный для ориентирования карты, графически определить нельзя.

Обычно графически определяют по карте дирекционный угол, а магнитный и истинный азимуты вычисляют по формулам

$$A_m = \alpha - \pi, \text{ где } \pi = \delta - \gamma; A = \alpha + \gamma.$$

На каждом листе карты и плана (см. § 13) указаны средние величины сближения меридианов γ и склонения магнитной стрелки δ . Нужно помнить, что величины γ и δ могут быть положительными и отрицательными, поэтому вычисление A_m и A проводят с учетом знаков.

Пример. Определили, что дирекционный угол линии BC на карте $\alpha = 107^\circ 30'$, с карты берем $\delta = +6^\circ 15'$, а $\gamma = -2^\circ 21'$. Тогда $\pi = +6^\circ 15' - (-2^\circ 21') = +8^\circ 36'$,

$$A_m = \alpha - \pi = 107^\circ 30' - 8^\circ 36' = 98^\circ 54';$$

$$A = \alpha + \gamma = 107^\circ 30' + (-2^\circ 21') = 105^\circ 09'.$$

Определение высот точек

При пользовании картами и планами часто возникает необходимость в определении отметок высот точек местности. При решении этой задачи могут встретиться три случая.

1. Точка расположена на горизонтали. В этом случае отметка высоты равна отметке горизонтали.

2. Точка находится в промежутке между разноименными горизонталями (на склоне). В этом случае отметку высоты получают интерполированием. Для интерполирования через определяемую точку проводят кривую линию так, чтобы она пересекала обе горизонтали под прямыми углами (рис. 31). Если, например, принятая высота сечения рельефа 2 м, то отметка точки A (см. рис. 31) будет 222,4 м, так как расстояние от горизонтали 222 до точки A равно примерно $1/5$ заложения.

3. Точка расположена внутри замкнутой горизонтали (на вершине холма, рис. 32, а). В этом случае ее отметка равна отметке горизонтали плюс некоторая часть принятой высоты основного сечения рельефа.

Если отметка высоты вершины холма близка к одной четверти основного сечения рельефа, то будет проведена вспомогательная горизонталь (рис. 32, б). Если отметка вершины несколько больше или равна половине высоты основного сечения, то будет проведена полугоризонталь (рис. 32, в). Если отметка вершины будет близка к трем

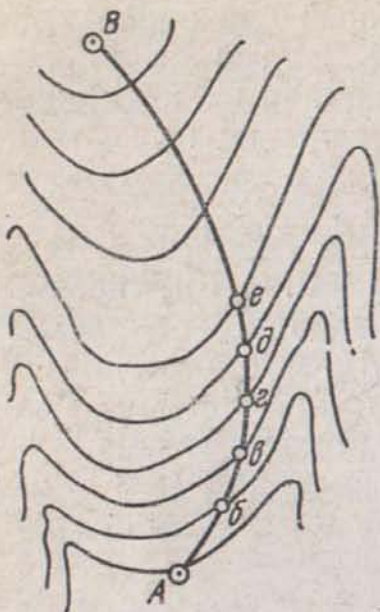


Рис. 33. Схема построения линии определенного уклона

четвертям высоты основного сечения, то должны быть проведены полугоризонталь и вспомогательная горизонталь (рис. 32, *г*).

На рис. 32 показаны изображения вершин при высоте основного сечения рельефа 2 м. Очевидно, отметки определяемой точки в зависимости от рисунка будут равны 162,3; 162,6; 163,2; 163,6.

Построение линий заданного уклона.

На топографических картах приходится проектировать железные и автомобильные дороги, каналы и т. п. Трассы этих будущих сооружений намечают с заданным предельным уклоном (угол наклона

нигде не должен превышать заданной величины, например, $1,5^\circ$). Предположим, требуется на карте наметить и провести такую трассу между точками А и В (рис. 33). По графику заложения, имеющемуся на карте, находим величину, соответствующую заданному углу наклона ($1,5^\circ$), и берем его в раствор измерителя. Этим раствором измерителя из заданной точки А пересекаем следующую горизонталь и получаем точку б проектируемой линии, так уклон линии Аб будет равен заданному $1,5^\circ$. Далее, держим одну ножку измерителя в полученной точке б, засекая последующую горизонталь, получаем точку в и т. д. Таким образом получаем все последующие отрезки проектируемой линии вг, гд и де. От точки е до В можно проводить прямую линию, так как уклон на этом участке меньше заданного предельного.

Данная задача имеет не одно, а несколько решений, из которых выбираем наиболее оптимальное.

Построение профиля по заданному направлению

На топографической карте или плане задана линия АВ (рис. 34), по которой следует построить профиль местности. Профиль можно построить в любом заданном масштабе, а значит, и в масштабе карты.

Для построения профиля в заданном масштабе (не в масштабе карты) на миллиметровой бу-

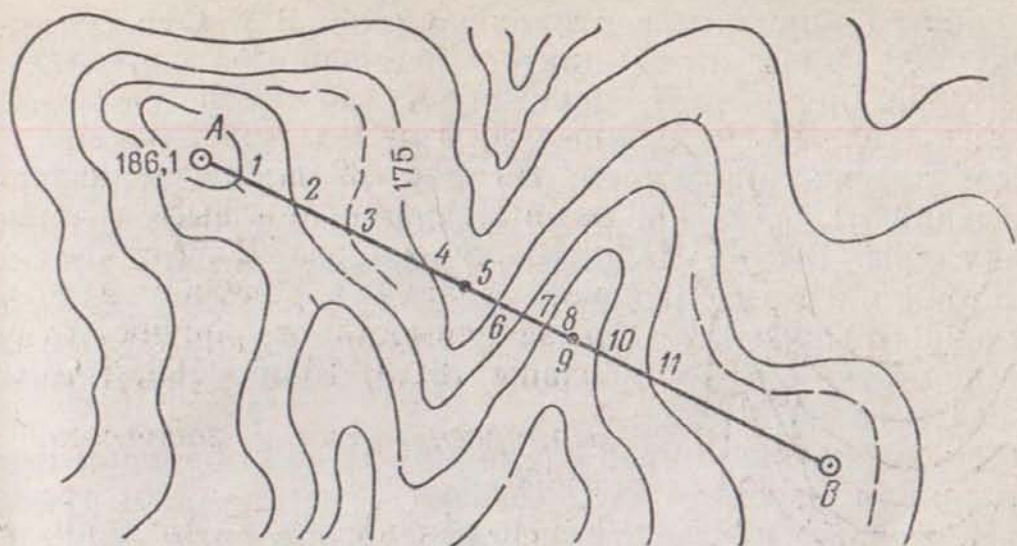


Рис. 34. Участок карты для построения профиля

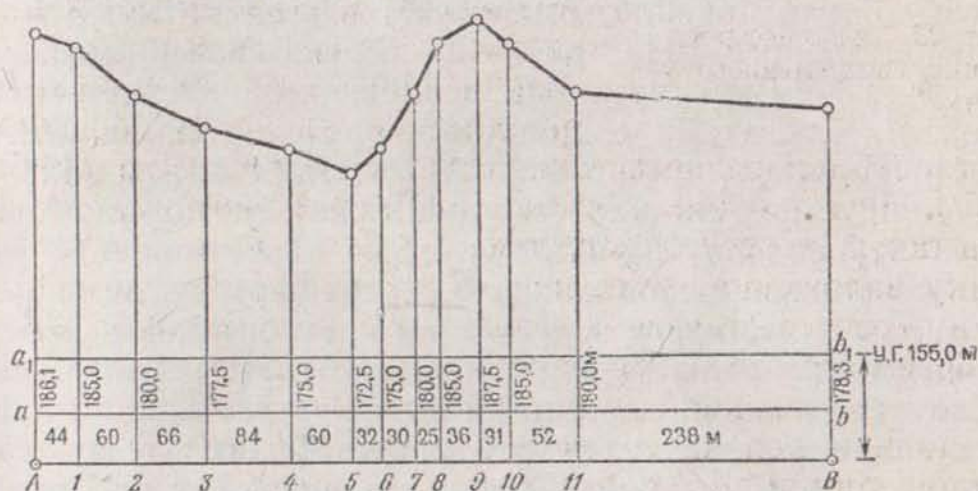


Рис. 35. Профиль линии AB

маге проводят прямую и на ней в этом горизонтальном масштабе откладывают линию AB и точки 1, 2, 3, ..., 11, в которых она пересекает горизонталь, а также характерные точки рельефа.

Предположим, что масштаб карты (см. рис. 34) 1 : 10 000; профиль нужно построить в горизонтальном масштабе 1 : 5000. Отложенная в масштабе 1 : 5000 на бумаге прямая AB называется основанием профиля. Через 1—2 см на бумаге проводят прямые ab и a_1b_1 , параллельные основанию профиля AB. Между прямыми AB и ab пишут измеренные по карте расстояния между точками A—1, 1—2, 2—3 и т. д. в целых метрах, располагая надписи горизонтально, а между прямыми ab и a_1b_1 выписывают отметки высот точек A, 1, 2, 3 и т. д.,

располагая надписи вертикально (рис. 35). Отметки точек, полученные в результате пересечения на карте горизонталей прямой AB , равны отметкам соответствующих горизонталей, отметки точек 5, 9 и B (см. рис. 34) определяют интерполированием. Во всех точках на основании профиля (A , 1, 2, 3 и т. д.) восставляют к нему перпендикуляры. Высоту прямой a_1b_1 называют условным горизонтом (сокращенно УГ). Отметку высоты условного горизонта намечают произвольно, но так, чтобы самая низкая точка профиля была бы при построении выше него на 3—5 см.

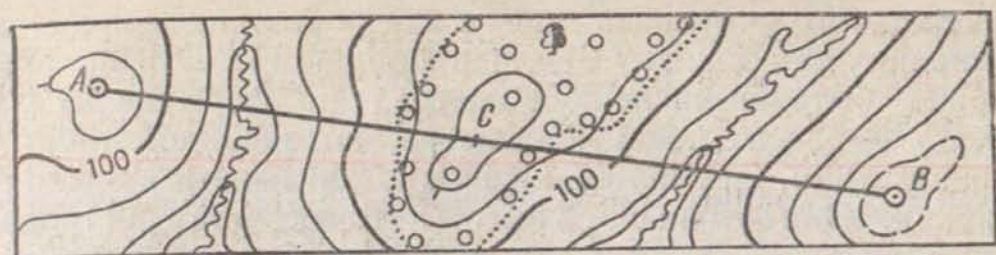
На перпендикулярах от линии a_1b_1 в выбранном вертикальном масштабе откладывают отметки высот точек, уменьшенные на высоту условного горизонта. Для наглядности и выразительности профиля его вертикальный масштаб, как правило, принимают в десять раз крупнее горизонтального. На рис. 35 вертикальный масштаб взят 1 : 500. Верхние концы перпендикуляров соединяют прямыми отрезками и получают профиль линии AB .

При составлении профиля в масштабе карты (плана) рекомендуется для удобства пользоваться полоской бумаги. Эту полоску прикладывают на карте (плане) к линии AB и на нее карандашом наносят черточками начало и конец линии, места пересечения горизонталей и характерные точки рельефа. Одновременно с этим записывают обозначения точек, отметки их высот и расстояния между ними. Затем полоску бумаги прикладывают к прямой, принятой за основание профиля, и переносят на нее все отмеченные точки и их данные.

Если требуется составить профиль местности вдоль какой-либо изгибающейся (кривой) линии, например дороги, то такую линию разбивают на прямолинейные отрезки и переносят с них места пересечения горизонталей и характерные точки рельефа на прямую основания профиля. Углы поворотов отмечают в соответствующих местах профиля.

Определение видимости между точками

Часто возникает необходимость определить по карте (плану) наличие видимости между двумя заданными точками. Если видимости между точками нет, то в ряде случаев требуется определить, на сколько метров нужно подняться в этих точках, чтобы видимость между ними была. Такие задачи приходится, например, решать при



Масштаб 1:100 000
Высота леса 20 м

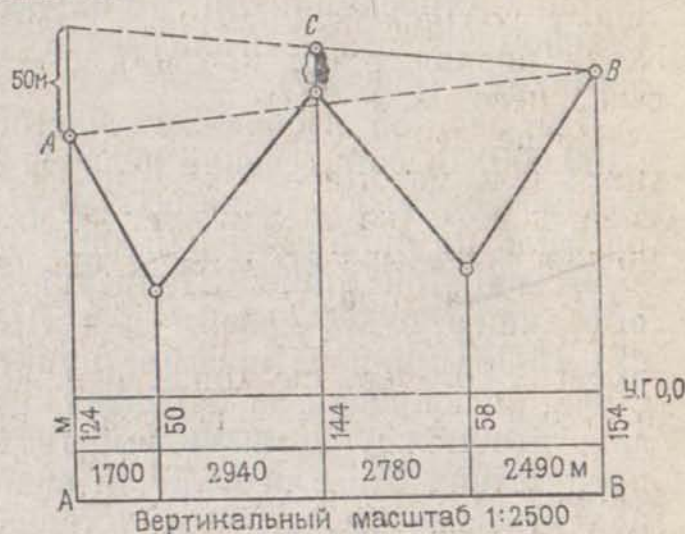
Рис. 36. Участок карты для установления видимости между точками

Рис. 37. Сокращенный профиль

составлении проектов и рекогносцировке триангуляции и полигонометрии различных классов.

Наличие видимости между точками в ряде случаев можно определить, внимательно рассмотрев на карте (плане) рельеф местности. Так, если заданные точки расположены в открытой местности на противоположных водоразделах или склонах долины, то видимость между ними не вызывает сомнений. Однако во многих случаях могут возникнуть сомнения относительно видимости между точками или мнение об отсутствии таковой (рис. 36).

Чтобы уверенно ответить на вопрос о наличии видимости, строят сокращенный профиль по линии между этими точками. При построении сокращенного профиля используют не все горизонтали и отметки, а лишь те, которые отражают самые характерные точки перегибов. Соединяют прямой линией эти точки на профиле, и если эта прямая нигде не пересекает линию профиля, то видимость между ними имеется. Если прямая, соединяющая искомые точки, пересекает линию профиля, то можно графически определить, на сколько метров надо подняться в этих точках или в одной, чтобы видимость между ними была. Однако это верно только при небольших расстояниях (4; 5 км) между точками и в том случае, когда на характерных перегибах — препятствиях — нет леса или строений. При наличии больших расстояний между точками



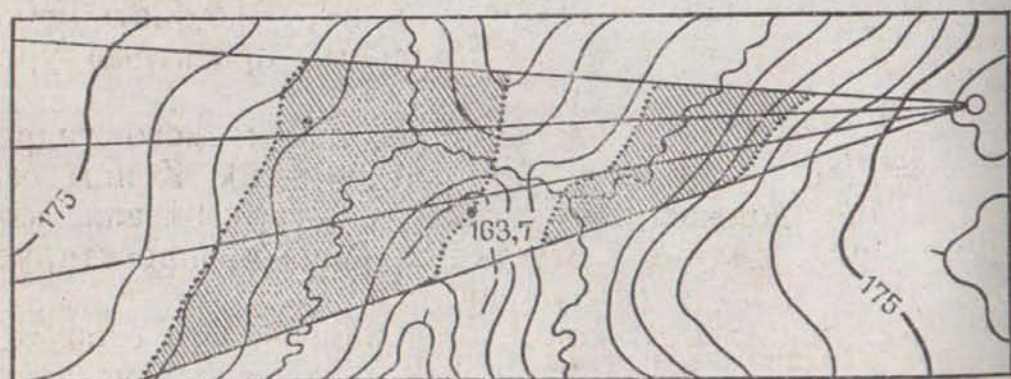
необходимо учитывать еще в обеих точках совместную поправку за кривизну Земли и рефракцию. Эта поправка может быть вычислена в метрах по формуле $S_{\text{км}}^2/15$, где S — расстояние в километрах от заданной точки до препятствия. Эти поправки нужно учитывать в заданных точках. Они уменьшают высоты точек при построении профиля.

Если на возможных препятствиях имеются лес, кустарник, строения и т. п., то их высоты в принятом вертикальном масштабе откладывают на профиле вверх по вертикали (рис. 37).

На рис. 36 изображен участок карты масштаба 1 : 100 000. Высота сечения рельефа 20 м. Для определения видимости между точками A и B строим сокращенный профиль по линии AB (см. рис. 37). Точка C — препятствие на этой линии. Поправки за кривизну Земли и рефракцию будут равны: для AC — 1,4 м, для CB — 2,0 м. Соединяя на профиле пункты A и B , полученные с учетом поправки за кривизну Земли и рефракцию, видим, что между ними видимости нет (даже без леса на препятствии C). Для наличия видимости в точке A надо подняться на высоту 50 м (устанавливается графически). Очевидно, экономически целесообразно подняться и в точке A и в точке B на высоты, значительно меньшие 50 м. Эти высоты также можно определить графически.

Определение полей невидимости

Полями невидимости называются участки местности, невидимые с заданной точки. Обычно поля невидимости определяют для какого-то ограниченного сектора наблюдений. Из заданной точки проводят пря-



Сплошные горизонталы проведены через 5 м

Рис. 38. Поля невидимости

мые, ограничивающие сектор наблюдений. Кроме того, сектор делят на части размером $10-15^\circ$ и через границы этих частей также проводят прямые. По каждой прямой строят профиль местности и на каждом из профилей проводят лучи зрения из заданной точки, касательные к профилю в местах препятствий. Полученные таким образом на профилях невидимые участки отмечают на прочерченных прямых (рис. 38). Затем эти точки соединяют плавными кривыми соответственно формам рельефа и полученные площади (поля невидимости) заштриховывают. Для определения полей невидимости профили целесообразно строить в масштабах карты.

Определение границ водосборной площади

При создании на водотоках сооружений (плотин, дамб, мостов, водосточных труб и т. д.) возникает необходимость нанесения на карту (план) границ водосборной площади (бассейна). Эта граница позволяет на карте определить площадь бассейна, а значит, и подсчитать мощность потока, которая необходима для расчета возводимых сооружений.

Граница водосборной площади проходит по ближайшим к водотоку водораздельным линиям и спускается к намеченному сооружению по направлению скатов, расположенных с обеих от него сторон. Границу на карте (плане) наносят пунктирной линией.

Определение границ затопления

При сооружении на водотоках плотин и дамб необходимо определение на карте (плане) границы затопления участка. Чтобы нанести такую границу, надо знать место будущего сооружения и максимальный проектный урез воды около него.

На карту (план) наносят ось намечаемого гидротехнического сооружения (прямой линией). Концы оси сооружения должны находиться на горизонтали или между горизонталями с отметками, равными проектируемому урезу воды у сооружения.

Далее, двигаясь от концов оси намечаемого сооружения по отметкам проектного уреза воды, используя горизонтали, получают замкнутую линию — границу затопления. Площадь затопления заштриховывают.

Изучению условных знаков очень помогает рассмотрение на карте различных маршрутов с устным рассказом о подробностях пути, о контурах и предметах местности, окружающей путь следования, о рельефе (подъемах, спусках, перевалах, крутизне, форме скатов) и т. д. При движении по карте расшифровываются все надписи и характеристики. Путь и рассказ, начатый одним учащимся, продолжает следующий и т. д. Остается только проверять, чтобы отдельные детали карты в рассказах не были упущены.

Для решения практических задач очень удобны наборы «Учебных топографических карт», выпускаемые ГУГК при Совете Министров СССР.

Практические занятия. Решение задач на картах, рисовка рельефа по заданным пикетам и скелетным линиям рельефа.

Глава 5

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ НА МЕСТНОСТИ

§ 19. ОБОЗНАЧЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТИ

Точки, между которыми намечено измерение длин линий, должны быть закреплены на местности. В зависимости от назначения точек и срока, на который предусмотрено пользование ими, закрепление может быть различным. Если это точки съёмочного обоснования и нужны только на период данной съёмки, то для их закрепления обычно используют деревянные колышки или отрезки металлических труб, вбиваемые в землю. Для облегчения их нахождения во время работ вокруг таких точек копают канавки шириной 30 см и глубиной 25 см. Канавки могут иметь самые разнообразные формы: круга, равноугольного треугольника, звездочки и т. д. Канавки не должны мешать установкам над точками приборов (теодолитов, мензул). Земля из канавок отбрасывается подальше, чтобы дожди не смывали ее обратно в канавки. Длина и диаметр колышков зависят от грунта и его увлажненности (длина колеблется от 20 до 50 см, диаметр от 5 до 10 см).

Если точки съёмочного обоснования предполагают

использовать в течение нескольких лет, то их закрепляют долговременными знаками. Это может быть железобетонный столб (пилон) в форме параллелепипеда с поперечным сечением 12×12 см и длиной 100 см, закладываемый в котлован на глубину 80 см. В верхнюю часть такого знака цементируется металлический гвоздь со сферической шляпкой.

Пилоны могут быть заменены асбоцементными трубами той же длины и диаметра. Это может быть металлическая труба диаметром 40 мм, длиной 70 см с бетонным монолитом (якорем). Величина якоря: верхнее основание 15×15 см, высота 20 см, нижнее основание 30×30 см. Такой трубчатый знак закладывают в котлован на глубину 50 см.

Рекомендуется закладывать знаки в пробуренные скважины диаметром 15 см. Глубина скважины 80 см. Скважину до половины глубины заливают жидким бетоном, в который вставляют отрезок металлической трубы диаметром 40 мм и длиной 100 см. Пространство между трубой и стенками скважины заполняется грунтом и тщательно трамбуется.

Наружное оформление знаков долговременного закрепления составляет кольцевая канава. Диаметр канавы по осевой линии 1 м. Поперечное сечение канавы: по нижнему основанию 10 см, по верхнему 30 см, по высоте 20 см. Над центром делается курган высотой 20 см.

В районах болот и песков окопку знаков долговременного закрепления заменяют срубом 1×1 м, состоящим из двух венцов.

На боковых стенках выступающей части железобетонного пилон или трубы масляной краской пишут начальные буквы организации, выполняющей работу, и номер точки, например: ГУГК ОП 95.

Чтобы закрепленные точки съемочного обоснования можно было видеть с соседних точек, используют вехи, которые устанавливают в непосредственной близости. Вешки — это деревянные шесты длиной 2—5 м. Их можно изготавливать централизованно. В этом случае их окрашивают через каждые 25 см в белый и красный цвет, они имеют заостренный конец, окованный железным наконечником. Обычно вешки изготавливает производитель работ из подсабного материала (удобен орешник), кору снимают шашками через каждые 25—30 см, нижний утолщенный конец заостряют.

Пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения (пункты триангуляции, полигонометрии, трилатерации и нивелирования) закрепляют фундаментально, так как их используют в течение десятилетий.

Конструкции центров различны и зависят от физико-географических условий местности (грунта и глубины его наибольшего промерзания или оттаивания) и от того, где расположен пункт. Над центрами, там, где это возможно, строят геодезические деревянные или металлические знаки — пирамиды высотой 6—12 м и сигналы высотой 5—39 м, обеспечивающие взаимную видимость между соседними пунктами *.

§ 20. МЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения длин линий на местности существуют различные мерные приборы — стальные и тесьмяные рулетки, стальные штриховые и шкаловые ленты, стальные и инварные (инвар—сплав, содержащий 63—65 % железа и 35—37 % никеля) проволоки, длиномеры и дальномеры.

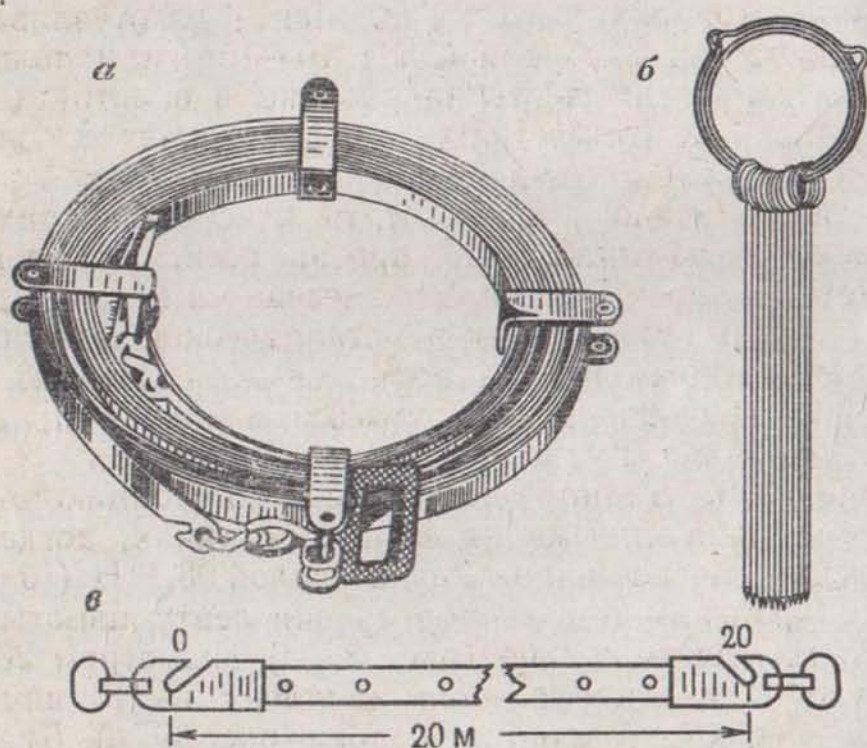


Рис. 39. Мерная лента

* Подробно о типах центров и геодезических знаках см. книгу: Полевцев В. В., Завражин П. М. Постройка геодезических знаков. М., Недра, 1980.

Таблица 6

Основные технические характеристики землемерных лент

Основные характеристики	Ленты					
	ЛЗ-20	ЛЗ-24	ЛЗ-50	ЛЗШ-20	ЛЗШ-24	ЛЗШ-50
Наименьшее деление на крайних дециметрах, мм	Нет	Нет	Нет	1	1	1
Допустимое отклонение от номинала, мм:						
всей длины ленты	± 2	± 2	± 3	± 1	± 2	± 3
делений:						
метровых	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
дециметровых	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
сантиметровых	—	—	—	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$

При измерении на поверхности земли наиболее распространенным мерным прибором является стальная 20-метровая штриховая лента ЛЗ. Лента изготавливается из ленточной стали, ее ширина 10—15 мм и толщина 0,4—0,5 мм. Концы ленты заправлены в пластины, имеющие вырезы для вставки шпилек, фиксирующих положение ленты в процессе измерения, и отверстия для крепления ручек. Начало и конец ленты отмечены штрихами, нанесенными на пластинах, против осей, вставленных в вырезы шпилек. Вся лента размечена на метры и дециметры. Каждый метр отмечен металлической пластинкой с отштампованным на ней порядковым номером от 1 до 19; полуметры отмечены круглыми заклепками; дециметры — сквозными отверстиями диаметром 2 мм (рис. 39, а, в). Длина ленты равна расстоянию между штрихами, нанесенными на ее наконечниках, когда она уложена на плоскость и натянута с силой 98,1 Н (10 кгс).

Для хранения и транспортировки ленту наматывают на металлическое кольцо (рис. 39, а) диаметром 20 см. К каждой ленте прилагается комплект из 10 шпилек, изготовленных из толстой проволоки (рис. 39, б). Диаметр шпилек должен соответствовать ширине выреза на наконечниках ленты.

Лента землемерная шкаловая ЛЗШ отличается от штриховой ленты тем, что ее крайние дециметры имеют

сантиметровые и миллиметровые деления, нанесенные путем травления (табл. 6). Шкаловые ленты служат для измерений с несколько большей точностью.

§ 21. ПОВЕРКА МЕРНЫХ ЛЕНТ (КОМПАРИРОВАНИЕ)

Длина изготовленной ленты обычно отличается от номинальной длины l_0 . Поэтому до начала измерений длину ленты надо проверить: определить поправку Δl к номинальной длине ленты l_0 . Фактическая длина рабочей ленты l_p , которой будут проводить измерения, выражается формулой

$$l_p = l_0 + \Delta l.$$

Если номинальная длина рабочей ленты 20 м, то формула примет вид

$$l_p = 20 \text{ м} + \Delta l.$$

Определение действительной длины рабочей ленты, или иначе определение поправки Δl к номинальной длине, называется **компарированием**.

Компарирование выполняют на полевом компараторе, длина которого известна или измерена при помощи нормальной ленты l_n . Длину нормальной ленты l_n определяют в лаборатории на специальном приборе — компараторе.

Полевой компаратор фиксируется на местности бетонными монолитами с металлическими пластинами или чугунными марками в верхней грани, установленными почти в уровень с поверхностью земли. Полевой компаратор измеряют рабочей лентой четырехкратно (два раза в одном направлении и два раза в обратном). При измерении компаратора рабочей лентой ее концы нужно фиксировать ножами, втыкаемыми в землю или в специально забитые деревянные колышки, против штрихов, отмечающих начало и конец ленты.

Пример. Длина полевого компаратора 77,993 м. Результаты его измерений рабочей лентой l_p : 78,01; 78,02; 78,00; 78,01; среднее значение 78,01 м. Зависимость между длиной рабочей ленты и ее номинальной длиной обратно пропорциональна зависимости длины компаратора и результатам его измерения рабочей лентой. Вследствие этого длину рабочей ленты можно определить из пропорции

$$\frac{l_p}{20,00} = \frac{77,993}{78,01},$$

откуда: $l_p = 19,996 \text{ м}$, или $l_p = 20 \text{ м} - 0,004 \text{ м}$.

Если полевого компаратора нет, то необходима нормальная лента. На ровном участке местности создают временный компаратор. Его концы закрепляют деревянными колышками, в торцы которых забивают гвозди с нарезанными на их шляпках крестиками. Обычно длина такого компаратора берется равной четырем-пяти нормальной лентам. Его длину измеряют сначала четыре раза нормальной лентой, отсчитывая миллиметры по линейке, затем так же четыре раза — рабочей лентой. При измерениях концы лент фиксируют ножами.

Пример. Длина нормальной ленты при данной температуре равна 20,002 м. Длина компаратора после четырехкратного его измерения нормальной лентой, с учетом ее фактической длины, получилась равной 120,012 м, а его длина, измеренная рабочей лентой, оказалась равной 119,72 м. Тогда

$$\frac{l_p}{20} = \frac{120,012}{119,72},$$

откуда: $l_p = 20,049$ м, или $l_p = 20 \text{ м} + 0,049$.

Если при измерениях предполагается учитывать температуру, то необходимо измерить и записать температуру, при которой проводилось компарирование.

§ 22. ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ МЕСТНОСТИ ШТРИХОВОЙ ЛЕНТОЙ

Перед измерением линии на ней нужно устранить все, что может мешать измерению (скосить или примять высокую траву, убрать камни, очистить линию от кустов и т. п.) Ленту при измерении укладывают в створе линий. С т в о р о м л и н и и называется след отвесной плоскости на местности, проходящей через конечные ее точки. Измерения выполняют два мерщика.

Если обозначить число передач при измерении линии лентой буквой n , число шпилек, собранных задним мерщиком после последней передачи, буквой m , а остаток — буквой r , то длина линии D_1 при измерении ее 20-метровой лентой с десятью шпильками выразится формулой

$$D_1 = 200n + 20m + r.$$

При измерении с пятью шпильками формула примет вид

$$D_1 = 100n + 20m + r.$$

В приведенных формулах мы вычислили длину линии D_1 , предполагая, что лента, которой проводилось измерение, имеет длину, равную 20 м. В полученную

длину линии D_1 нужно ввести поправку за неверную длину ленты.

Если рабочая лента длиннее 20 м, то в измеряемой линии она уложится меньшее число раз, чем уложилась бы лента длиной, равной 20 м. Значит, принимая рабочую ленту равной 20 м, мы получим результат уменьшенный и поправку в этом случае надо прибавлять.

В случае, когда рабочая лента короче 20 м, она в измеряемой линии уложится большее число раз, чем лента длиной, равной 20 м, и поправку в этом случае нужно вычитать.

$$D = D_1 \pm K \Delta l,$$

где K — число лент в измеряемой линии, равное $D_1 : 20$.

Пример. Длина рабочей ленты $l_p = 20$ м — 0,006. Длина линии после измерения получилась $D_1 = 456,87$ м. Найти исправленную длину D .

Решение: $K = (456,87) : 20 = 22,8$; $D = 456,87 - 0,006 \times 22,8 = 456,73$ м.

Для проверки правильности измерения каждую линию обязательно измеряют дважды: обычно в прямом и обратном направлениях. Расхождение между двумя измерениями не должно превышать 1 : 2000, т. е. 5 см на каждые 100 м измеряемого расстояния (для $D_1 = 241,23$ м допустимое расхождение с повторным измерением составит 12 см). В случае грубого расхождения (просчетов в метрах, на 20 м, на 200 м) или превышения предела 1 : 2000 измерения проводят в третий раз. Если третий результат измерений даст допустимое расхождение как с первым, так и со вторым измерением, то среднее значение вычисляют из всех трех измерений; при допустимом расхождении только с одним результатом среднее вычисляют из двух измерений, а отскочивший третий результат бракуют.

§ 23. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ

Для составления планов и карт надо знать не длину измеренной на местности линии D , расположенной под каким-то углом к горизонту, а ее горизонтальное проложение s . Из § 1 мы уже знаем, что горизонтальное проложение

$$s = D \cos v.$$

Горизонтальное проложение линии можно также получить путем вычисления поправки за наклон ΔD . Поправка за наклон вычисляется по формуле

$$\Delta D = s - D = 2D \sin^2 v/2.$$

Поправка всегда вводится со знаком минус (катет меньше гипотенузы).

По первой формуле вычисления можно проводить при помощи арифмометра и таблиц натуральных значений тригонометрических функций или микрокалькулятора. При работе с микрокалькулятором первоначально минуты угла наклона v нужно перевести в доли градуса, для чего минуты делят на 60. Затем, набрав угол наклона в градусах, нажатием клавиши \cos получают значение косинуса угла наклона и, не сбрасывая его, умножают на длину линии.

Для вычисления поправок пользуются специальными таблицами.

Пример. На местности измерена линия. Ее длина $D = 246,58$ м. Угол наклона на всю линию $v = 4^\circ 25'$.

При решении при помощи микрокалькулятора

$$4^\circ 25' = 4,417^\circ;$$

$$s = 246,58 \cdot \cos 4,417^\circ = 245,85 \text{ м.}$$

Углы наклона v измеряют теодолитом. Это особенно удобно, когда измеряемая линия имеет один угол наклона.

Если измеряемая линия содержит участки с различными углами наклона, то в этом случае нужно измерять углы наклона каждого участка. Каждый участок приводят к горизонту. В этих случаях для измерения углов наклона удобнее пользоваться специальным прибором — эклиметром (описание устройства и проверки эклиметра см. [4, § 43]).

§ 24. ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЛИНИЙ ЛЕНТОЙ

Измерение линий лентами сопровождается погрешностями. Рассмотрим источники погрешностей и способы ослабления их влияния на точность измерения.

Источники погрешностей: 1) компарирование ленты; 2) определение горизонтального проложения линии; 3) непостоянство температуры ленты; 4) неравномерное натяжение ленты; 5) уклонение ленты от створа измеряемой линии; 6) провисание или прогибы ленты, вызванные

неровностями местности; 7) неточности фиксирования концов ленты (установки шпилек); 8) отсчеты остатков (части ленты).

Поставим себе задачу — свести влияние всех перечисленных источников погрешностей к точности измерения линий 1 : 2000 и укажем условия, при которых такая точность будет обеспечена.

1. Погрешность компарирования ленты должна быть менее 2 мм. При соответствующей методике, изложенной в § 21, требуемая точность обеспечивается.

Для обеспечения точности измерения 1 : 2000 поправку к номинальной длине 20 м ленты вводят в длину линии, если эта поправка более 2 мм, т. е. если ее влияние на длину измеряемой линии более чем 1 : 10 000.

2. Погрешность в определении горизонтальных проложений линий является результатом точности измерения угла наклона. Точность измерения угла наклона должна быть тем выше, чем больше угол наклона линии и чем длиннее сама линия.

Углы наклона измеряют вертикальным кругом теодолита одним приемом или эклиметром в прямом и обратном направлениях.

Если угол наклона менее $1,5^\circ$, то разница между длиной линии и ее горизонтальным проложением мала и поправку за наклон линии можно не вводить.

3. Поправку за изменение длины ленты под влиянием температуры подсчитывают по формуле

$$\Delta l_t = \alpha D (t_{\text{изм}} - t_{\text{к}}),$$

где $\alpha = 0,0000125$ — коэффициент линейного расширения стали. Можно запомнить, что длина 20 м стальной ленты изменяется на $\pm 0,25$ мм при изменении температуры на $\pm 1^\circ$; $t_{\text{изм}}$ — температура, при которой проводились измерения; $t_{\text{к}}$ — температура, при которой проводили компарирование; D — измеренная длина линии.

Поправку за изменение длины ленты от температуры вследствие малости можно не вводить, если $(t_{\text{изм}} - t_{\text{к}}) \leq 8^\circ\text{C}$.

4. Для обеспечения точности измерения 1 : 2000 натяжение ленты при измерении не должно отличаться от ее натяжения при компарировании более 147,15 Н (15 кгс). Практически такая точность натяжения полностью обеспечивается при натяжении ленты руками. Применение динамометра не вызывает необходимости.

5. Предельное отклонение ленты от створа измеряемой линии не должно превышать 30 см. Такое отклонение от створа легко обнаруживается на глаз. Однако для ослабления влияния этой погрешности ленту надо укладывать возможно точнее в створе линии.

6. Погрешности от провисания или прогиба ленты, вызванные неровностями местности, обеспечат точность измерения 1 : 2000, если стрелка провисания или прогиба ленты или ее части не будет превышать 14 см. Благоприятной для измерения поэтому служит ровная местность.

7. Погрешность от неточного фиксирования концов ленты может оказаться достаточно ощутимой. Поэтому диаметр шпилек должен соответствовать ширине вырезов на концах ленты. Устанавливать шпильки после натяжения ленты нужно отвесно, а втыкать в землю надежно и крепко. В этом смысле благоприятны для измерения твердые грунты.

8. Точность отсчета остатков должна быть не ниже 1 см (сантиметры мы отсчитываем на глаз, деля дециметр на десять частей). Это особенно существенно на коротких линиях (менее 100 м). При коротких линиях целесообразней пользоваться лентами ЛЗШ.

§ 25. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ МЕСТНОСТИ ЛЕНТАМИ

На точность измерения линий лентами на земле очень большое влияние оказывают характер грунта, неровности местности и растительность.

Местность ровная с твердым грунтом, скошенный луг, обочина дороги и т. д. при соблюдении всех рекомендаций (см. § 24) обеспечивает точность результата измерений с относительной погрешностью, не превышающей 1 : 2000.

На местности неровной (с наличием бугров или кочек) со слабым грунтом (пашня, песок, заболоченные участки) результаты измерения получают с меньшей точностью, с относительной погрешностью 1 : 1000.

Точность измерения линий лентой на земле может быть повышена. Результаты измерений получаются с относительной погрешностью 1 : 5000 в случае, если: 1) измерение ведется с постоянно ровным натяжением — динамометром; 2) вводятся поправки в результате измерения за компарирование, температуру и наклон линии без каких-либо исключений; 3) точно фиксируются при изме-

рениях концы лент. Фиксацию концов проводят на торцах забиваемых деревянных колышков (карандашом, иглами или ножами); 4) используют ленты ЛЗШ или остатки отсчитывают при помощи линейки (не на глаз).

Для получения больших точностей требуются подвесные мерные приборы.

Практические занятия. Обработка материалов компарирования. Обработка материалов измерения линий.

Глава 6

ТЕОДОЛИТ И ТЕОДОЛИТНЫЕ РАБОТЫ

§ 26. НАЗНАЧЕНИЕ ТЕОДОЛИТНЫХ РАБОТ И ТЕОДОЛИТНЫЕ ХОДЫ

Имеющихся пунктов государственных геодезических сетей и геодезических сетей сгущения недостаточно для выполнения топографических съемок. Для сгущения государственной геодезической плановой и высотной основы до плотности, обеспечивающей выполнение топографических съемок, создают геодезическое съемочное обоснование. Съемочное обоснование создается для съемки определенного масштаба и поэтому отличается от государственных геодезических сетей и сетей сгущения точностью и закреплением на местности.

Точность пунктов съемочного обоснования зависит от масштаба съемки и высоты сечения рельефа.

Для создания съемочного обоснования при мензульной, тахеометрической и аэрофототопографической съемках различных масштабов прокладывают теодолитные ходы.

Теодолитные ходы представляют собой построенные на местности многоугольники. В этих многоугольниках должны быть измерены все стороны и горизонтальные углы между ними. Углы измеряют теодолитами со средней квадратической погрешностью измерения от 5 до 30" одним приемом.

Стороны измеряют 20-метровыми стальными лентами, оптическими дальномерами двойного изображения, редуccionными тахеометрами двойного изображения ТД (СССР) и Редта 002 (ГДР) и длиномерами типа АД.

Таблица 7

Предельные допустимые длины отдельных разомкнутых теодолитных ходов между исходными пунктами

Масштаб съемки	Предельная длина хода, км		Масштаб съемки	Предельная длина хода, км	
	Относительная погрешность			Относительная погрешность	
	1 : 2000	1 : 1000		1 : 2000	1 : 1000
1 : 500	0,6	0,3	1 : 5 000	6,0	3,0
1 : 1000	1,5	1,0	1 : 10 000	10,0	8,0
1 : 2000	3,0	1,5	1 : 25 000	25,0	20,0

Теодолитные ходы (табл. 7) по точности подразделяются на два разряда: 1 разряда, прокладываемые с относительной погрешностью не менее 1 : 2000, и 2 разряда — с относительной погрешностью не менее 1 : 1000.

В системе теодолитных ходов предельные расстояния от узловых точек до исходных пунктов и между узловыми точками должны быть на 30 % меньше приведенных в табл. 7.

Допускаются теодолитные ходы в виде замкнутых полигонов, опирающихся на один исходный пункт. Предельные допустимые длины таких ходов приведены ниже:

Масштаб съемки	Предельная длина, км
1 : 500	0,2
1 : 1 000	0,3
1 : 2 000	0,4
1 : 5 000	1,0
1 : 10 000	2,0
1 : 25 000	5,0

Как исключение, в отдельных случаях допускается проложение висячих теодолитных ходов, длина которых приведена в табл. 8.

При этом число линий в висячих теодолитных ходах должно быть не более:

- на застроенной территории и при масштабе съемок 1 : 10 000 и 1 : 25 000 — четырех;
- на незастроенной территории — трех.

Длины линий в теодолитных ходах не должны быть более 1000 м (при съемках масштаба 1 : 5000 и крупнее — 350 м) и менее 20 м (при съемках масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000 — 100 м).

Таблица 8

Предельные длины висячих теодолитных ходов, м

Масштаб съемки	На территории		Масштаб съемки	На территории	
	за- строен- ной	неза- строен- ной		за- строен- ной	неза- строен- ной
1 : 500	100	150	1 : 5 000	300	500
1 : 1000	150	200	1 : 10 000	1000	1000
1 : 2000	200	300	1 : 25 000	2500	2500

Теодолитные ходы должны прокладываться на местности, удобной для линейных измерений, особенно когда линии измеряют 20-метровыми стальными лентами (см. § 25). Поворотные точки ходов нужно выбирать с расчетом видимости с высоты теодолита поверхности земли на соседних точках (предшествующей и последующей), обеспечения удобства установки прибора и хорошего обзора для проведения съемки.

§ 27. ТЕОДОЛИТЫ И ПРИНЦИП ИХ УСТРОЙСТВА

Т е о д о л и т — геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности, для измерения азимутов и для определений расстояний по дальномеру.

Современные теодолиты создаются по одной принципиальной схеме, вытекающей из принципов измерения горизонтальных и вертикальных углов. Заданную точность результатов измерений изменяют только конструкция отдельных частей теодолитов и способы соединения этих частей между собой.

Любой теодолит состоит из следующих основных частей: подставки, горизонтального круга с алидадой, вертикального круга с алидадой, зрительной трубы и двух осей вращения (вертикальной и горизонтальной).

Подставка 6 с тремя подъемными винтами 7 — нижняя часть теодолита, служащая для его установки на штативе или столике сигнала и горизонтирования (рис. 40).

Горизонтальный круг 4 с алидадой 2 имеет круговую шкалу — лимб с делениями через равные промежутки дуги (1° , $20'$ и $10'$) и служит для измерения горизонтальных углов. Горизонтальный круг укреплен на верхней

части втулки 5, которая вращается вокруг промежуточной втулки 8. Алидада горизонтального круга 2 фиксирует положение отвесной плоскости на горизонтальном круге и скреплена с цилиндрической полый вертикальной осью 3 теодолита. Ось алидады вращается в промежуточной втулке 8. На верхней части алидады укреплен цилиндрический уровень 1, позволяющий устанавливать горизонтальный круг и алидаду горизонтально. На верхней части алидадного круга укреплены колонки 9, несущие горизонтальную ось прибора 10.

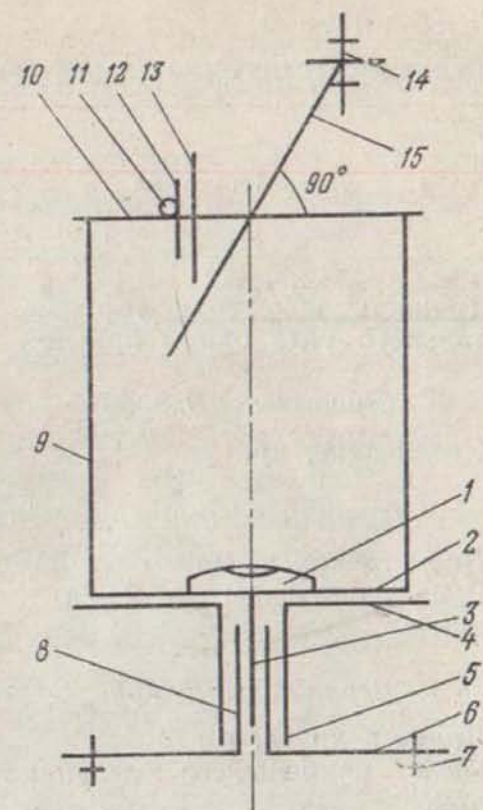


Рис. 40. Схема устройства теодолита

Вертикальный круг 13 с алидадой 12 предназначен для измерения вертикальных углов. Вертикальный круг также имеет круговую шкалу — лимб с делениями через равные промежутки дуги, наглухо укреплен на горизонтальной оси прибора 10 и вращается вместе с ней. Алидада вертикального круга практически неподвижна. Для отсчета по вертикальному кругу алидаду устанавливают в определенное положение по контактному уровню 11. Зрительная труба наглухо скреплена с горизонтальной осью прибора и предназначена для визирования на предметы. Для наведения на предмет зрительная труба имеет визирную ось (воображаемую прямую, соединяющую центр объектива с пересечением основных штрихов сетки нитей) 15 и сетку нитей 14. Основные штрихи сетки нитей предназначены для наведения зрительной трубы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Визирная ось 15, вращаясь, должна образовывать отвесную коллимационную плоскость, положение которой фиксирует алидада на лимбе горизонтального круга.

Исходя из принципов измерения горизонтальных углов (при помощи теодолита должны получаться непосредственно горизонтальные проекции углов на местности),

Таблица 9

Основные технические характеристики теодолитов

Характеристика	Марки				
	T5	T15	T30	TT-4	2T5K
Точность измерения горизонтального угла одним приемом	5"	15"	30"	10"	5"
<i>Зрительная труба</i>					
Увеличение, крат	27	25	20	25	27,5
<i>Горизонтальный круг</i>					
Диаметр круга, мм	95	76	72	70	95
Цена наименьшего деления лимба	1°	1°	10'	20'	1°
<i>Вертикальный круг</i>					
Диаметр круга, мм	70	72	72	55	70
Цена наименьшего деления лимба	1°	1°	10'	20'	1°
<i>Цена деления уровня</i>					
(секунд на 2 мм):					
на алидаде горизонтального круга	30	45	45	35—55	30
на алидаде вертикального круга	15	30	Нет	25—35	Нет

в теодолите должны быть соблюдены следующие геометрические условия.

1. Вертикальная ось теодолита должна быть в отвесном положении и проходить через вершину измеряемого угла.

2. Плоскость горизонтального круга должна быть горизонтальна.

Эти два условия выполняются оптическим центриром и уровнем при алидаде горизонтального круга.

3. Коллимационная плоскость при любых поворотах алидады должна быть отвесна. Для этого необходимо, чтобы: а) визирная ось зрительной трубы была перпендикулярна к горизонтальной оси прибора; б) горизонтальная ось прибора была перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.

4. Сетка нитей должна быть расположена так, чтобы вертикальный ее штрих лежал в коллимационной плоскости.

5. Центры вращения горизонтального круга и алидады и центр лимба должны совпадать (чтобы не было эксцентриситета).

В настоящее время отечественная промышленность выпускает только оптические теодолиты, характеризующиеся малыми габаритами и массой, стеклянными кругами, цилиндрическими осями, хорошим постоянством геометрических условий и большой точностью отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам (табл. 9). Согласно ГОСТ 10529—79, выпускаются следующие теодолиты: высокоточный Т1, точные Т2, Т5 и технические Т15, Т30.

Цифра после буквы Т обозначает среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла в секундах, измеренного одним приемом в лабораторных условиях (по результатам измерения угла 12 приемами). Таким образом, эта погрешность не является реальной точностью угловых измерений на местности, а характеризует сравнительную точность приборов.

Наряду с вышеперечисленными теодолитами в практике геодезических работ применяются теодолиты ТТ-4 и 2Т5К.

§ 28. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ УРОВНИ

Для приведения осей или плоскостей геодезических приборов в горизонтальное или отвесное положение и для наблюдения за положением приборов в процессе измерений используют жидкостные уровни. Жидкостные уровни делят на цилиндрические и круглые (рис. 41).

Ц и л и н д р и ч е с к и е у р о в н и (рис. 41, а) имеют ампулу, внутреннюю поверхность которой получают при вращении дуги окружности определенного радиуса вокруг хорды, стягивающей эту дугу. Точка в средней части поверхности ампулы называется н у л ь - п у н к т о м. На наружной поверхности ампулы нанесены деления размером 2 мм. Когда концы пузырька уровня размещаются симметрично нуль-пункту, то говорят, что пузырек находится в нуль-пункте.

Воображаемая прямая, касательная к дуге продольного сечения внутренней поверхности ампулы в нуль-

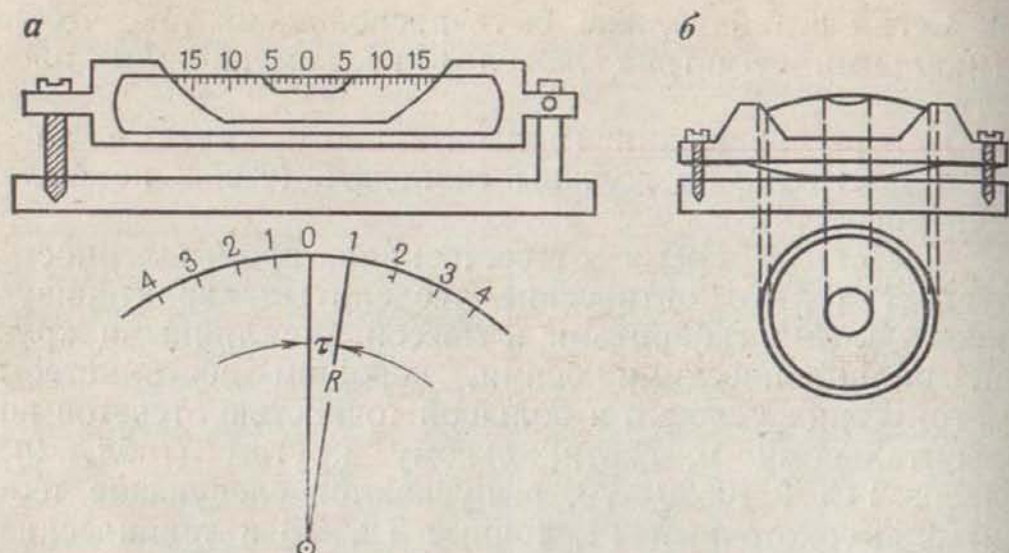


Рис. 41. Уровни

пункте, называется осью цилиндрического уровня. Когда пузырек уровня находится в нуль-пункте, ось его занимает горизонтальное положение. Центральный угол τ (см. рис. 41, а), соответствующий дуге в одно деление ампулы, называется ценой деления уровня. Чем больше радиус дуги ампулы, тем меньше угол τ и тем чувствительнее уровень.

Имеются следующие виды цилиндрических уровней; 1) камерный, ампула которого имеет камеру для регулирования длины пузырька; 2) компенсированный со стабилизацией длины пузырька при изменении температуры, которая достигается тем, что внутрь ампулы уровня помещается стеклянная палочка или запаянная трубка; 3) контактный с системой призм, позволяющих получать совмещенное изображение концов его пузырька; 4) реверсивный со шкалами на двух диаметрально противоположных сторонах ампулы.

Круглые уровни (рис. 41, б) имеют ампулу в виде полого цилиндра, внутренняя сторона крышки которой является частью сферической поверхности. На наружной части стеклянной крышки нанесено несколько окружностей с общим центром, который является нуль-пунктом. Воображаемая прямая — нормаль к внутренней сферической поверхности ампулы в нуль-пункте — называется осью круглого уровня. Когда пузырек уровня находится в нуль-пункте, ось его занимает отвесное положение.

§ 29. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Назначение зрительных труб — отчетливо видеть удаленные предметы. Однако для производства измерений зрительную трубу нужно наводить (визировать) на вполне определенную точку предмета. Для этого зрительные трубы геодезических приборов должны иметь сами постоянную точку, которой и осуществляется визирование.

В начале текущего столетия была изобретена зрительная труба с внутренним фокусированием. В настоящее время ею оснащены все геодезические приборы (рис. 42). Эти зрительные трубы имеют сложный объектив 1, отрицательную линзу 2, входящую в систему объектива, сетку нитей 5 и сложный окуляр 6. Рассеивающая линза 2 установлена в патрубке 3, который может перемещаться вдоль трубы при помощи фокусирующего кольца 4 или фокусирующей рукоятки. Перемещая фокусирующую линзу 2, добиваются такого ее положения, при котором изображение рассматриваемого предмета, даваемое объективом, совместится с плоскостью неподвижной сетки нитей 5.

Рассматриваемый предмет должен быть отчетливо виден. Окуляр 6 установлен в окулярной трубочке 7. Вращая окулярную трубочку, можно несколько перемещать окуляр вдоль оптической оси трубы, изменяя этим расстояние между ним и сеткой нитей. Изображение сетки нитей должно быть отчетливым.

Во всех зрительных трубах геодезических приборов для производства измерений установлены нарезанные на стекле сетки нитей. Основные штрихи сетки нитей нарезаны в виде двух перпендикулярных между собой линий. Кроме основных на стекле нарезают еще крайние, так

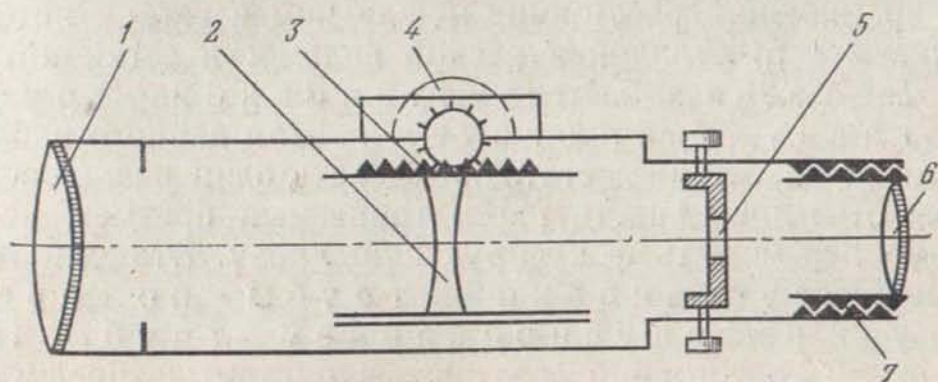


Рис. 42. Схема зрительной трубы

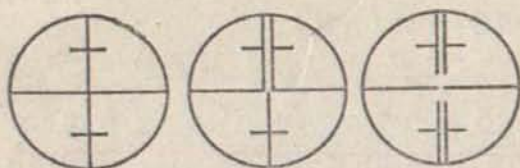
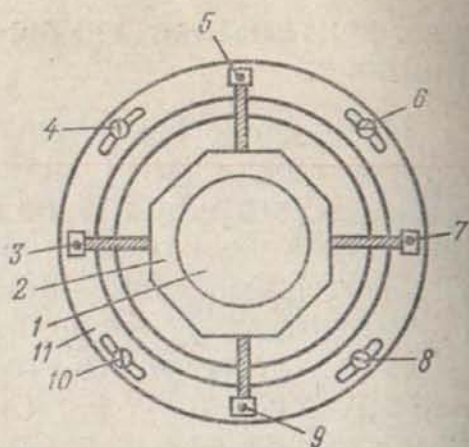


Рис. 43. Сетки нитей

Рис. 44. Схема крепления сетки нитей в зрительной трубе



называемые дальномерные штрихи, предназначенные для определения расстояний по рейке (рис. 43). Для повышения точности визирования и устранения влияния на него толщины штрихов их в ряде случаев заменяют близко расположенными параллельными штрихами — биссектором. При визировании на предмет изображение должно располагаться в середине биссектора.

Сетка нитей 1 (рис. 44), укрепленная в металлическом кольце 2, крепится к корпусу трубы при помощи четырех юстировочных винтов: горизонтальных 3 и 7 и вертикальных 5 и 9. Благодаря такому креплению она может в небольших пределах перемещаться в боковом направлении и по высоте путем поворота двух горизонтальных или вертикальных винтов.

Окулярная трубочка совместно с сеткой нитей крепится к корпусу трубы 11 винтами 4, 6, 8 и 10. Если ослабить эти четыре винта, то окуляр и сетка нитей могут немного вращаться вокруг оптической оси. Колпачок закрывает исправительные винты сетки нитей.

Наблюдателю при наведении зрительной трубы на предмет необходимо одновременно отчетливо видеть штрихи сетки нитей и наблюдаемый предмет. Перемещая окуляр (изменяя расстояние между ним и сеткой нитей), добиваются отчетливой и резкой видимости сетки нитей. Это действие называется установкой трубы по глазу наблюдателя. Для данного наблюдателя это действие достаточно сделать один раз. Теперь, чтобы отчетливо видеть рассматриваемый предмет, необходимо перемещать фокусирующую линзу. Это действие называется установкой трубы по предмету или фокусированием трубы. При изменении расстояний до рассматриваемых предметов фокусировку трубы приходится поправлять.

При точном фокусировании трубы плоскость изображения предмета, полученного посредством объектива, должна совпадать с плоскостью сетки нитей. При недостаточно точном фокусировании трубы совпадение этих плоскостей не произойдет, хотя рассматриваемый предмет и будет виден четко и ясно. Вследствие неточного фокусирования трубы возникает п а р а л л а к с с е т к и н и т е й. Если имеет место параллакс сетки нитей, то при небольших перемещениях глаза наблюдателя у окуляра по высоте или в боковом направлении перекрестие сетки нитей будет смещаться по изображению (покрывать разные точки изображения). Производить измерения при наличии параллакса сетки нитей зрительной трубой нельзя: параллакс вызовет ошибку визирования.

Закончив фокусирование трубы, слегка перемещают глаз около окуляра. При этом перемещении перекрестие сетки нитей должно покрывать одну и ту же точку изображения. Параллакс устраняют исправлением фокусирования трубы.

§ 30. ОТСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЕОДОЛИТОВ

Лимбы теодолитов имеют равные деления, величина которых колеблется у разных теодолитов от 1° до $10'$. Это наименьшие деления лимба, обычно обозначаемые i . Отсчеты же при измерении углов необходимо проводить с более высокой степенью точности. Поэтому все теодолиты снабжены приспособлениями для отсчета долей наименьших делений лимбов. Отсчетные приспособления состоят из двух частей: устройства для оценки долей наименьших делений лимба и микроскопа, служащего для увеличения изображения его делений. Для оценки долей наименьших делений лимба используют три устройства отсчетных приспособлений: штриховой микроскоп (теодолит Т30), шкаловой микроскоп (теодолиты Т15, Т5 и 2Т5К) и оптический микрометр (теодолит ТТ-4).

В теодолите Т30 доли наименьшего деления лимба оцениваются по неподвижному индексу (штриху). Такое отсчетное приспособление позволяет отсчитывать десятые доли наименьшего деления лимба. Цена наименьших делений лимбов обоих кругов в теодолите Т30— $10'$. Подписаны только наиболее удлиненные градусные деления. Подписи на обоих лимбах идут против хода часовой стрелки. В поле зрения штрихового микроскопа (рис. 45)

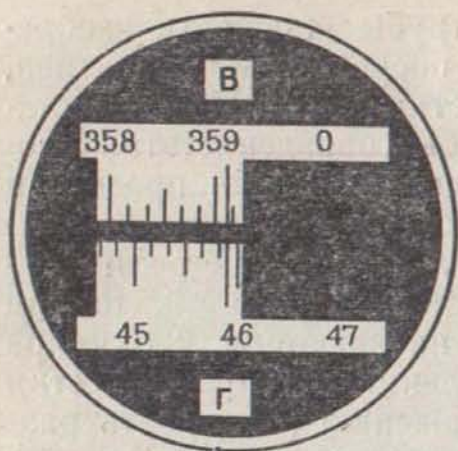


Рис. 45. Поле зрения штрихового микроскопа теодолита Т30

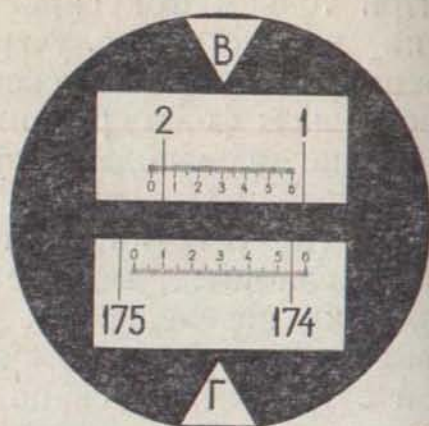


Рис. 46. Поле зрения шкалового микроскопа теодолитов Т15 и Т5

одновременно видны изображения штрихов лимба горизонтального круга, отмеченные буквой «Г», и изображения штрихов лимба вертикального круга, отмеченные буквой «В». Штрихи обоих лимбов разделены перемычкой. Отсчетный индекс находится в центре поля зрения. Изображение штрихов, не участвующих в отсчетах, для удобства отсчитывания закрыто диафрагмой.

На рис. 45 отсчет по горизонтальному кругу равен $45^{\circ} 53'$, отсчет по вертикальному кругу равен $359^{\circ} 08'$.

В теодолитах Т15, Т5 и 2Т5К в качестве отсчетного приспособления используется шкаловой микроскоп. В поле зрения микроскопа этих теодолитов также видны одновременно изображения обоих лимбов. Изображение штрихов лимба горизонтального круга отмечено буквой «Г», вертикального — буквой «В».

Величина наименьшего деления лимбов 1° . Градусные деления подписаны по ходу часовой стрелки. Для отсчитывания по кругам в теодолитах Т5 и Т15 (рис. 46) имеются две шкалы, разделенные на 60 делений. Длина всей шкалы соответствует одному наименьшему делению лимба. Таким образом, одно деление шкалы микроскопа соответствует $1'$. Каждое десятое деление шкалы (десятки минут) удлинено и подписано: 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Индексом для отсчетов на шкале служат штрихи градусных делений лимба. Погрешность отсчета по шкале $0,1'$ ($6''$).

На рис. 46 отсчет по горизонтальному кругу равен $174^{\circ} 55'$, отсчет по вертикальному кругу $2^{\circ} 06'$.

У теодолитов 2Т5К шкаловые микроскопы аналогичны микроскопам теодолитов Т15 и Т5. Однако для упроще-

ния вычислений вертикальных углов вертикальные лимбы оцифрованы не так, как в теодолитах Т15 и Т5 (по секторам от 0 до $\pm 75^\circ$). Имеется возможность непосредственного отсчета углов наклона. Шкала для вертикального круга имеет два ряда цифр десятков минут. По нижнему ряду, в котором все цифры имеют знак минус, берут отсчет в том случае, когда в пределах шкалы находится штрих вертикального круга с тем же знаком. Весь отсчет (угол наклона) будет в этом случае со знаком минус. На рис. 47 отсчет по горизонтальному кругу равен $146^\circ 03,5'$, по вертикальному кругу — минус $0^\circ 23,6'$.

В теодолите ТТ-4 в качестве отсчетного приспособления используется оптический микрометр.

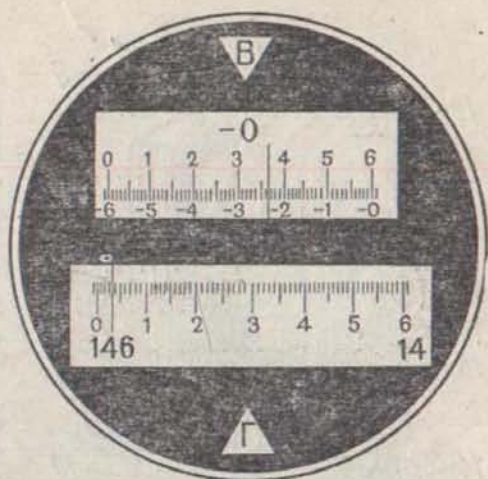


Рис. 47. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т5К

§ 31. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ

Теодолит Т30 относится к угломерным повторительным приборам технической точности. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приемом при измерении способом круговых приемов равняется $30''$, при измерении способом повторений (три повторения) — $15''$. Теодолит удобен для работы в труднодоступных и горных районах.

Зрительная труба 1 (рис. 48) переводится через зенит объективом и окуляром. Сетку нитей по глазу устанавливают вращением диоптрийного конца окуляра 6, фокусирование зрительной трубы — вращением головки 4. Исправительные винты сетки нитей находятся под колпачком 5.

Приблизительно от руки зрительную трубу прибора наводят на предмет перекрестием оптического визира 2. Оптические визиры расположены с двух сторон трубы 1. Глаз наблюдателя при этом должен располагаться в 20—25 см от визира. После этого закрепляют горизонтальный круг, алидаду и трубу винтом 3. Головки закрепительных устройств горизонтального круга (расположенного в под-

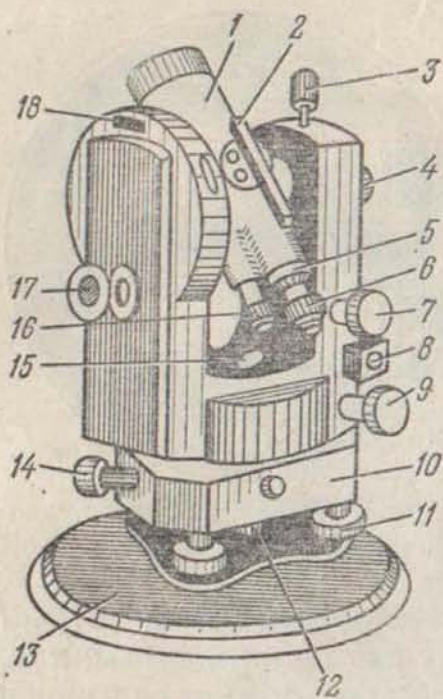


Рис. 48 Теодолит Т30

ставке теодолита) и алидады (расположенной под цилиндрическим уровнем) на рис. 48 не видны. Точное наведение зрительной трубы на предмет проводят по азимуту головкой 14 наводящего устройства горизонтального круга или алидады 9, по высоте — головкой 7.

Подставка теодолита 10 несъемная, жестко с ним связана. Три подъемных винта 11 шарнирно связаны с дном упаковочного футляра 13, который служит основанием теодолита. Такое устройство позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива.

В нижней части одной из колонок установлен цилиндрический уровень 8. Расположение уровня на колонке параллельно коллимационной плоскости прибора вызвано необходимостью контролировать положение теодолита при измерении вертикальных углов. Уровня при алидаде вертикального круга в этом теодолите нет.

На другой колонке прибора расположены паз 18 для установки ориентир-буссоли и зеркало 17, предназначенное для освещения делений кругов и передачи их изображения в окуляр отсчетного микроскопа 16.

Теодолит имеет полую вертикальную ось с отверстием 15 и отверстие в дне футляра 12. Этим обеспечена возможность центрирования теодолита над точкой при помощи зрительной трубы, устанавливаемой для этого вертикально объективом вниз. Для удобства в работе (чтобы не устанавливать теодолит излишне низко для центрирования) при этом используют окулярную насадку.

Теодолит Т30 имеет одноканальную оптическую схему отсчетной системы. Отсчитывание проводится по одной стороне кругов. Лучи света, отразившись от зеркала 1 (рис. 49), через матовое стекло 2 освещают деления лимба вертикального круга 3 и с изображением штрихов лимба вертикального круга, преломившись в призме 4 через систему линз 5 и 6, освещают деления лимба горизонталь-

ного круга 9. Далее при помощи призмы 8, линзы 7 и призмы 10 изображения обоих кругов передаются в линзу 11, на плоской поверхности которой нанесены индекс для отсчитывания и диафрагма. Затем изображения штрихов и отсчетного индекса через пентапризму 12 и линзу 13 поступают в микроскоп, который состоит из объектива 14 и окуляра 15.

Формулы для вычисления места нуля M_0 и угла наклона v имеют вид

$$M_0 = (КЛ + КП + 180^\circ) : 2;$$

$$v = КЛ - M_0 = M_0 - КП - 180^\circ = (КЛ - КП - 180^\circ) : 2,$$

где КЛ — отсчет при круге лево; КП — отсчет при круге право.

Пользуясь этими формулами к величинам КЛ, КП и M_0 , если они менее 90° , следует предварительно прибавить 360° .

Пример. При наблюдении на одну и ту же точку местности по вертикальному кругу получены отсчеты: $КЛ = 359^\circ 46'$, $КП = 180^\circ 18'$.

$$M_0 = (359^\circ 46' + 180^\circ 18' + 180^\circ 00') : 2 = 0^\circ 02';$$

$$v = 0^\circ 02' + 360^\circ 00' - 180^\circ 18' - 180^\circ 00' = -0^\circ 16';$$

$$v = (359^\circ 46' - 180^\circ 18' - 180^\circ 00') : 2 = -0^\circ 16'.$$

Теодолит Т15 — повторительный прибор технической точности. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приемом (при измерении способом круговых приемов) не более $15''$.

Теодолит предназначен для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при привязке аэрофо-

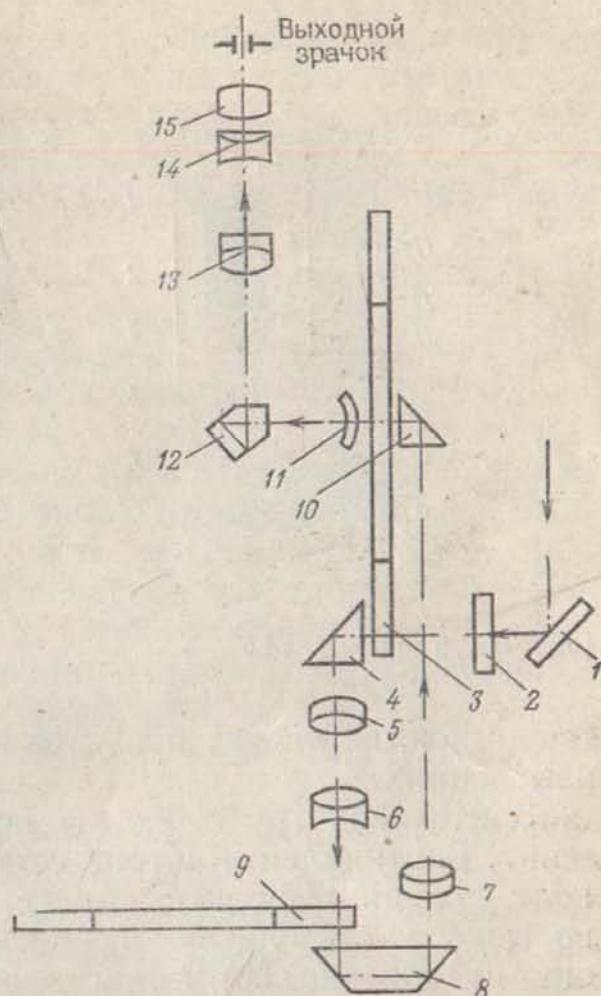


Рис. 49. Схема оптической системы теодолита Т30

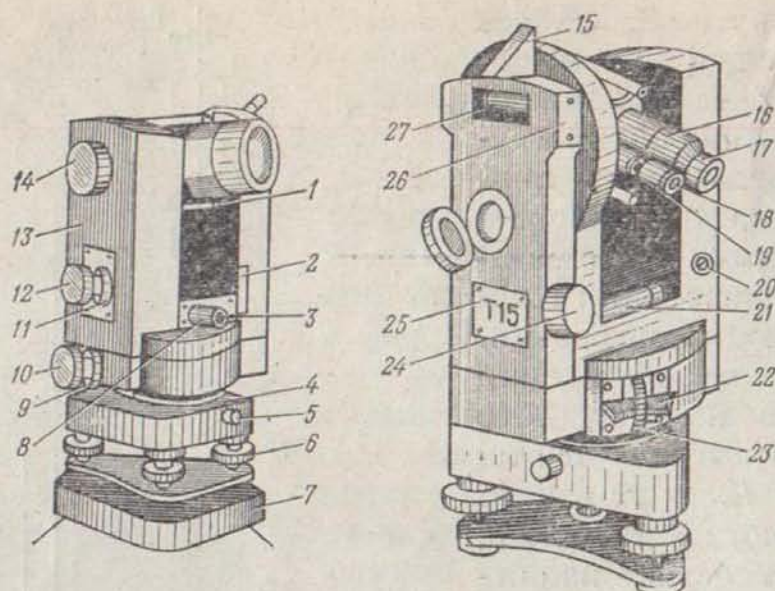


Рис. 50. Теодолит Т15

тоснимков, переносах проектов в натуру и при различных изысканиях.

Зрительная труба обоими концами переводится через зенит. Вертикальный штрих сетки нитей в одной половине поля зрения выполнен в виде биссектора. Сетку нитей по глазу устанавливают вращением диоптрийного кольца окуляра 17 (рис. 50), фокусирование зрительной трубы — вращением головки 14.

Предварительно зрительную трубу наводят на цель при помощи оптического визира 1. Оптические визиры расположены по обе стороны зрительной трубы. После этого закрепляют закрепительные устройства алидады горизонтального круга рукояткой (курком) 9 и трубы — 11. Точное наведение на цель производят по азимуту головкой наводящего устройства 10 алидады, по высоте — головкой 12. Закрепительные и наводящие устройства алидады и трубы соосны и расположены на одной колонке 13.

Подставка теодолита 4 съемная, что позволяет наблюдать углы по трехштативному способу. Теодолит закрепляют в подставке винтом с головкой 5. Подъемные винты 6 закрытой конструкции, предохраняющей резьбу от загрязнения и повреждения. Для приведения вертикальной оси теодолита в отвесное положение алидада горизонтального круга снабжена цилиндрическим уровнем 21. Уровень имеет исправительный винт 20.

Алидада вертикального круга снабжена цилиндрическим уровнем 27. Перемещение алидады для контактирования уровня осуществляется головкой наводящего устройства 24. За положением пузырька уровня при этом наблюдают при помощи зеркала 15, которое можно вращать вокруг его оси.

Теодолит снабжен повторительным устройством. Нажатием клавиши 22 горизонтальный круг скрепляют с алидадой. Нажатием фиксатора 23 горизонтальный круг освобождают, и он остается неподвижным при вращении алидады.

В пустотелой вертикальной оси теодолита расположен объектив оптического центрира. Его окулярная часть 3 закреплена в алидадной части теодолита.

Теодолит устанавливают на головке штатива 7.

При помощи оптической системы изображение штрихов кругов передается в поле зрения отсчетного микроскопа 18, расположенного рядом со зрительной трубой. Вращением диоптрийного кольца 19 окуляр микроскопа устанавливают по глазу.

Кроме указанного юстировочного винта 20 уровня при алидаде горизонтального круга теодолит имеет: юстировочные винты сетки нитей, закрытые колпачком 16; юстировочные винты уровня вертикального круга, закрытые крышкой 26; юстировочные винты оптического отвеса, закрытые крышкой 8; винты, устраняющие параллакс горизонтального круга, закрытые крышкой 25, и вертикального круга, закрытые крышкой 2 (когда параллакс между штрихами лимбов кругов и шкалами микроскопа затрудняет отсчитывание); винты, юстирующие рен микроскопа горизонтального круга, закрытые той же крышкой 25.

В теодолите Т15 оптическая система одноканальная. Отсчитывание проводится по одной стороне кругов. Лучи света, отразившись при помощи поворотного зеркала 1 (рис. 51), проходят через иллюминатор 2 и освещают штрихи лимба вертикального круга 3. Далее пучок лучей изменяет направление в призме 4 и, пройдя через линзы 5 и 6, освещает штрихи лимба горизонтального круга 10. Затем при помощи оптической системы призм 9 и 11 и линз 8 и 7 изображения штрихов вертикального и горизонтального кругов передаются в плоскость шкалы отсчетного микроскопа, расположенной на коллективе 12. Изображение штрихов лимбов и шкалы, изменив направ-

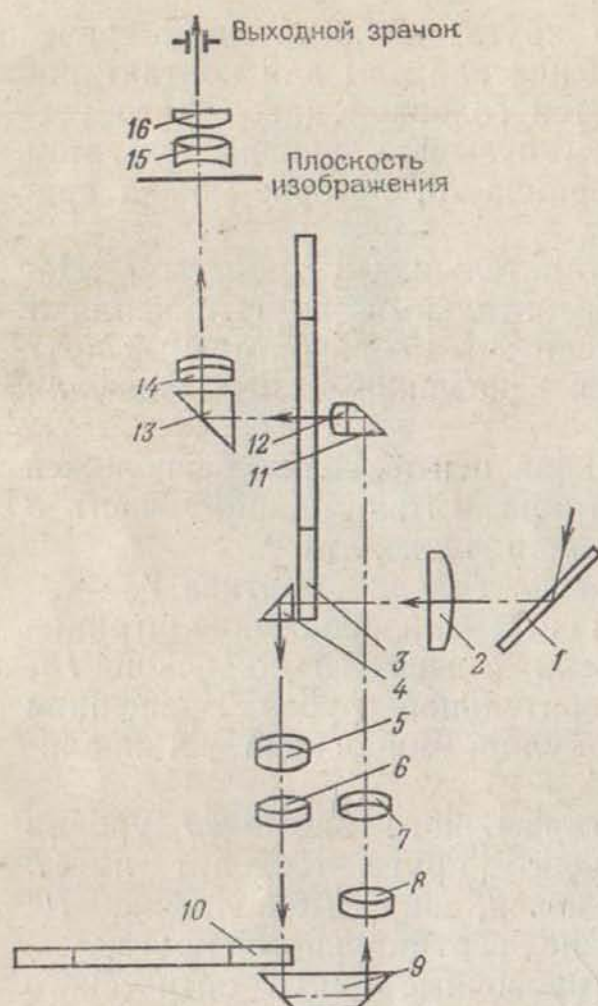


Рис. 51. Схема оптической системы теодолита Т15

мационной зрительной трубой. Конструкция теодолита Т5 и его оптическая система во многом сходны с конструкцией и оптической системой теодолита Т15. Теодолит Т5К подробно описан и иллюстрирован в работе [4].

Формулы для вычисления M_0 для теодолита Т5 те же, что и для теодолитов Т30 и Т15.

В 1977 г. теодолиты Т5 и Т5К были заменены приборами 2Т5 и 2Т5К.

Теодолит 2Т5К. Теодолит изготавливается в двух исполнениях: 2Т5К и 2Т5КП. Теодолит 2Т5КП отличается от 2Т5К только тем, что он снабжен зрительной трубой прямого изображения.

Теодолит 2Т5К предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезических сетях сгущения 1 и 2 разрядов, теодолитных ходах и при различного рода инженерных изысканиях.

ление в призме 13, попадает в микроскоп с объективом 14 и окулярами 15 и 16.

Формулы для вычисления M_0 и v те же, что и для теодолита Т30.

Теодолит Т5 относится к точным повторительным приборам. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов $5''$, а углов наклона $10''$. Теодолит предназначен для измерения углов в геодезических сетях сгущения 1 и 2 разрядов, при продолжении теодолитных и тахеометрических ходов, при привязке опознаков и т. д.

Теодолит Т5 имеет две модификации: Т5К — с компенсатором при вертикальном круге и Т5А — с автоколлимационной зрительной трубой.

Конструкция теодолита Т5 и его оптическая система во многом сходны с конструкцией и оптической системой теодолита Т15. Теодолит Т5К подробно описан и иллюстрирован в работе [4].

Формулы для вычисления M_0 для теодолита Т5 те же, что и для теодолитов Т30 и Т15.

В 1977 г. теодолиты Т5 и Т5К были заменены приборами 2Т5 и 2Т5К.

Теодолит 2Т5К. Теодолит изготавливается в двух исполнениях: 2Т5К и 2Т5КП. Теодолит 2Т5КП отличается от 2Т5К только тем, что он снабжен зрительной трубой прямого изображения.

Теодолит 2Т5К предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезических сетях сгущения 1 и 2 разрядов, теодолитных ходах и при различного рода инженерных изысканиях.

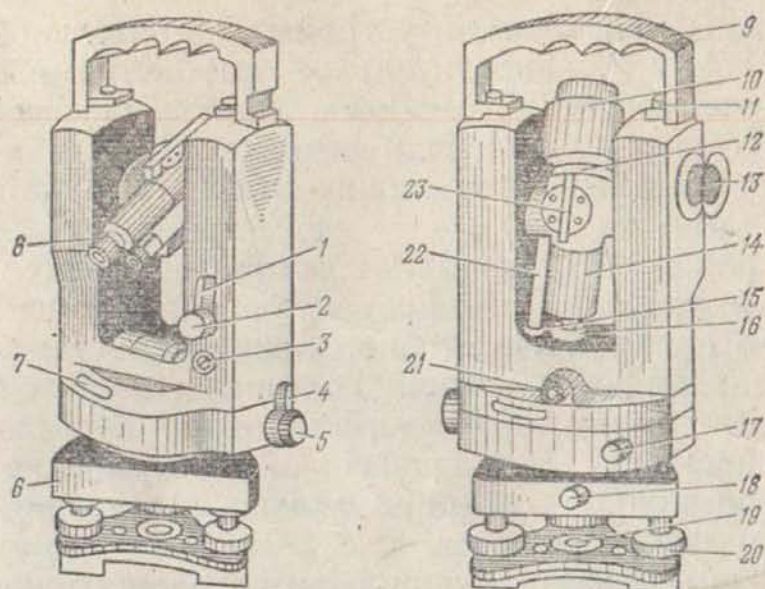


Рис. 52. Теодолит 2Т5К

Теодолит снабжен самоустанавливающимся оптическим маятниковым компенсатором, заменяющим уровень при алидаде вертикального круга. Компенсатор обеспечивает автоматическое приведение отсчетного индекса к горизонту при отклонении вертикальной оси теодолита на $\pm 3'$ от отвесного положения. Это позволяет использовать теодолит и для выполнения нивелирных работ.

Теодолит неповторительный. Оптическая отсчетная система, как и в теодолитах Т5 и Т5К, двухканальная: одна ветвь передает изображение штрихов с горизонтального круга, другая — с вертикального. Для упрощения вычислений вертикальных углов оцифровка вертикального круга выполнена по секторам от 0° до плюс и минус 75° . Поле зрения отсчетного микроскопа 22 (рис. 52) рассматривают через окуляр 15.

Зрительная труба 10 обоими концами переводится через зенит. Ее фокусируют вращением кольца 14. Окуляр 16 зрительной трубы устанавливается по глазу вращением диоптрийного кольца. Исправительные винты сетки нитей закрыты колпачком 8. Между корпусом трубы и горизонтальной осью расположено клиновое кольцо 12, вращение которого изменяет направление визирной оси зрительной трубы. В центральной части зрительной трубы с обеих ее сторон установлены оптические визиры 23 для грубой наводки на цель.

Наводящее устройство алидады горизонтального круга имеет головку 5, закрепительное устройство — курок 4.

Они соосны. Наводящее устройство зрительной трубы имеет головку 2, закрепительное устройство — курок 1. Они также соосны. Подсветка лимбов осуществляется дневным светом при помощи зеркала 13.

Горизонтальный круг можно вращать рукояткой 17 (при нажатии на нее).

При алидаде горизонтального круга имеется цилиндрический уровень. Его исправляют при помощи юстировочного винта 3. Подставка теодолита 6 съемная. Теодолит закрепляют в подставке винтом с головкой 18.

Теодолит имеет оптический центрир. Его окуляр 21 устанавливают по глазу вращением диоптрийного кольца. Окулярное кольцо центрира можно продольно перемещать для фокусирования.

Для контроля установки горизонтального круга теодолит имеет круг-искатель. Цена деления круга-искателя 10° . Погрешность установки отсчета при помощи круга-искателя не более $1,5^\circ$. Отсчет по кругу-искателю берут при помощи индексов на иллюминаторах 7. Подъемные винты 20 закрытого типа. Теодолит скрепляют со штативом станковым винтом при помощи втулки 19.

Винтами 11 на колонках теодолита укреплена переносная ручка 9 (теодолит упаковывается в футляр без снятия ручки).

Формулы для вычисления места нуля M_0 и угла наклона v имеют вид

$$M_0 = 0,5 (КЛ + КП);$$

$$v = 0,5 (КЛ - КП); \quad v = КЛ - M_0;$$

$$v = M_0 - КП,$$

где КЛ — отсчет при круге лево; КП — отсчет при круге право.

§ 32. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТОВ

Перед проведением поверок нужно провести общий осмотр теодолита. При этом следует обратить внимание на следующее:

а) оптическая система зрительной трубы должна быть чистой и должна давать правильные, отчетливые, без заметных окрашиваний изображения. Ход фокусирующей линзы не должен вызывать смещения изображений;

б) вращение вертикальной и горизонтальных осей должно быть легким, плавным;

в) подъемные, закрепительные, наводящие и юстировочные винты должны быть исправны;

г) отсчетные системы должны быть видны в микроскоп хорошо и четко, не вызывая напряжения при отсчитывании по ним. Между штрихами лимбов и шкалами не должно быть параллакса.

Поверки и юстировки теодолитов выполняют для выявления в приборах отступлений от геометрических и оптико-механических требований, положенных в основу их конструкций, и для более полного устранения выявленных проверками отклонений. Поверки и юстировки выполняют в следующем порядке.

1. *Поверка хода подъемных винтов.* Вращение подъемных винтов должно быть плавным, без скачков и люфта. Все три винта должны вращаться одинаково с небольшим затруднением.

Наводят зрительную трубу на какую-либо отчетливо видимую удаленную цель. Зажимают закрепительные устройства лимба и алидады. Взявшись обеими руками за корпус подставки, легким усилием пытаются слегка повернуть подставку с теодолитом в одну из сторон, после чего снимают руки. Затем подставку с теодолитом пытаются слегка повернуть в противоположном направлении и снова снимают руки. Если после каждого поворота изображение возвращается на прежнее место, то подъемные винты отрегулированы хорошо. Если изображение не возвращается на величину, превышающую толщину штриха сетки нитей, то нужно затянуть шпилькой регулировочные гайки подъемных винтов.

2. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.* Поворотом алидады устанавливают уровень по направлению двух любых подъемных винтов, например B_1 и B_2 (положение I на рис. 53), и, вращая их в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду на глаз на 90° , устанавливая уровень по направлению третьего винта B_3 (положение II на рис. 53) и вращая его, снова приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Действия эти повторяют, пока пузырек уровня в положениях I и II будет отклоняться от нуль-пункта не более одного деления ампулы. Затем алидаду поворачивают на глаз на 180° относительно I положения. Условие считается выполненным, если после этого последнего поворота пу-

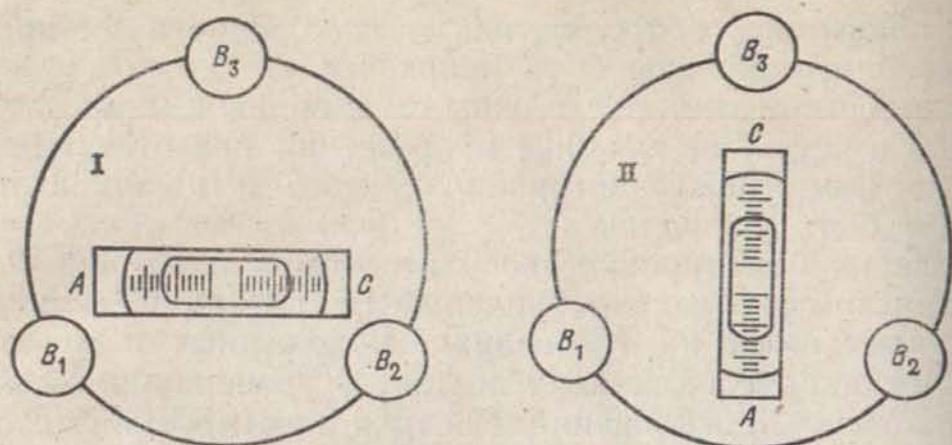


Рис. 53. Схема установки уровня

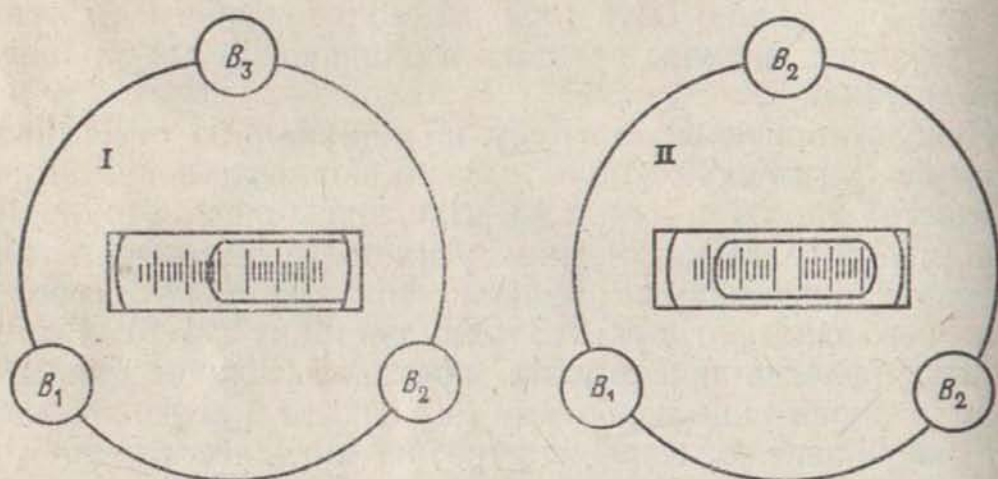


Рис. 54. Схема положения пузырька уровня

зырек уровня отклонится от нуль-пункта в пределах одного деления. Если пузырек уровня отклонится больше, то надо подсчитать число делений n ампулы, на которые он отклонился. Затем исправительным винтом (или винтами) уровня переместить пузырек по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения, т. е. на $(n : 2)$ деления.

Юстировать уровень можно только тогда, когда после поворота алидады на 180° пузырек уровня хотя и отклонился от нуль-пункта, но не прижат к одному из концов ее (положение II на рис. 54). Если после поворота алидады на 180° пузырек уровня окажется прижатым к одному из концов ампулы (положение I на рис. 54), то исправлять его перемещением на половину дуги отклонения нельзя, так как в этом случае не представляется возможным подсчитать число делений ампулы, на которое отклонился

пузырек (если бы не конец ампулы, то пузырек сдвинулся бы значительно дальше). Действовать в этом случае нужно методом приближения. При помощи исправительных винтов смещают пузырек уровня к нуль-пункту не на половину дуги отклонения уровня, а на величину значительно меньшую. Только тогда, когда при повороте алидады на 180° пузырек уровня будет свободен (не будет касаться конца ампулы), можно исправительным винтом перемещать его на половину дуги отклонения, как указано выше.

После исправления пузырек уровня должен оставаться в нуль-пункте при любых поворотах алидады.

3. *Вертикальный штрих сетки нитей (или биссектор) должен лежать в коллимационной плоскости трубы.*

Вертикальную ось вращения прибора приводят в отвесное положение. Наводят трубу на хорошо видимую точку. Наводящим устройством вращают трубу вокруг горизонтальной оси. Если при этом будет замечено смещение изображения точки с вертикального штриха сетки, то снимают колпачок, закрывающий юстировочные винты сетки, отверткой слегка отпускают винты 4, 6, 8 и 10 (см. рис. 44) и поворачивают окуляр совместно с сеткой. Поверку повторяют. Когда желаемое положение сетки достигнуто, винты закрепляют.

У теодолита 2Т5А юстировочных винтов сетки нитей нет. Сетка нитей скреплена наглухо с корпусом окуляра. Для устранения наклона сетки нитей необходимо повернуть корпус окуляра. Для этого слегка отпускают три стопорных винта, расположенных на цилиндрической поверхности корпуса окуляра. После юстировки корпус окуляра закрепляют.

4. *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.* Отклонение от перпендикулярности вызывает коллимационную погрешность. Обычно определяют не коллимационную погрешность c , а двойную коллимационную погрешность $2c$. Положение визирной оси зрительной трубы исправляют, если $2c$ превышает $30''$ (для теодолита ТЗ0 — $1'$).

Устанавливают вертикальную ось теодолита в отвесное положение и наводят зрительную трубу на удаленный, хорошо видимый предмет; при этом он должен находиться под углом наклона, близким к 0° . Берут отсчеты по горизонтальному кругу при двух положениях вертикального круга $КЛ_1$ и $КП_1$. С целью исключения

влияния эксцентриситета открепляют теодолит в подставке и поворачивают его на 180° . После этого повторяют наведения и отсчеты $КЛ_2$ и $КП_2$. Величину двойной коллимационной погрешности вычисляют по формуле

$$2c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{2}.$$

В теодолите ТЗ0 подставка наглухо скреплена с теодолитом, поэтому для взятия отсчетов $КЛ_2$ и $КП_2$ поворачивают лимб на 180° .

Прежде чем судить о величине $2c$ и необходимости юстировки, ее нужно определить повторно визированием на другой предмет. Колебание значений $2c$ из двух определений не должно превышать утроенной точности измерения угла. Только при выполнении этого условия определение $2c$ можно считать выполненным правильно.

Для устранения коллимационной погрешности устанавливают наводящим устройством алидады отсчет, вычисленный по одной из формул:

$$КЛ = КЛ_2 - c \text{ или } КП = КП_2 + c.$$

При постановке на этот отсчет перекрестие сетки нитей уйдет с наведенного предмета. Для юстировки снимают колпачок, ослабляют на $1/4$ оборота один из вертикальных винтов 5 или 9 (см. рис. 44), боковыми винтами 3 и 7 (вывинчивая один и завинчивая другой) перемещают сетку до совмещения ее перекрестия с изображением предмета и закрепляют все винты. При исправлении нельзя прилагать больших усилий к юстировочным винтам, так как их можно сломать. Поверку нужно повторить, чтобы убедиться, что коллимационная погрешность исправлена.

В теодолите 2Т5К сетка нитей юстировочных винтов не имеет. Коллимационную погрешность устраняют вращением клинового кольца специально для этого предназначенным ключом.

Пример. При проверке были получены отсчеты: $КЛ_1 = 15^\circ 16,4'$, $КП_1 = 195^\circ 22,8'$, $КЛ_2 = 195^\circ 28,2'$ и $КП_2 = 15^\circ 32,6'$.

$$2c = \frac{(15^\circ 16,4' - 195^\circ 22,8' + 180^\circ) + (195^\circ 28,2' - 15^\circ 32,6' - 180^\circ)}{2} = -5,4';$$

$$КЛ = 195^\circ 28,2' - (-2,7') = 195^\circ 30,9';$$

$$КП = 15^\circ 32,6' + (-2,7') = 15^\circ 29,9'.$$

5. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

Для поверки теодолит надо установить в 10—15 м от стены здания и привести вертикальную ось в отвесное положение. Зрительную трубу наводят на выбранную и хорошо видимую на стене точку. Угол наклона на эту точку должен быть $+30-40^\circ$. Затем опускают зрительную трубу вниз, проектируют эту точку на уровне высоты прибора и отмечают на стене проекцию перекрестия сетки нитей. Переводят трубу через зенит, наводят на ту же высокую точку, вновь опускают трубу и снова отмечают на стене проекцию перекрестия сетки нитей. Если отмеченные внизу точки совпадают или умещаются в пределах биссектора, то наклон оси допустим. Исправлять наклон оси должен только механик в мастерских, так как исправление связано с частичной разборкой прибора.

6. Место нуля (М0) вертикального круга должно быть постоянным и близким к 0° .

Для определения М0 визируют при двух положениях вертикального круга на удаленную, хорошо видимую точку; при этом она должна находиться под углом наклона, близким к 0° . Перед отсчетами в теодолитах Т15, Т5, 2Т5А и ТТ-4 пузырек уровня при алидаде вертикального круга приводят наводящим устройством уровня в нуль-пункт. У теодолита Т30 такого уровня нет. В этом теодолите перед наведением зрительной трубы приводят в нуль-пункт уровень при горизонтальном круге (см. § 31).

Значение М0 для всех теодолитов (см. § 31) вычисляют по формуле $M_0 = (КЛ + КП + 180^\circ) : 2$. При этом к отсчету, меньшему 90° , прибавляют 360° .

Правильность вычисления М0 надо проверить. Это выполняют путем определения угла наклона v по двум из приведенных в § 31 формулам, например: $v = КЛ - М_0$ и $v = М_0 - КП - 180^\circ$. Если М0 вычислено правильно, то величины углов наклона будут равны. Если углы наклона получаются различные, то в вычислениях М0 имеется ошибка.

Место нуля определяют визированием на различные цели три-четыре раза и, если полученные значения М0 расходятся в пределах допустимых величин, берут его среднее значение. Расхождения между значениями М0 из разных определений не должны превышать утроенной точности теодолита.

Работать можно с любой величиной M_0 . Однако при его большом отличии от 0° несколько затрудняются вычисления. Поэтому принято значение M_0 исправлять до значения, равного или близкого к 0° . В теодолитах Т15 Т5 и 2Т5А порядок юстировки следующий: а) головкой наводящего устройства уровня алидады вертикального круга его пузырек приводят в нуль-пункт; б) берут отсчет В по вертикальному кругу (при КЛ или при КП); в) головкой наводящего устройства уровня устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный КЛ— M_0 ; г) юстировочными винтами уровня при алидаде вертикального круга снова приводят его пузырек в нуль-пункт.

Проведенную поверку нужно повторить.

В теодолитах Т30 и Т5К уровня при алидаде вертикального круга нет. Место нуля у них можно исправить смещением сетки нитей в вертикальной плоскости винтами 5 и 9 (см. рис. 44). Но смещение сетки нитей нарушает постоянство M_0 . Поэтому для этих приборов M_0 лучше не исправлять и работать с существующей величиной.

7. *Визирная ось оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью теодолита.*

Для поверки вертикальную ось теодолита тщательно устанавливают в отвесное положение. Под штативом горизонтально располагают и укрепляют лист чистой бумаги. На нем тонко отточенным карандашом отмечают точкой изображения центра сетки оптического центрира. Для поверки оптических центриров у теодолитов, у которых центрир встроен в алидадную часть (Т15, Т5, Т5К, 2Т5А), дважды поворачивают алидадную часть прибора на углы, равные 120° , и после каждого поворота отмечают на бумаге изображение центра сетки центрира. Если изображения трех точек сольются в одну, то юстировка не нужна. Если же изображения не совместятся, то в центре образованного треугольника намечают точку и на нее сдвигают изображение центра сетки центрира юстировочными винтами, передвигая окулярное колено центрира. Поверку проверяют.

8. *Поверка оптического компенсатора* выполняется только для теодолитов Т5К и 2Т5К. Устанавливают теодолит так, чтобы один подъемный винт находился в отвесной плоскости, проходящей через визирную ось и наблюдаемую точку. Приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение, зрительную трубу наводят на

хорошо и четко видимую точку и берут отсчет по вертикальному кругу. Поворачивают алидаду на 90° и наклоняют вертикальную ось подъемным винтом так, чтобы пузырек уровня сместился на два-три деления. Снова наводят трубу на ту же точку и снова снимают отсчет по вертикальному кругу. Затем наклоняют вертикальную ось теодолита еще дополнительно на два-три деления уровня, наводят трубу на ту же точку и вновь берут отсчет по вертикальному кругу. После этого дважды наклоняют вертикальную ось в противоположную сторону на два-три деления пузырька уровня. Разность между пятью полученными отсчетами не должна превышать $6''$. Если разность больше, требуется юстировка. Юстируют поднятием или опусканием груза на штанге компенсатора.

§ 33. УСТАНОВКА ТЕОДОЛИТА И ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Углы измеряют поверенным и отъюстированным теодолитом. Для измерения горизонтальных углов теодолит на точке (пункте) приводят в рабочее положение: центрируют, горизонтируют, ориентируют и устанавливают зрительную трубу по глазу и по предмету.

Центрирование теодолита — установку вертикальной его оси над вершиной измеряемого угла — проводят при помощи оптического центрира.

Горизонтирование теодолита — установку вертикальной его оси в отвесное положение — проводят по уровню при алидаде горизонтального круга при помощи подъемных винтов.

Ориентирование теодолита по магнитному меридиану — это установка теодолита в положение, когда отсчет по лимбу горизонтального круга равен $0^\circ 00'$, визирная ось зрительной трубы находится в плоскости магнитного меридиана, а ее объектив направлен на север. Для этого головкой наводящего устройства алидады совмещают нули лимба и алидады. Затем, открепив арретир магнитной стрелки, поворотом лимба со скрепленной с ним алидадой совмещают концы стрелки буссоли с нулевыми делениями ее кольца.

Первый полуприем всегда выполняют при ориентированном лимбе. Работа с ориентированным лимбом позволяет: а) для всех наблюдаемых направлений получить магнитные азимуты, а значит, на всех точках, где изме-

ряли горизонтальные углы, определить склонение магнитной стрелки; б) контролировать результаты измерений, так как прямые и обратные магнитные азимуты должны различаться между собой (при отсутствии магнитных аномалий) не более чем на $180^\circ \pm 1^\circ$.

Установка зрительной трубы складывается из установки ее по глазу диоптрийным кольцом окуляра и по предмету вращением фокусирующего кольца или головки. При этом должен быть проверен и устранен параллакс сетки нитей.

Горизонтальные углы измеряют двумя способами: 1) способом приемов (способ измерения отдельного угла) и 2) способом круговых приемов (способ В. Я. Струве).

Первый способ применяют в тех случаях, когда на точке надо измерить только один угол, например на точках теодолитных ходов, при привязке опознаков и т. п. Измерение углов осуществляют вторым способом тогда, когда на точке необходимо измерить не один, а несколько углов.

Способ приемов

В этом способе угол измеряют одним приемом с перестановкой лимба между полуприемами примерно на 180° .

В теодолитах с односторонней системой отсчитывания по кругам каждый отсчет содержит погрешность, вызванную эксцентриситетом.

Если алидаду между двумя положениями вертикального круга (КЛ и КП) переставлять точно на 180° , то среднее из отсчетов по лимбу будет свободно от погрешностей эксцентриситета. Однако такая перестановка на 180° лишает отсчеты необходимого контроля. Если алидаду между двумя положениями вертикального круга переставлять примерно на 180° (в пределах $\pm 4^\circ$), то остаточное влияние погрешности от влияния эксцентриситета (при наиболее неблагоприятном расположении его элементов) на угол (два отсчета) не превысит $4''$, т. е. будет меньше точности отсчетов по приборам и в то же время обеспечит необходимый контроль самих отсчетов. В теодолитных ходах принято измерять левые углы по ходу.

Углы способом приемов измеряют в такой последовательности.

1. При ориентированном и закрепленном горизонтальном круге, открепив алидаду, наводят перекрестие

Таблица 10

Журнал записи измерений

Дата: 26.07.82 г. Ход от п. Рязань до п. Хутор

Погода: ясно, тихо

Номер точки стояния и высота прибора i	Номер точки наблюдения и высота вехи v	Круг	Горизонтальный круг			Длина линий, м	Вертикальный круг		Вычисление превышений h , м
			Отсчет	Угол	Средний угол		Отсчет	(v)M0	
10 $i = 1,36$	9 $v = 1,97$	КЛ	62° 47,2' (1)	118° 18,2' (3)		216,36	359° 14,4'	359° 59,6'	$h' = -2,84$
		КП	244° 16,5' (4)				180° 44,8'	-0° 45,2'	$i = +1,36$
	11 $v = 2,04$			118° 17,8' (7)		176,88			$v = -1,97$
									$h_{обр} = -3,45$
		КЛ	181° 05,4' (2)				0° 21,0'	359° 59,4'	$h_{ср} = +3,47$
		КП	2° 33,9' (5)				179° 37,8'	+0° 21,6'	$h' = +1,11$
								(+0,360°)	$i = +1,36$
									$v = -2,04$
									$h_{пр} = +0,43$

Примечание. Теодолит Т15. Цифрами в скобках показана последовательность действий. Длины линий выписаны из журнала линейных измерений после введения в средние длины поправок за наклон и компарирование. В вертикальных углах в скобках записан перевод углов наклона в градусную меру.

основных штрихов сетки нитей зрительной трубы на нижнюю часть задней веши; берут и записывают отсчет.

2. Ослабив закрепительное устройство алидады и зрительной трубы, наводят перекрестие сетки нитей на нижнюю часть передней веши; берут и записывают второй отсчет.

3. Ослабив закрепительное устройство горизонтального круга, не открепляя алидаду, поворачивают его совместно с алидадой примерно на 180° (в пределах $180^\circ \pm \pm 4^\circ$) и закрепляют его в этом положении.

4. Переводят зрительную трубу через зенит, ослабляют закрепительное устройство алидады и трубы и повторяют в той же последовательности действия, изложенные в пунктах 1 и 2.

Первые два действия составляют полуприем. Два полуприема, выполненные при КЛ и КП, составляют один прием.

Все измерения записывают в журнал (табл. 10).

При измерении углов в теодолитных ходах приборами с двусторонней системой отсчитывания лимб между полуприемами переставляют примерно на 90° (без каких-либо ограничений в отступлении от 90°).

Предельно допустимые расхождения между значениями углов, полученных в полуприемах, приведены ниже:

теодолит	ТТ-4	45";
»	Т30	2';
»	Т15	1';
»	Т5, Т5К, 2Т5А	30".

Способ круговых приемов

Этим способом углы измеряют двумя приемами с перестановкой горизонтального круга между приемами на 90° . Направления в этом способе измеряют в такой последовательности.

1. Одно из направлений, которое нужно наблюдать, принимают за начальное. За начальное направление выбирают направление на достаточно удаленный пункт с постоянной хорошей видимостью.

2. Наблюдения начинают при КЛ. При ориентированном и закрепленном горизонтальном круге наводят перекрестие основных штрихов сетки нитей зрительной трубы на начальный пункт (объектами визирования служат на

сигналах и пирамидах середины болванок, на вехах — низ вехи, насколько возможно ближе к ее основанию). Производят и записывают отсчет.

3. Ослабив закрепительные устройства алидады и зрительной трубы, наводят трубу последовательно на все другие наблюдаемые пункты. Производят и записывают отсчеты. Алидада при выполнении первого полуприема должна вращаться только по направлению часовой стрелки. Горизонтальный круг во время исполнения всего приема должен оставаться неподвижным.

4. Полуприем заканчивают повторным наведением и отсчетом на начальный пункт. Сходимость отсчетов при наведении на начальный пункт в начале и конце полуприема, так называемое *з а м ы к а н и е г о р и з о н т а*, является полевым контролем. Внизу страницы журнала указывают полученную погрешность Δ при замыкании горизонта.

5. Переходят ко второму полуприему. Ослабив закрепительные устройства алидады и трубы, переводят трубу через зенит и, вращая алидаду против хода часовой стрелки, наводят на начальный предмет. Производят и записывают отсчет.

6. Наблюдают остальные пункты, но в обратном порядке, вращая алидаду только против хода часовой стрелки. Запись в журнале проводят поэтому снизу вверх. Второй прием также заканчивают повторным наведением на начальный пункт. Внизу страницы журнала снова выписывают полученную погрешность Δ замыкания горизонта.

7. Кроме контроля по замыканию горизонта прием контролируют еще колебаниями отсчетов при различных кругах на один и тот же пункт (двойной коллимационной погрешностью $2c$).

Данные измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов записывают в журнал (табл. 11). Из двух значений направлений на начальный пункт в начале и конце приема выводят среднее, которое выписывают вверху графы 5. Затем, вычитая это среднее из всех полученных направлений графы 5, получают окончательные, приведенные к нулю горизонтальные направления приема (графа 6).

Второй прием выполняется так же. Если в приеме один из контролей (замыкание горизонта и колебание отсчетов при разных кругах) превышает допустимую величину

Таблица 11

Журнал записи измерений

Дата: 16 июня 1982 г. Название пункта: Осиновое, сигнал

Прием: 1-й $i = 1,94$ м.

Название и высота вехи v	Горизонтальный круг			
	Отсчеты		2с	Средние отсчеты
	КЛ	КП		
1	2	3	4	5
П. Новое	42° 11,2' (1) *	222 11,5 (9)	-0,3'	11,6 42° 11,4'
Т. х. I $v = 1,69$	87° 24,6' (2)	267 24,8 (8)	-0,2'	87° 24,7'
П. Лужки	156° 58,4' (3)	336 59,0 (7)	-0,6'	156° 58,7'
П. Новое	42° 11,6' (4)	222 12,0 (6)	-0,4'	42° 11,8'
$\Delta_{\text{КЛ}} = +0,4' (5)$ $\Delta_{\text{КП}} = +0,5' (10)$ Максимальное колебание раз				

* См. примечание к табл. 10.

(табл. 12), то прием полностью переделывается при той же ориентировке горизонтального круга.

Сходимость направлений из приемов является третьим контролем. Если сходимость направлений в пределах допустимости (см. табл. 12), то вычисляют и записывают на отдельной странице журнала средние значения направлений из двух приемов.

Таблица 12

Допуски при измерении направлений

Теодолит	Колебание разности отсчетов между КЛ и КП	Замыкание в полуприемах	Колебание направлений из отдельных приемов
ТТ-4	1' 00"	30"	30"
ТЗ0	2,0'	1,5'	1,5'
Т15	1,0'	0,8'	0,8'
Т5, Т5К, 2Т5А	0,8'	0,3'	0,3'

Погода: пасмурно, тихо
Видимость: хорошая

		Вертикальный круг			Для вычислений
Направ- ления	Отсчеты		M0	v	
	КЛ	КП			
6	7	8	9	10	11
0° 00,0'					$s = 264,43$ $(+0,370)$
45° 13,1'	0° 22,5'	179° 38,1'	0° 00,3'	+0° 22,2'	$h' = +1,71 \text{ м}$ $i = +1,94 \text{ м}$
114° 47,1'					$v = -1,69 \text{ м}$ $h_{\text{пр}} = +1,96 \text{ м}$
ности отсчетов = 0, 4' (11)					

Измерение вертикальных углов

Вертикальные углы измеряют для определения превышений. Вертикальные углы в теодолитных и тахеометрических ходах измеряют одним приемом, визированием одной нитью при двух положениях круга, в прямом и обратном направлениях.

Объектом наведения при измерении вертикальных углов на сигналах и пирамидах служит верх визирных цилиндров, на вехах — их верх или верх «мотылька». Мотылек — кусочек дощечки или фанеры, вставленный в расщепленный верх вехи.

Для определения превышений кроме вертикальных углов на каждой точке с точностью до 1 см измеряют высоту прибора (до горизонтальной оси) i и высоту вех (до места наведения) v . Высоты приборов и вех измеряют от верхнего среза колышка, которым закреплена точка хода или марки на пунктах триангуляции и полигонометрии. Измеренные высоты записывают в журнал, как это показано в табл. 10 и 11.

Контролем измерений служит сходимость места нуля на точке, а также сходимость прямых и обратных превышений.

Колебания M_0 и ν не должны превышать величин, приведенных ниже:

Теодолит	Допустимое колебание M_0 и ν
ТТ-4	30"
T30	1,5'
T15	0,5'
T5 и T5K	0,35'

Расхождения между прямыми и обратными превышениями не должны превышать 10 см при длине линий до 250 м и 4 см на каждые 100 м при длине линий более 250 м.

Пример. Длина линии 327,64 м. Допустимое расхождение между прямым и обратным превышением 13 см (3×4 см и $+1$ см).

Превышения вычисляют в журналах на специально отведенном для этого месте, используя специальные таблицы и арифмометр или микрокалькуляторы (см. табл. 10 и 11).

Формулы вычисления превышений:
в теодолитных ходах

$$h = s \operatorname{tg} \nu + i - v + f;$$

в тахеометрических ходах

$$h = 1/2 D \sin 2\nu + i - v + f,$$

где s — горизонтальное проложение длины линии; ν — угол наклона; i — высота прибора; v — высота точки наведения, D — дальномерное расстояние; f — поправка за совместное влияние кривизны Земли и рефракцию, которая вводится только для линий, длина которых больше 275 м.

В табл. 10 и 11 превышения вычислены на микрокалькуляторе. Углы наклона ν выражены в долях градуса (для этого значение минут делят на 60).

§ 34. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ

Точность измерения углов зависит не только от точности приборов. Она зависит от полноты и качества юстирования приборов, от количества, последовательности и чередования отдельных измерений, от методики и организации наблюдений. Необходимо знать источники погреш-

ностей угловых измерений и уметь исключать погрешности или сводить их к минимальным величинам.

К основным источникам погрешностей при измерении углов относятся.

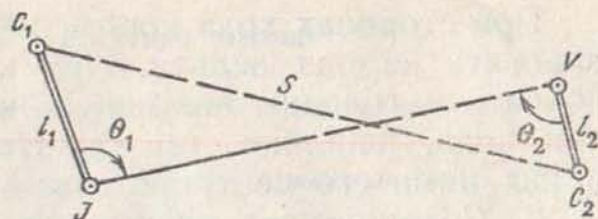


Рис. 55. Схема центрировки и редукции

1. *Погрешности приборов.* Они являются следствием неизбежных ошибок изготовления и юстирования теодолита. Строгого соблюдения всех геометрических условий, заложенных в конструкции (см. § 27), добиться невозможно.

Погрешности, вызванные эксцентриситетом алидады, наклоном горизонтальной оси вращения и коллимационной погрешностью трубы, полностью исключаются из результатов измерений методикой: измерение в каждом приеме проводят при двух кругах КЛ и КП. Среднее из отсчетов по двум кругам свободно от этих погрешностей.

Погрешность, вызванная наклоном вертикальной оси теодолита, методикой не исключается и не ослабляется. Она может достигать 3—4". Поэтому нужно при измерениях приводить вертикальную ось в отвесное положение.

2. *Погрешности центрирования и редукции.* Так называют погрешности, вызванные неточной установкой теодолита над вершиной измеряемого угла в точке I вместо точки — вершины угла C_1 и вех над конечными точками сторон угла в точке V (рис. 55) вместо точки хода C_2 .

Если принять, что погрешность центрирования l_1 составляет 0,5 см (точность центрирования отвесом), а погрешность редукции вех на конечных точках угла l_2 — 1 см и что имеет место худший случай, когда для одной стороны $\theta = 90^\circ$, а для другой $\theta = 270^\circ$, то при равной длине сторон угла погрешность будет достигать при $S = 100$ м — 1,0'; при $S = 50$ м — 2,0', при $S = 25$ — 4,0'.

Такая погрешность в одном-двух углах хода приводит к браку всех угловых измерений по ходу. Необходимо: а) тщательно устанавливать теодолит над вершиной угла хорошо выверенным оптическим центриром (точность центрирования 1—2 мм); б) тщательно устанавливать вехи на конечных точках угла; в) визировать при измерении угла на самую нижнюю часть поставленных вех.

При сторонах хода короче 100 м применять вехи и визировать на них нельзя. При коротких линиях следует вбивать в головки колышков, которыми закреплены точки хода, шпильки, гвозди. На них наводить теодолит и над ними его центрировать.

3. *Погрешности собственно измерения угла.* К ним относятся погрешности визирования и отсчетов (округления). Эти погрешности, как правило, не превышают в своем среднем значении $\pm 30''$ при измерении угла одним приемом.

4. *Погрешности от влияния внешней среды.* К ним относятся следующие источники: колебание изображений, нагревание штатива и прибора солнцем, рефракция и устойчивость штатива. В процессе наблюдений теодолит и штатив рекомендуют закрывать зонтом от прямого воздействия солнечных лучей. Вертикальные углы вследствие большой величины вертикальной рефракции не рекомендуется измерять в периоды, близкие к восходу и заходу солнца, когда солнце находится над горизонтом под углом менее 15° .

При измерении углов необходимо соблюдать определенные правила, обеспечивающие получение доброкачественных результатов. Правила эти следующие.

1. Штатив должен быть устойчив. Ножки штатива, поднятые примерно на 0,5 м, не должны опускаться под действием собственной тяжести. Металлические башмаки ножек не должны иметь люфта. В противном случае необходимо подтянуть винты под головкой штатива и на башмаках.

2. В процессе наблюдений перехода от одного направления к другому алидадную часть прибора и зрительную трубу нужно вращать плавно, без рывков.

3. Наводящими устройствами следует работать на средних витках винтов. Точное наведение обязательно заканчивают ввинчиванием наводящих устройств. Для этого всегда как при КЛ, так и при КП приближенную установку алидады нужно заканчивать так, чтобы вертикальные штрихи сетки оставались влево от наблюдаемой цели.

§ 35. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА ПЛОСКОСТИ

Прямая геодезическая задача состоит в том, что по известным координатам точки A (X_A и Y_A), горизонтальному проложению линии AB (s) и дирекционному углу

Таблица 13

Решение прямой геодезической задачи при помощи микрокалькулятора

Точка	Дирекционный угол α	Длина линии s , м
A (1) B (2)	124° 26,4' (3) 124,44° (7)	242,1 (4)

Точка	Приращение координат		Координаты	
	ΔX , м	ΔY , м	X , м	Y , м
A (1) B (2)	—136,9 (8)	+199,7 (9)	8069,9 (5) 7933,0 (10)	7777,6 (6) 7977,3 (11)

Примечание. Цифры в скобках указывают последовательность действий.

прямой AB (α) вычисляют приращения координат (ΔX и ΔY) и координаты точки B (X_B и Y_B).

Вычисления проводят по формулам

$$\Delta X = s \cos \alpha; X_B = X_A + \Delta X;$$

$$\Delta Y = s \sin \alpha; Y_B = Y_A + \Delta Y.$$

При этом применяют: 1) пятизначные таблицы натуральных значений тригонометрических функций или 2) микрокалькулятор. При работе с таблицами вычисления осуществляют при помощи арифмометра.

Пример. Координаты точки A : $X_A = 8069,9$ м; $Y_A = 7777,6$ м; длина линии $s = 242,1$ м; дирекционный угол $\alpha_{AB} = 124^\circ 26,4'$. Вычислить координаты точки B : X_B и Y_B .

Решение см. в табл. 13.

Дирекционный угол выражают в градусной мере. Для этого минуты делят на 60 ($26,4' : 60 = 0,44^\circ$). Далее можно делать двояко: а) ставят значение угла в градусной мере, нажимая на клавишу \cos (или \sin), получают

Таблица 14
Знаки приращений

Четверть	Дирекционный угол	ΔX	ΔY
I	От 0 до 90	+	+
II	От 90 до 180°	-	+
III	От 180 до 270°	-	-
IV	От 270 до 360°	+	-

их натуральное значение и множат на длину линии; б) ставят длину линии, вводят ее в «память» прибора, а затем получают натуральные значения \cos (или \sin) дирекционного угла и множат их на длину линий.

Знаки приращений зависят от знака \cos или \sin дирекционного угла (табл. 14).

Обратная геодезическая задача заключается в том, что по известным координатам начала A и конца B прямой (X_A, Y_A и X_B, Y_B) находят дирекционный угол прямой AB (α) и ее длину (s).

Вычисления проводят по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}; \quad s = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}.$$

Вычисления проводят: 1) при помощи пятизначных таблиц натуральных значений тригонометрических функций и арифмометра; 2) при помощи микрокалькулятора.

Пример. Даны координаты точек A и B : $X_A = 5202,9$ м; $Y_A = 8290,7$ м; $X_B = 6362,8$ м; $Y_B = 7539,3$ м. Вычислить дирекционный угол α с точки A на точку B и длину линии AB (s).

Решение см. табл. 15.

Когда получено значение тангенса (9), то для вычисления значения угла (10) надо нажать сначала клавишу «вычисление угла», а затем клавишу значения функции (tg). Для получения угла в градусах и минутах нужно доли градусов умножить на 60 ($0,936^\circ \times 60 = 56,2'$).

Дирекционный угол α [см. табл. 15, (12)] определяют при помощи острого угла по знакам приращений ΔX и ΔY (табл. 16).

Т а б л и ц а 15

Решение обратной геодезической задачи при помощи микрокалькулятора

Номер пункта	Название	Координаты		$\Delta Y, \text{ м}$ $\Delta X, \text{ м}$	$\text{tg } \alpha$ α (острый)	α	$S, \text{ м}$
		$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$				
2	B (1)	6362,8 (3)	7539,3 (4)	-751,4 (7)	0,647814 (9) 32,936° (10)	327° 03,8' (12)	1382,0 (13)
1	A (2)	5202,9 (5)	8290,7 (6)	+1159,9 (8)	32° 56,2' (11)		1382,0 (14)

П р и м е ч а н и е. Цифры в скобках указывают последовательность действий.

Т а б л и ц а 16

Определение дирекционного угла

Знаки приращений			
+: +	-; +	-; -	+: -
Дирекционные углы			
$\alpha = \alpha_{\text{остр}}$	$\alpha = 180^\circ - \alpha_{\text{остр}}$	$\alpha = 180^\circ + \alpha_{\text{остр}}$	$\alpha = 360^\circ - \alpha_{\text{остр}}$

§ 36. НЕПРИСТУПНЫЕ РАССТОЯНИЯ

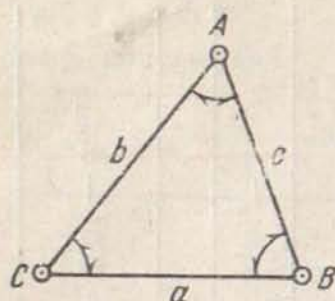


Рис. 56. Схема обозначений в треугольнике

При проложении теодолитных ходов возможны случаи, когда непосредственно измерить линию хода нельзя (например, линия пересекает реку, овраг и т. д.) или эти измерения могут нанести потери сельскому хозяйству (например, линия проходит по нескошенному посеву пшеницы, кукурузы и т. п.). В этих случаях прибегают к косвенному определению стороны хода — определяют ее как неприступное расстояние. Для определения длины такой линии (неприступного расстояния) на одном из ее концов в месте и направлении, удобном для линейных измерений, выбирают две вспомогательные линии, называемые *б а з и с а м и*. Получают два треугольника, в которых, кроме сторон (базисов), измеряют углы. Неприступное расстояние вычисляют дважды из двух треугольников по теореме синусов: $a : \sin A = b : \sin B = c : \sin C$ (рис. 56).

Формулы для вычислений:

$$c = K \sin C; a = K \sin A, \text{ где } K = b : \sin B.$$

Требования к построению неприступных расстояний.

1. Углы, лежащие в треугольниках против базисов, должны быть не менее 20° .
2. Углы в треугольниках при базисах (прибазисные углы) должны быть не менее 40° и не более 140° .
3. Базисы обычно разбиваются в одну сторону. В этом случае длины их должны различаться на величину порядка 20 м, а их расположение должно образовывать между ними угол порядка $2-5^\circ$.
4. Углы на вспомогательных базисных точках можно не измерять.

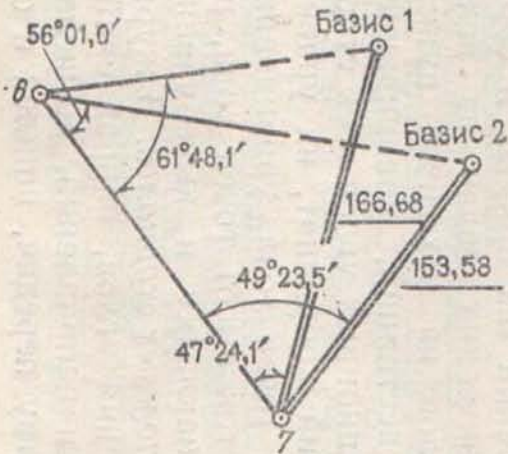
Неприступные расстояния вычисляют: 1) при помощи пятизначных таблиц натуральных значений тригонометрических функций и арифмометра, 2) при помощи микрокалькуляторов (табл. 17).

Перед началом вычислений делают чертеж (см. табл. 17), на котором выписывают все измеренные и проверенные данные.

В каждом треугольнике сначала выписывают вершины углов, лежащих против базиса. Третьи неизмеренные углы

Таблица 17

Схема вычисления неприступного расстояния (на микрокалькуляторе)

	Вершины	Углы	К и синус угла	Длины сторон, м
	6 (1)	61,802° (7)	189,13 (23)	166,68 (11)
	7 (2)	47,402° (8)	0,88131 (17)	139,22 (25)
	Базис 1 (3)	(70,796°) (13)	0,73612 (18)	178,60 (26)
		180,000° (14)	0,94435 (19)	
	6 (4)	56,017° (9)	185,21 (24)	153,58 (12)
	7 (5)	49,392° (10)	0,82920 (20)	140,61 (27)
	Базис 2 (6)	(74,591°) (15)	0,75918 (21)	178,55 (28)
		180,000° (16)	0,96405 (22)	
			Среднее	178,58 (29)
Абсолютная погрешность = 0,05 м (30)				
Относительная погрешность = $\frac{0,05}{178,58} = \frac{1}{3600}$ (31)				

Примечание. Цифры в скобках указывают последовательность действий.

получают дополнением до 180° и заключают их в скобки (13) и (15). Значение K (23) и (24) получают делением базисов (11) и (12) на синусы углов (17) и (20).

Разность между двумя значениями неприступного расстояния не должна превышать 1 : 1000 или 1 : 2000 в зависимости от разряда хода.

Углы в табл. 17 выписывают в градусной мере.

§ 37. ПРИВЯЗКА ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ К ИСХОДНЫМ ПУНКТАМ

Для передачи дирекционных углов на стороны хода и вычисления координат его точек проводят привязку хода к исходным пунктам, координаты которых известны. Привязка заключается в измерении расстояний от первой и последней точек хода до исходного пункта (непосредственное или косвенное) и в измерении углов (так называемых *примычных*) на исходных пунктах между линией хода (первой или последней) и двумя направлениями на соседние исходные пункты. Для передачи дирекционных углов на стороны хода было бы достаточно на каждом исходном пункте измерять один примычный угол. Но такая привязка бесконтрольна.

Теодолит на исходных пунктах центрируют над центром марки верхнего подземного центра. Над центром марки устанавливают и вехи при измерении углов поворота на первой и последней точках хода.

§ 38. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

После окончания измерений теодолитных ходов необходимо провести: проверку полевых журналов, обработку линейных измерений, вычисление превышений и получение их средних значений (из прямых и обратных), решение обратных геодезических задач на исходных пунктах, уравнивание углов на исходных пунктах, вычисление неприступных расстояний, уравнивание углов хода и получение дирекционных углов всех сторон хода, вычисление приращений координат, их уравнивание и вычисление координат точек хода, уравнивание превышений и вычисление отметок высот точек хода, разбивку координатной сетки, накладку и вычерчивание схемы хода.

1. *Проверка полевых журналов.* В журналах проверяют полевые вычисления углов, направлений, вывод средних значений углов и направлений, вычисленные длины линий (по количеству передач, шпилек и остатка).

Таблица 18
Обработка линейных измерений

Линия	Результаты измерений, м				Поправки, м			Окончательная длина линий, м
	прямо	обратно	дополнительные	средние	за длину	за наклон	за температуру	
П. Утково — 1	260,45	260,55	—	260,50	—0,08	—0,12	—	206,30
1—2	151,06	151,14	—	151,10	—0,06	—	—	151,04
2—3	199,11	199,34	199,21	199,22	—0,08	—0,54	—	198,60
3—4	192,44	188,50	192,38	192,41	—0,08	—	—	192,33

Примечания. 1. Выбракованные результаты зачеркивают (в таблице подчеркнuto). 2. Длина ленты равна 19,992 м.

2. *Обработка линейных измерений.* Заключается в выводе средних результатов измерений линий (см. § 22), в вычислении и введении в средние результаты измерений поправок за наклон, за длину ленты (по материалам компарирования) и, если необходимо, за температуру.

Обработку линейных измерений проводят в журнале линейных измерений по форме, приведенной в табл. 18.

Окончательные длины линий выписывают в журналы угловых измерений для вычисления превышений.

3. *Вычисление превышений и их средних значений.* Превышения числят в журналах. Формулы для вычислений, способы вычислений и допуски изложены в § 33. В табл. 10 и 11 даны примеры вычисления превышений.

Если прямое и обратное превышения расходятся в пределах допустимой величины, то из них вычисляют среднее значение. Среднему значению придают знак прямого превышения и подчеркивают.

4. *Решение обратных геодезических задач.* Для контроля проведенной привязки на исходных пунктах и для передачи дирекционных углов на стороны хода нужно решить обратные задачи, обычно их на каждом исходном пункте две.

В нашем примере теодолитного хода значения дирекционных углов примычных направлений из решения обратных задач получены следующие:

п. Утково — п. Валяево — $207^{\circ} 16,6' = 207,277^{\circ}$;
 п. Утково — п. Чаево — $152^{\circ} 11,9' = 152,198^{\circ}$;
 п. Копытово — п. Рогово — $54^{\circ} 39,0' = 54,650^{\circ}$;
 п. Копытово — п. Новое — $119^{\circ} 47,2' = 119,787^{\circ}$.

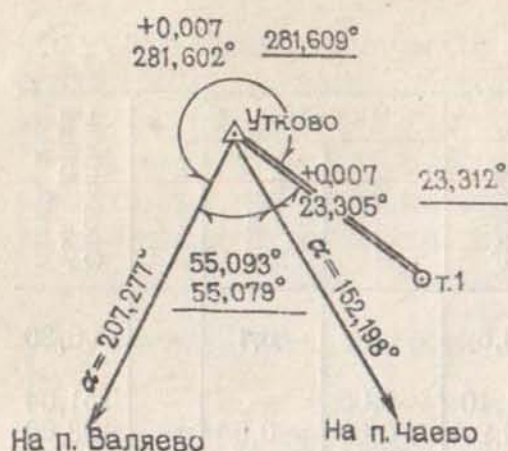


Рис. 57. Схема уравнивания углов на исходном пункте

5. Уравнивание углов на исходных пунктах. На исходных пунктах хода привязывают к двум примычным направлениям. В вычислении же хода участвует на каждом исходном пункте одно примычное направление (любое из двух).

Измеренный угол, как правило, не сходится с величиной этого угла (исходного), полученного как разность вычисленных ди-

рекционных углов. Так, на п. Утково (рис. 57) измеренный угол между направлениями на п. Валяево и п. Чаево равен $55^\circ 05,6' = 55,093^\circ$, а по разности дирекционных углов он должен быть равен $55^\circ 04,7' = 55,079^\circ$. Эта разница между измеренным и исходным углом не должна превышать $1' = 0,017^\circ$.

Чтобы сумма углов на п. Утково равнялась 360° , два примычных угла надо увеличить: один (любой) — на $0,5'$, другой — на $0,4'$ или каждый угол — на $0,007^\circ$. Пример уравнивания углов приведен на рис. 57.

6. Вычисление непрístupных расстояний. Подробно изложено в § 36. Там же в табл. 17 приведены примеры решений.

7. Увязка углов хода и получение дирекционных углов его сторон. Эту работу выполняют в единой по форме ведомости вычисления прямоугольных координат и высот (табл. 19). В графу 1 выписывают последовательно все точки хода, включая исходные пункты. В самом начале и в самом конце хода выписывают по одному (любому) пункту, на которые измерены примычные углы. В графу 2 табл. 19 из журнала выписывают измеренные углы β , левые по ходу. Если углы измеряли с точностью до секунд, то секунды перед выпиской переводят в десятые доли минуты. Если вычисления будут производить на микрокалькуляторе, то перед выписыванием углов минуты переводят в доли градуса. Углы примычные на исходных пунктах (первый и последний в ходе) выписывают уравненные (см. рис. 57). В графу 3 красным (в табл. 19 подчеркнуто) выписывают вычисленные дирек-

Т а б л и ц а 19

Ведомость вычисления прямоугольных координат и высот точек теодолитного хода

Название и номер пункта	Углы β левые	Дирекционные углы α	Длины сторон s , м
1	2	3	4
Валеево			
Утково	—1	27,277°	
1	281,609° —2	128,885°	206,30
2	274,250° —2	223,133°	151,04
3	182,590° —1	225,721°	198,60
4	149,660° —1	195,380°	192,33
5	182,533° —1	197,912°	184,14
6	167,842° —1	185,753°	175,88
7	135,660° —1	141,412°	178,58
Копытово	140,853° —1	102,264°	263,01
Рогово	132,387°	54,650° 54,661°	1549,88
	$\Sigma \beta = 1647,384^\circ$ $n = 9$ $180^\circ \cdot n = 1620^\circ$	$f_\beta = +0,011^\circ$ $f_{\beta \text{ доп}} = \pm 0,017 \sqrt{9} = \pm 0,051^\circ$	

Название и номер пункта	Приращения координат		Координаты		Превышения h , м	Высоты над уровнем Балтийского моря, м
	Δx , м	Δy , м	x , м	y , м		
1	5	6	7	8	9	10
Валяево	—7	+5	6 137 147,7	9 415 466,2	—2	225,94
Утково	—129,51	+160,59			—1,14	
1	—5	+3	6 137 018,1	9 415 626,8	—1	224,78
2	—110,22	—103,27			—2,06	
	—7	+5	6 136 907,8	9 415 523,6	—2	222,71
	—138,66	—142,19			—7,28	
3	—7	+5	6 136 769,1	9 415 381,4	—2	215,41
	—185,44	—51,01			—4,15	
4	—6	+4	6 136 583,6	9 415 330,5	—2	211,24
	—175,21	—56,63			—6,62	
5	—5	+3	6 136 408,3	9 415 273,9	—1	204,60
	—174,99	—17,63			—5,96	
6	—5	+3	6 136 233,3	9 415 256,3	—2	198,63
	—139,59	+111,38			+12,06	
7	—9	+7	6 136 093,7	9 415 367,7	—2	10,67
	—55,87	+257,01			+8,09	
Копытово			6 136 037,7	9 415 624,8		218,74
Рогово	—1109,49	+158,25	—1 110,0	+158,6	—7,06	—7,20
	$\bar{f}_x = +0,51$	$\bar{f}_y = -0,35$			$h = +0,14$ м	
	$\bar{f}_{абс} = \sqrt{0,3826} = 0,62$ м					
	$\bar{f}_{отн} = \frac{0,62}{1549,88} = \frac{1}{2500}$					
					$fh, \text{ доп} = 0,2 \sqrt{1,5} =$ $= \pm 0,24$ м	

Примечание. Все вычисления выполнены на ЭВМ без применения таблиц, счет и арифмометра.

ционные углы примычных направлений ($\alpha_{\text{нач}}$ и $\alpha_{\text{кон}}$). В графу 4 выписывают окончательные длины линий. Теперь, подсчитав угловую невязку, можно уравнивать углы.

Угловая невязка по ходу не должна превышать:

$$\begin{array}{llll} 1,5' \sqrt{n} = 0,025^\circ \sqrt{n} & \text{в углах, измеренных теодолитом} & \text{T30;} \\ 1,0' \sqrt{n} = 0,017^\circ \sqrt{n} & \text{»} & \text{»} & \text{T15;} \\ 0,5' \sqrt{n} = 0,008^\circ \sqrt{n} & \text{»} & \text{»} & \text{ТТ-4, Т5, Т5К.} \end{array}$$

Для получения невязки необходимо подсчитать: сумму всех левых углов $\sum \beta$, общее число углов n и произведение $180^\circ \cdot n$. Результаты этих подсчетов выписывают внизу графы 2. Используя эти данные, подсчитывают по измеренным углам конечный дирекционный угол, который пишут в графу 3 под его уже выписанным исходным значением. Конечный дирекционный угол по измеренным углам вычисляют по формуле

$$\alpha_{\text{кон}} = \alpha_{\text{нач}} + \sum \beta - 180^\circ \cdot n.$$

Угловая невязка f_β хода получается как разность дирекционных углов (есть минус должно быть). В нашем примере $f_\beta = +0,011^\circ$ и выписана внизу графы 3.

Если невязка получена недопустимая, то нужно до повторного измерения углов еще раз проверить журналы и перевод минут в доли градуса.

Поправки в углы должны быть равны между собой так как углы измерены на всех точках равноточно. Однако не всегда можно невязку разделить на число углов без остатка. Ведь если углы округлены до $0,1'$ или $0,001^\circ$, то и поправки должны быть кратны этому. В нашем примере невязка $f_\beta = +0,011^\circ$, а число $n = 9$. Значит, в семь углов надо вводить поправки δ , равные $-0,001^\circ$, а в два угла — поправки δ , равные $-0,002^\circ$. Мы знаем, что, чем короче стороны угла, тем большую погрешность можно в нем ожидать. В нашем примере самая короткая сторона между точками 1 и 2. Значит, поправки по $-0,002^\circ$ лучше всего ввести в углы на точках 1 и 2.

Поправки δ выписывают в графу 2 над углами красным. Их сумма $\sum \delta$ должна точно равняться невязке f_β с обратным знаком.

Затем вычисляют последовательно дирекционные углы всех сторон хода по формуле

$$\alpha_{\text{пос}} = \alpha_{\text{пред}} + \beta + \delta - 180^\circ.$$

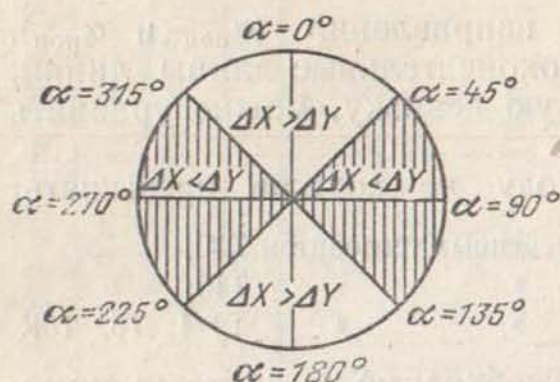


Рис. 58. Номограмма величин приращений координат

Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон хода служит получение в конце хода точного значения конечного дирекционного угла примычной стороны $\alpha_{\text{кон}}$ (в нашем примере — $54,650^\circ$). Если $\alpha_{\text{кон}}$ точно не получается, то, значит, в вычислениях допущена ошибка.

8. Вычисление приращений координат и координат точек хода.

Для этих вычислений в графы 7 и 8 красным (в табл. 19 подчеркнуто) выписывают из каталога до 0,1 м координаты исходных пунктов $x_{\text{нач}}$, $y_{\text{нач}}$ (п. Утково) и $x_{\text{кон}}$ и $y_{\text{кон}}$ (п. Копытово). Вычисляют разности координат (конечные минус начальные). Эти разности выписывают внизу граф 7 и 8.

Перед вычислением приращений координат в графах 5 и 6 проставляют знаки этих приращений, пользуясь табл. 14. Для того чтобы не поменять местами Δx и Δy и не задумываться над функциями $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$, рекомендуется пользоваться номограммой (рис. 58) соотношения величин приращений Δx и Δy . Тогда большее приращение следует ставить в соответствующую по номограмме графу.

Вычисление приращений координат — это решение прямых геодезических задач, формулы для решения которых и примеры решения приведены в табл. 13. Приращения координат вычисляют до 0,01 м и записывают соответственно в графы 5 и 6. Затем их суммируют. Суммы приращений подписывают соответственно внизу граф 5 и 6. Теперь подсчитывают невязки f_x и f_y по формулам

$$f_x = \sum \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}); \quad f_y = \sum \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}).$$

Длину хода $\sum s$ подсчитывают и выписывают внизу графы 3, подсчет и запись абсолютной и относительной невязок проводят внизу граф 5, 6, 7 и 8 табл. 19.

Абсолютные линейные невязки не должны превышать

4,0 м	при съемке в масштабе	1 : 10 000;	
2,0 м	»	»	1 : 5 000;
0,8 м	»	»	1 : 2 000.

Относительные невязки в зависимости от разряда теодолитного хода не должны быть больше 1 : 1000 или 1 : 2000.

Если невязки допустимы, приступают к вычислению поправок δ_x и δ_y в приращении координат, которые записывают над соответствующими приращениями красным. Поправки распределяют пропорционально длинам линий. Для удобства распределения поправок предварительно подсчитывают поправку на 100 м длины хода,

Координаты вычисляют до 0,01 м, но при выписке в ведомость (см. табл. 19) в графы 7 и 8 их округляют до 0,1 м.

Контролем вычисления координат служит получения в конце вычислений координат конечного исходного пункта.

9. *Вычисление высот точек хода.* После вычисления координат приступают к вычислению высот точек хода. В графу 9 выписывают из журналов средние значения вычисленных превышений. В графу 10 красным выписывают из каталога (в табл. 19 они подчеркнуты) отметки высот исходных пунктов $H_{нач}$ и $H_{кон}$. Получают разность высот исходных пунктов $H_{кон} - H_{нач}$ и выписывают ее внизу графы 10. Затем суммируют все превышения графы 9, после чего вычисляют высотную невязку хода f_h по формуле

$$f_h = \sum h - (H_{кон} - H_{нач}).$$

Далее вычисляют допустимую невязку по формуле

$$f_{h_{доп}} = 0,2м \sqrt{d},$$

где d — длина хода, км.

Невязки полученную и допустимую вычисляют и записывают внизу граф 9 и 10.

Если невязка допустима, то вычисляют поправки в превышения δ_h и выписывают их красным над соответствующими превышениями. Поправки δ_h распределяют пропорционально длинам линий, для чего удобнее всего подсчитать поправку на 100 м.

По исправленным поправками превышениям вычисляют последовательно отметки высот всех точек хода. Контролем вычисления высот служит получение в конце вычислений высоты конечного исходного пункта.

10. *Построение километровой сетки.* Для того чтобы составить схему теодолитного хода по координатам его

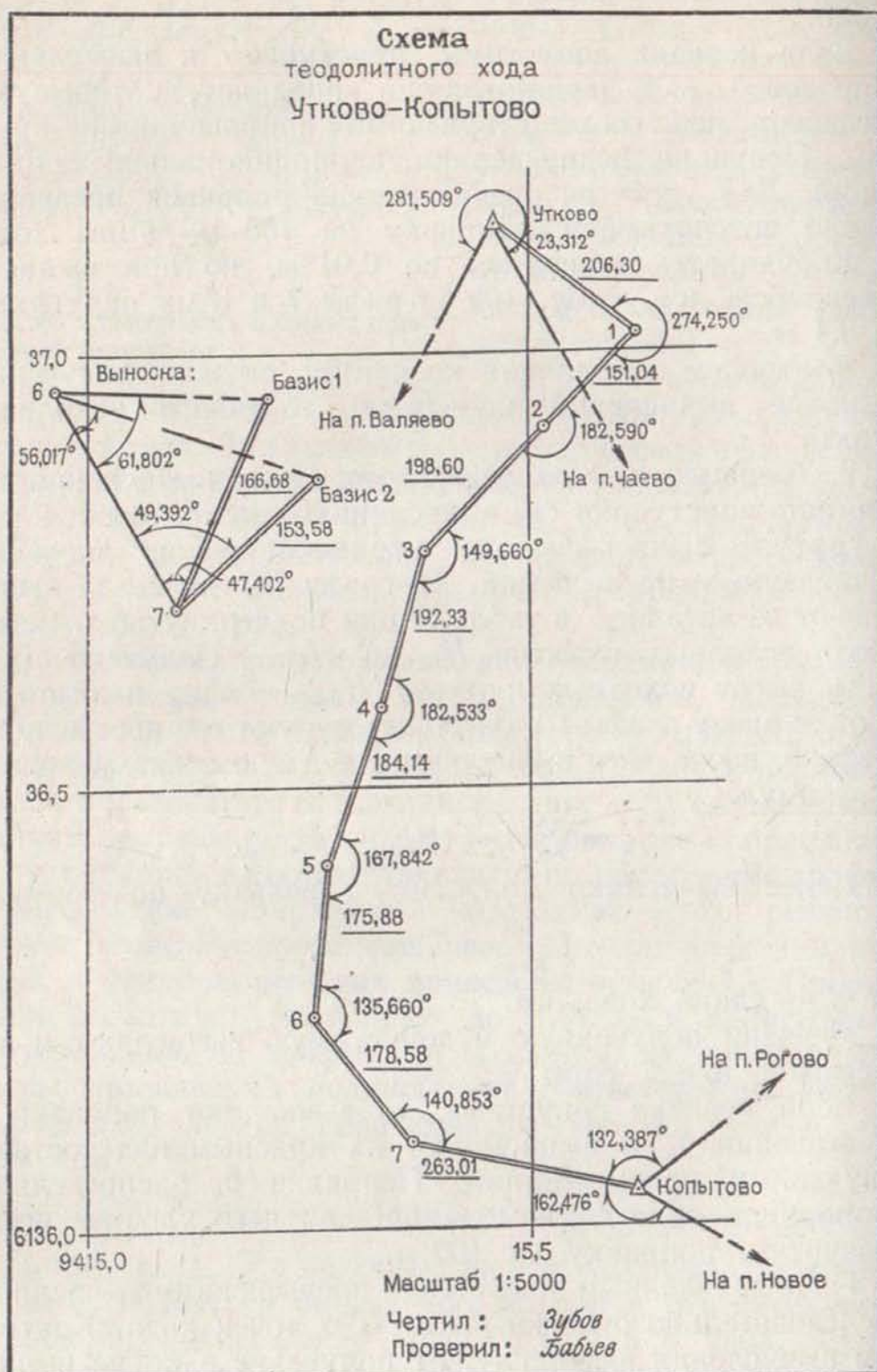


Рис. 59. Схема теодолитного хода

точек, нужно на листе чертежной бумаги предварительно построить координатную сетку со сторонами квадратов, равными 10 см. Координатную сетку можно построить при помощи штангенциркуля и масштабной линейки, при помощи линейки Дробышева или на координатографе (специальный механический прибор).

Построение километровой сетки подробно изложено в учебнике «Геодезия» [4].

Правильность построения сетки проверяют: 1) укладкой линейки по диагоналям квадратов; линейка должна проходить через вершины квадратов; 2) циркулем-измерителем, величина диагоналей квадратов равна 14,14 см. Погрешности в размерах диагоналей не должны превышать 0,2 мм.

11. *Накладка точек и вычерчивание схемы хода.* Построенную километровую сетку нужно оцифровать и так, чтобы ход после его накладки был расположен в средней части листа.

Схему хода выполняют в масштабе 1 : 5000 или 1 : 10000. Накладку точек хода, которую делают при помощи измерителя и масштабной линейки, контролируют. Расхождения между длинами линий хода на схеме, определяемые по масштабной линейке, и измеренными (графа 4, табл. 19), не должны превышать 3 м при масштабе схем 1 : 10000 и 2 м при масштабе 1 : 5000.

Неприступные расстояния показывают схематически. Схему определения неприступных расстояний с выпиской всех измеренных данных, без соблюдения масштаба, вычерчивают на свободном месте схемы хода в виде выноски.

Примычные направления наносят при помощи транспортира. Схему вычерчивают: километровую сетку — синим, все остальные линии и надписи — черным цветом (рис. 59).

Вверху схемы указывают название хода, внизу подписывают масштаб и лиц, составивших и проверивших схему. Схему с заголовками и подписями заключают в рамку.

§ 39. МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРЫ

Для вычислений теодолитных ходов, ходов нивелирования и координат опознаков применяют различные средства вычислений: счеты, таблицы, арифмометры и получившие широкое распространение удобные и точные микрокалькуляторы.



Рис. 60. Схема микрокалькулятора «Электроника БЗ-26»



Рис. 61. Схема микрокалькулятора «Электроника БЗ-37»

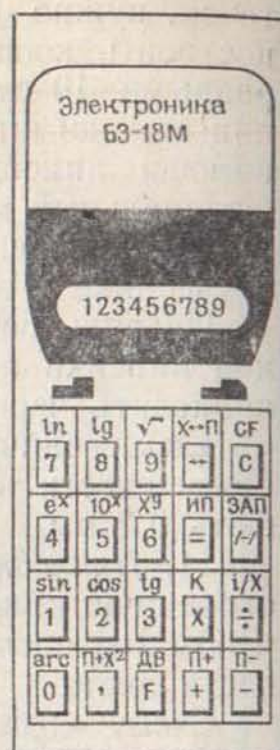


Рис. 62. Схема микрокалькулятора «Электроника БЗ-18М»

Микрокалькуляторы — электронные клавишные вычислительные машины, небольшие по габаритам и массе (карманные). Они быстро и точно проводят различные математические операции, работая как от сети переменного тока, так и от сменной кассеты питания (блока батарей или аккумуляторов). Число возможных математических операций у различных микрокалькуляторов различно и колеблется от 9 до 32.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает различные миниатюрные компьютеры, все время их совершенствуя: «Электроника БЗ-26» (рис. 60), «Электроника БЗ-37» (рис. 61), «Электроника БЗ-18М» (рис. 62) и др.

Работа на микрокалькуляторах не требует специальной подготовки. Особенности каждого и порядок производства различных математических операций подробно изложены в прилагаемых к машинам паспортах.

Все математические действия на микрокалькуляторах выполняются без промежуточных записей, с учетом знаков и положения запятой, отделяющей десятичные доли от целого.

Ввод чисел в машину осуществляется вручную последовательным набором клавишами, начиная со старшего разряда. Набор свободно проверяется, так как индуцируется на табло. Ввод команд для выполнения операций также осуществляется при помощи клавиатуры вручную.

При работе на «Электронике БЗ-26» и ей подобных, когда в задачи включены тригонометрические функции, необходимо пользоваться таблицами натуральных значений этих функций. Получив из таблиц натуральные значения функций, дальше проводят вычисления, как с числами.

«Электроника БЗ-18М», «Электроника БЗ-37» и им аналогичные натуральные значения тригонометрических функций вычисляют сами. При работе с ними никаких таблиц не нужно. Тригонометрические функции можно вычислить, когда аргументы выражены в градусах (в этом случае правый выключатель должен находиться в левом положении) и в радианах (в этом случае выключатель — в правом положении).

При вычислении тригонометрических функций, выраженных в градусной мере, нужно минуты и секунды аргумента выразить в десятичных долях градуса (достаточно ограничиваться тысячными долями градуса). Для этого секунды выражают в десятых долях минуты ($6'' = 0,1'$), а минуты делят на 60.

Пример. Аргумент функции равен $52^\circ 41' 24''$:

$$41' 24'' = 41,4'; \quad 41,4' : 60 = 0,690^\circ; \quad 52^\circ 41' 24'' = 52,690^\circ.$$

Практические занятия. Проверка теодолитов, измерение углов способом приемов и круговыми приемами. Измерения вертикальных углов. Вычисление, накладка и вычерчивание схемы теодолитного хода.

Глава 7

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 40. НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Геодетические измерения, в результате которых получают превышения и отметки высот точек, называют нивелированием. Отметки точек служат высотной основой для топографических съемок всех масштабов и для решения инженерных задач, необходимых для удовлетворения

Таблица 20

Технические характеристики нивелирования

Требования	Классы нивелирования				
	I	II	III	IV	Техническое
Длина хода или периметр полигона, км	3000—4000	500—600	150—300	50	16 *
Нормальная длина визирного луча, м	50	65	75	100	120
Неравенство расстояний от нивелиров до реек на станции, м	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
Накопление неравенств расстояний по секциям, м	1,0	2,0	5,0	10,0	50,0
Высота луча визирования над поверхностью земли, м	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2
Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода, мм	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$	$\pm 8,0$	$\pm 20,0$

* При высоте сечения рельефа 1 м и более.

потребностей народного хозяйства и обороны страны, а также для решения ряда научных задач.

На местности определяют превышения, а затем по известной высоте одной из точек вычисляют высоты всех занивелированных точек.

Существуют следующие способы нивелирования.

1. *Геометрическое нивелирование.* Превышения точек при этом нивелировании получают при помощи горизонтального визирного луча. Приборы для выполнения геометрического нивелирования называют *нивелирами*.

Геометрическое нивелирование в зависимости от точности и назначения подразделяют на нивелирование I, II, III, IV классов и техническое (табл. 20).

Нивелирование I и II классов выполняют для установления на всей территории СССР единой системы высот и для решения ряда научных задач. Нивелирование III и IV классов служит высотной основой топографических съемок всех масштабов и для решения многих инженерных задач.

Техническое нивелирование выполняют для дальнейшего сгущения нивелирной сети, для обеспечения топографи-

ческих съемок в масштабах 1 : 5000—1 : 500 и для целей изыскания, проектирования и строительства инженерных сооружений.

2. *Тригонометрическое нивелирование.* Превышения точек при этом способе нивелирования определяют наклонным визирным лучом, т. е. используют значения вертикальных углов, измеренных вертикальными кругами теодолитов и кипрегелей.

Тригонометрическим нивелированием определяют превышения по сторонам теодолитных и высотных ходов, по сторонам триангуляции и полигонометрии.

При тригонометрическом нивелировании погрешность в превышении пропорциональна расстоянию между точками.

Тригонометрическое нивелирование применяют для обеспечения топографических съемок в горных, предгорных и всхолмленных районах с высотой сечения рельефа 2 и 5 м.

При высотном обосновании топографических съемок с высотой сечения рельефа 1 м тригонометрическое нивелирование допускается только в особых случаях.

§ 41. ВИДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Существуют два способа геометрического нивелирования: из середины и вперед.

При нивелировании *из с е р е д и н ы* (рис. 63) в точках *A* и *B* вертикально устанавливают рейки с делениями, позволяющими делать по ним отсчеты, а между ними, по возможности на одинаковом расстоянии от реек, в точке *C* — нивелир. Визирную ось трубы приводят в горизонтальное положение и, последовательно наводят зрительную трубу нивелира на рейки, берут по ним отсчеты *З* и *П*, представляющие отрезки от точек *A* и *B* до визирного луча. Очевидно, превышение *h* между точками *A* и *B* будет вычисляться по формуле $h = З - П$.

Отметка последующей точки H_B будет равна отметке предыдущей точки H_A плюс превышение между ними:

$$H_B = H_A + h.$$

При нивелировании *в п е р е д* (рис. 64) нивелир устанавливают в начальной точке *A*, а в передней точке *B* устанавливают рейку. Затем делают отсчет *П* по рейке и измеряют высоту нивелира *i*, представляющую верти-

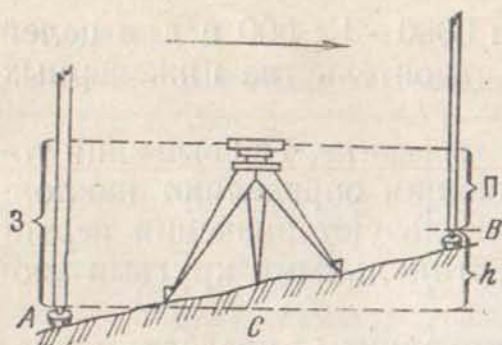


Рис. 63. Схема нивелирования из середины

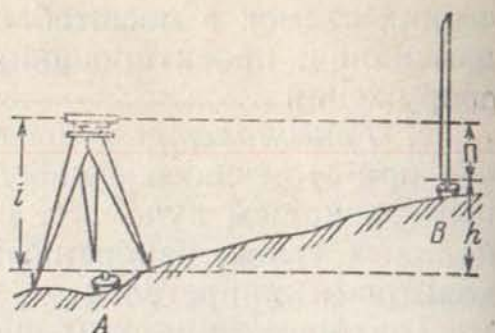


Рис. 64. Схема нивелирования вперед

кальное расстояние от центра окуляра зрительной трубы прибора до точки A . Очевидно, как видно из рис. 64, превышение h между точками A и B будет

$$h = i - П.$$

Нивелирование из середины имеет много преимуществ, и поэтому как при прокладке ходов нивелирования, так и при передаче высот через препятствия пользуются этим способом. Нивелирование вперед используется только при поверках нивелиров.

§ 42. НИВЕЛИРЫ И ИХ УСТРОЙСТВО

В нивелире должны быть соблюдены следующие геометрические условия.

1. Вертикальная ось нивелира должна быть отвесна. Это условие достигается при помощи подъемных винтов и наблюдением за положением круглого уровня.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальна. Для этого необходимо, чтобы она была параллельна оси цилиндрического уровня. Горизонтирование визирной оси производят элевационным винтом.

3. Сетка нитей должна быть расположена так, чтобы ее вертикальный штрих был параллелен оси вращения прибора, а горизонтальный перпендикулярен к этой оси.

По точности нивелиры разделяются на высокоточные Н-05 (Н2) для нивелирования I и II классов, точные Н-3 (НЗ и НС4) для нивелирования III и IV классов и технические Н-10 (НТ и НТСК) для технического нивелирования (табл. 21). Цифры, следующие за буквой Н, указывают точность нивелира (среднюю квадратическую погрешность на 1 км двойного хода).

Т а б л и ц а 21

Основные технические характеристики нивелиров

Основные характеристики	Н2	НА-1	НЗ	НВ-1	НС4	НТ	НТСК
Увеличение зрительной трубы, крат	40	41,8	31	31	30,5	23	20
Цена деления цилиндрического уровня на 2 мм	10"	10"	15"	17—23"	—	45"	—
Цена деления установочного уровня на 2 мм	5'	5'	5'	7—15'	10'	10'	10'
Диапазон работы компенсатора	—	—	—	—	$\pm 15'$	—	$\pm 15'$
Наименьшее расстояние визирования, м	2	3	2	3	2,5	1,5	2,0
Масса нивелира, кг	6	5,8	1,8	1,8	2,0	1,0	1,5
Масса упаковочного ящика, кг	4,8	5,3	2,0	2,0	2,0	0,7	2,0

На геодезических работах еще применяют высокоточный нивелир НА-1 и точный НВ-1, выпускавшиеся ранее.

Нивелиры Н2 и НА-1 применяются также и при нивелировании III класса — горных районах. Нивелир НЗ отличается от нивелира НВ-1 только тем, что на нем установлены более точные уровни, улучшены зрительная труба и внешний вид.

Нивелир НЗ подробно рассмотрен в работе [4].

Н и в е л и р НС4: зрительная труба 4 нивелира имеет объектив 5 (рис. 65), фокусирующее устройство, перемещающееся головкой 3, сетку нитей и окуляр 2. Между фокусирующей линзой и сеткой нитей расположен призмный компенсатор. Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм. Чувствительным элементом компенсатора служит нижняя призма, подвешенная на двух парах скрещивающихся стальных нитей. Компенсатор снабжен ограничителем, предохраняющим нити от обрыва. Ошибка самоустановки визирной линии в горизонтальное положение $\pm 0,4''$. Колебание компенсатора гасится воздушным демпфером поршневого типа.

Закрепительное устройство у прибора отсутствует. Вертикальная ось нивелира имеет такое трение, что при вращении головки наводящего устройства 6 зрительная труба медленно поворачивается по азимуту. Однако при

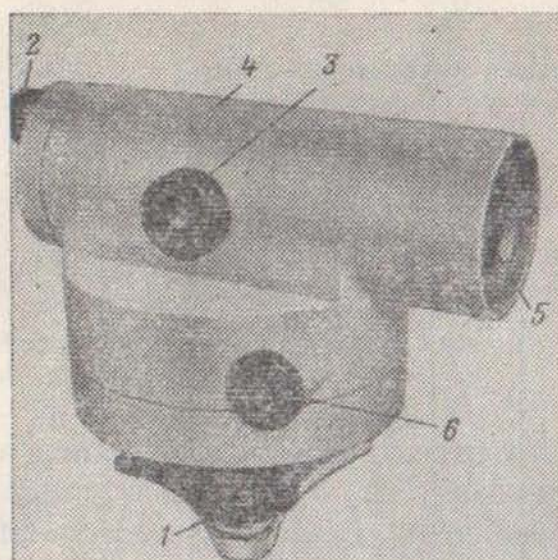
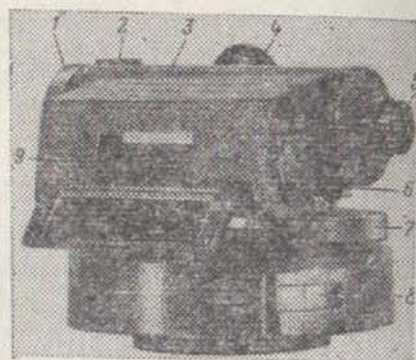


Рис. 65. Нивелир НС4

Рис. 66. Нивелир НТ



наводке зрительной трубы на рейку от руки зрительная труба вращается легко и устанавливается в нужное положение надежно. Наводящее устройство имеет винт с бесконечной подачей.

Прибор устанавливают в горизонтальное положение тремя подъемными винтами 1 по круглому уровню, расположенному с левой стороны нивелира. Уровень имеет отражатель и исправительные винты.

Подъемные винты прибора имеют увеличенный шаг резьбы, что позволяет быстрее приводить нивелир в рабочее положение без снижения точности нивелирования.

Н и в е л и р НТ: зрительная труба прибора 3 с объективом 1 и окуляром 5 (рис. 66) с левой стороны имеет прилив, в котором расположены компенсированный контактный цилиндрический уровень и призмное устройство, передающее изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы. В приливе имеются окно 9 для освещения уровня и крышка 6, закрывающая четыре исправительных винта уровня.

Для визирования корпус зрительной трубы имеет удлиненную мушку 2. Перемещение фокусирующего устройства осуществляется вращением головкой винта 4.

В рабочее положение нивелир приводится по круглому уровню, который находится справа от зрительной трубы и виден со стороны окуляра через зеркало в крышке уровня. Подставки (трегера) и подъемных винтов нивелир не имеет. Головка штатива снабжена шаровой плитой, которая позволяет приводить прибор в рабочее положение без помощи подъемных винтов.

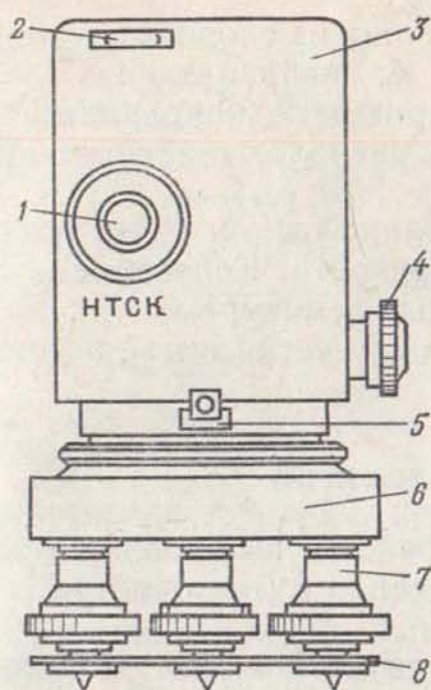
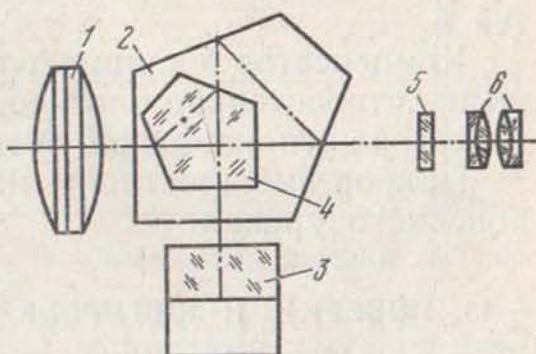


Рис. 67. Схема нивелира НТСК

Рис. 68. Схема оптической системы нивелира НТСК



Прибор закрепляется на штативе становым винтом, рукоятка которого служит для установки прибора в ра-

бочее состояние по круглому уровню. Рукоятка станового винта имеет приспособление (дужку) для подвешивания отвеса. Точная установка визирной оси в горизонтальное положение осуществляется элевационным винтом 7. У прибора нет закрепительного и наводящего устройств, наведение на рейку производят от руки. В нижней вращающейся части прибора расположен горизонтальный металлический круг 8. Горизонтальный круг рассматривают через окно во вращающейся части нивелира. Отсчет по горизонтальному кругу снимают по индексу. Круг разделен на градуные деления, которые оцифрованы через 10° . Отсчеты можно брать с точностью $0,2^\circ$, разделяя градус на глаз.

Н и в е л и р НТСК имеет самоустанавливающуюся ось визирования. Зрительная труба нивелира 1 (рис. 67) закрыта термоизоляционным кожухом 3. В рабочее положение нивелир приводят по круглому установочному уровню 2 подъемными винтами 7. Фокусировка осуществляется головкой 4. В верхней части подставки 6 имеется горизонтальный круг 5 с ценой деления шкалы лимба 1° . Горизонтальный круг можно поворачивать от руки. Нижняя часть подставки имеет подъемные винты и пластину с втулкой 8 для крепления прибора на штативе становым винтом. Закрепительного и наводящего приспособлений прибор не имеет. Наведение нивелира на рейки проводится от руки.

Ломаная зрительная труба состоит из сложного объектива 1 (рис. 68), пентапризмы 4, направляющей луч в призму компенсатора 3, пентапризмы 2, направляющей луч в окуляр 6, перед которым расположена сетка нитей 5.

Компенсатор 3 занимает постоянно одно и то же положение относительно плоскости горизонта. Колебание компенсатора успокаивается воздушным демпфером.

Прибор имеет юстировочные винты сетки нитей и установочного уровня.

§ 43. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА НИВЕЛИРОВ

Перед выездом на полевые работы необходимо убедиться в полной исправности нивелира путем осмотра его и поверок.

О с м о т р, который предшествует поверке, устанавливает отсутствие шатаний и неправильного хода подъемных винтов, а также винтов закрепительного и наводящего устройств. Проверяют чистоту оптических деталей, контрастность и четкость одновременного изображения сетки нитей и концов пузырька уровня, качество изображения, плавность вращения головки, перемещающей фокусирующую линзу.

Изменение наклона зрительной трубы при помощи элевационного винта должно быть плавным, без скачков. Совмещение изображений концов пузырька уровня должно быть вблизи центральной части окошечка.

Затем приступают к п о в е р к а м.

1. *Поверка вращения подъемных винтов.* Подъемные винты при плотно завинченном становой винте должны вращаться легко и плавно. При слишком тугом или слишком свободном вращении ход их регулируют. Для этого слегка отпускают становой винт и поочередно вывинчивают подъемные винты до тех пор, пока не станут видны круглые отверстия на их стержнях. Совмещают эти отверстия с углублениями, имеющимися на внутренней втулке подъемного винта. В это отверстие вставляют шпильку и поворачивают весь винт до тех пор, пока вращение его не станет нормальным.

2. *Поверка плавности вращения прибора вокруг оси.* Вращение должно быть легким и плавным. В противном случае нужно провести чистку и смазку оси часовым маслом. Как освободить ось нивелира того или иного типа

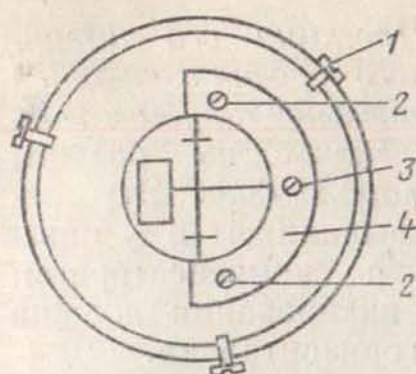


Рис. 69. Схема устройства сетки нитей нивелира

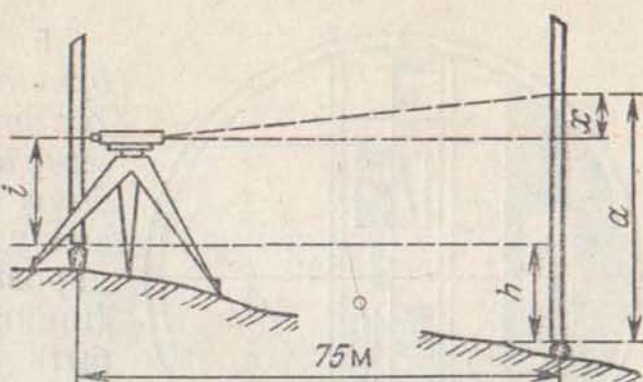


Рис. 70. Схема определения величины x

для чистки и смазки, изложено в описании каждого прибора (паспорте), прилагаемом к нему.

3. *Проверка и юстировка круглого установочного уровня.* Ось уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Приводят пузырек уровня в нуль-пункт при помощи подъемных винтов (рукоятки станкового винта для НТ). Поворачивают вращающуюся часть нивелира на 180° . Если пузырек отклонится от нуль-пункта, то его приводят в нуль-пункт, перемещая на половину отклонения исправительными винтами, а на другую — подъемными винтами (рукояткой станкового винта у НТ). При этом так юстировать можно не всегда (см. в § 32 разъяснения, сделанные к проверке 2).

4. *Проверка и исправление установки сетки нитей.* Сетка должна быть установлена так, чтобы вертикальный ее штрих был параллелен оси вращения прибора, а горизонтальный — перпендикулярен к этой оси.

Тщательно приводят по уровню ось вращения нивелира в отвесное положение и наводят основной горизонтальный штрих сетки нитей на какую-нибудь хорошо видимую точку, находящуюся на расстоянии 15—20 м от нивелира. Наводящим устройством медленно вращают зрительную трубу нивелира по азимуту и смотрят, не сходит ли горизонтальный штрих с наблюдаемой точки. Если при этом горизонтальный штрих сходит с точки более 1 мм, то установку сетки надо исправить. Для этого вывинчивают винты 1 (рис. 69) и снимают окуляр. Отпускают винты 2 и 3 и осторожно поворачивают секторную пластинку 4 с сеткой нитей. Не закручивая винтов 2 и 3, проверяют, хорошо ли исправлена установка сетки нитей, и только после этого закручивают все винты.

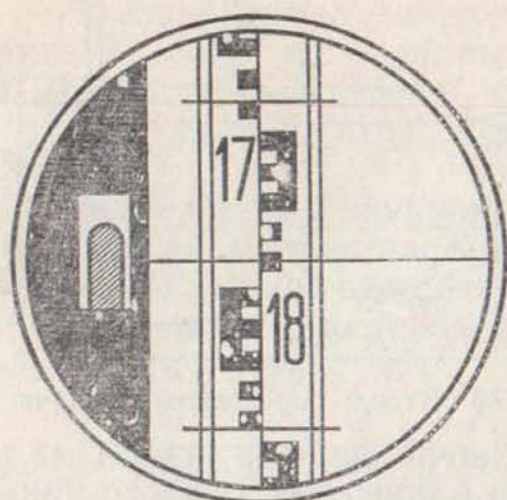


Рис. 71. Отсчет по рейке

5. Проекция оси цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы на отвесную плоскость должны быть параллельны. Эту проверку выполняют и у нивелиров с компенсаторами. Линия визирования должна быть горизонтальна.

Проверку осуществляют двойным нивелированием вперед с концов линии длиной 75 м. На концах линии забивают по одному колышку. На один колышек устанавливают

рейку, а рядом с другим — нивелир. Нивелир надо устанавливать так, чтобы его окуляр находился не далее 1—2 см от вертикально установленной на колышке рейки (рис. 70).

Приводят нивелир в рабочее состояние, наводят его на дальнюю рейку, элевационным винтом контактируют уровень и снимают отсчет a_1 . Отсчет производят в миллиметрах по основному горизонтальному штриху рейки: сначала полные дециметры, затем полные сантиметры и, наконец, доли сантиметров на глаз. На рис. 71 отсчет на рейке будет:

17 дм —	1700 мм
8 см —	80 мм
0,5 см —	5 мм
	<hr/>
	1785 мм

Высоту нивелира i_1 отсчитывают по другой рейке. Для этого смотрят на рейку, установленную по уровню вертикально рядом с нивелиром, через объектив, предварительно надев на него крышку, в середине которой имеется специальное отверстие (при утере крышки ее нетрудно изготовить из картона). Наблюдатель смотрит через объектив, а помощник при помощи движка (в качестве движка удобно лезвие безопасной бритвы) отмечает на рейке середину видимого отверстия и делает по ней отсчет, который и является высотой нивелира. Отсчеты делают по черным сторонам реек.

После этого переносят нивелир ко второму колышку и выполняют аналогичные измерения, в результате которых получают отсчеты a_2 и i_2 .

Таблица 22

Определение величины x Нивелир: НЗ, $d = 75,4$ м

Номер приема	Номер костьля	Высота нивелира i , мм	Отсчет по рейке a , мм	x , мм
I	1	1230	1522	
	2	1288	0970	
II		Сумма: 2518	2492	+13,0
	1	1269	0950	
	2	1248	1545	
		Сумма: 2517 $x_{\text{ср}} = +12,0$ мм	2495	+11,0

Вычисляют величину x

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Затем повторяют определение x — делают второй прием. Величины x из двух приемов не должны различаться между собой более чем на 2 мм. Если расхождение допустимо, то из двух значений берут среднее (табл. 22). Среднее значение величины должно быть не более 4 мм на 75 м. Если величина x больше, необходима юстировка цилиндрического уровня.

Для юстирования при помощи элевационного винта наводят основной горизонтальный штрих сетки на отсчет по рейке

$$a = a_2 + x_{\text{ср}}.$$

В нашем примере на отсчет, равный $1545 \text{ мм} + 12 \text{ мм} = 1557 \text{ мм}$. Изображения концов уровня разойдутся. Вертикальными исправительными винтами уровня точно совмещают изображения концов пузырька, следя за тем, чтобы отсчет по рейке оставался равным a (1557 мм). Проверку и, если нужно, исправление повторяют.

У нивелиров с компенсатором юстирование проводят перемещением сетки нитей вертикальными исправительными винтами.

Определение величины x выполняют перед началом работ, а затем — каждый день. Если в течение первых 15

Т а б л и ц а 23

Определение погрешности некомпенсации

20 мая 1982 г. Нивелир НС4 № 1048. Расстояние между рейками 100 м.

Номер приема	Обозначение	Пузырек уровня в нуль-пункте	Продольный наклон		Поперечный наклон	
			+5'	-5'	+5'	-5'
I	З	0847	0845	0848	0846	0844
	П	1085	1084	1088	1084	1085
	h	-238	-239	-240	-238	-241
II	З	0612	0610	0609	0611	0608
	П	0851	0852	0850	0851	0846
	h	-239	-242	-241	-240	-238

Остальные три приема на это расстояние не приводятся.

Т а б л и ц а 24

Обработка материалов определения некомпенсации

20 мая 1982 г. Нивелир НС4 № 1048.

Номер приема	Пузырек уровня в нуль-пункте	Превышение, м			
		Продольный наклон		Поперечный наклон	
		+5'	-5'	+5'	-5'
$d = 50 \text{ м}$					
1	-0,238	-0,239	-0,240	-0,238	-0,241
2	-0,239	-0,242	-0,241	-0,240	-0,238
3	-0,240	-0,238	-0,239	-0,237	-0,242
4	-0,238	-0,240	-0,239	-0,240	-0,242
5	-0,240	-0,241	-0,240	-0,239	-0,241
Среднее	-0,239	-0,240	-0,240	-0,239	-0,241
$d = 100 \text{ м}$					
1	+1,112	+1,109	+1,110	+1,108	+1,109
2	+1,110	+1,112	+1,114	+1,110	+1,111
3	+1,114	+1,113	+1,110	+1,109	+1,112
4	+1,111	+1,111	+1,112	+1,107	+1,108
5	+1,113	+1,110	+1,114	+1,111	+1,110
Среднее	+1,112	+1,111	+1,112	+1,109	+1,110

З а к л ю ч е н и е. Нивелир НС4 № 1048 пригоден для нивелирования III класса.

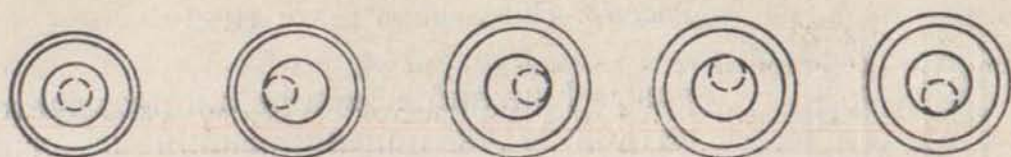


Рис. 72. Положение круглого уровня

дней окажется, что величина x не изменяется, то поверку можно выполнять через 10—15 дней.

6. *Определение погрешности некомпенсации у нивелиров с компенсатором.* Для этой поверки нивелир устанавливают строго в створе и точно посередине между двумя рейками. Рейки устанавливают на вбитые колышки на определенном расстоянии от нивелира и крепят в рейкодержателях или привязывают их к штативам, чтобы они во время поверки не изменяли своего положения.

Для проведения нивелирования III класса поверку выполняют до производства работ при расстояниях до реек от нивелира 50 и 100 м и через два-три месяца после начала работ при расстоянии до реек 100 м. При нивелировании IV класса и техническом нивелировании поверку выполняют только перед началом работ, а рейки устанавливают только на расстоянии 100 м (табл. 23 и табл. 24).

При положениях круглого уровня, показанных на рис. 72, измеряют превышения по черным сторонам реек. Наблюдения при каждом расстоянии от нивелира до реек выполняют пятью приемами. Перед каждым приемом изменяют высоту нивелира.

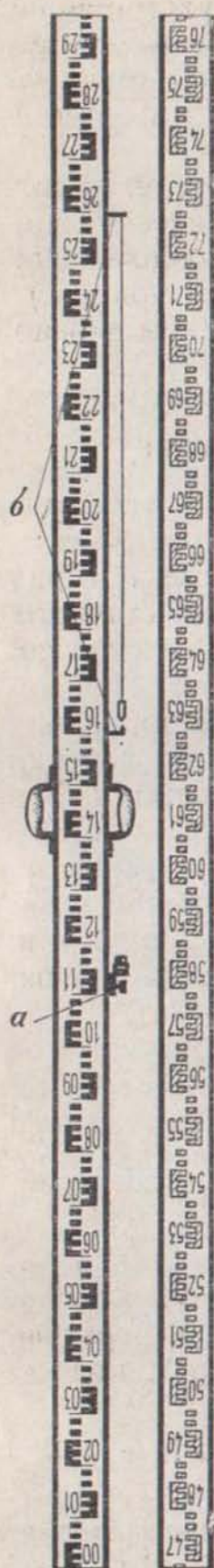
При продольных и поперечных наклонах нивелира средние превышения из пяти приемов не должны отличаться от превышения, полученного при положении пузырька уровня в нуль-пункте, более чем на 3 мм при нивелировании III класса и 5 мм при нивелировании IV класса и техническом нивелировании.

Если расхождения больше допустимых, то нивелир без юстировки нельзя применять. Юстировка недопустимой погрешности недокомпенсации проводится только на заводах.

§ 44. НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ТОЧКИ

Для нивелирования III класса применяют двухсторонние цельные деревянные трехметровые рейки НР-3. Нижний и верхний концы реек имеют металлические оп-

Рис. 73. Нивелирные рейки НР-3



равы. Нижний конец рейки называется пяткой. Для нивелирования из середины используют две рейки.

Рейки НР-3 (рис. 73) имеют сантиметровые деления — шашки, с одной стороны — черные, с другой — красные. Нули черных сторон реек совпадают с пяткой рейки; занумерован каждый дециметр арабскими цифрами от 0 до 29. Нуль красной стороны на одной рейке комплекта смещен на 4683 мм (или 4687 мм), а на второй — на 4783 мм (или 4787 мм). Дециметровые деления оцифрованы от 47 до 76 на одной рейке и от 48 до 77 — на другой. Такая оцифровка комплекта реек обеспечивает контроль в измерениях превышений на станциях.

Рейки имеют две ручки, обеспечивающие устойчивость рейки в вертикальном положении, круглый установочный уровень *а* для установки рейки в отвесное положение и два кронштейна *б* для подвешивания и центрирования отвеса (см. рис. 73).

Случайные погрешности дециметровых и метровых интервалов реек для нивелирования III класса не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

При нивелировании в горных районах следует применять инварные штриховые рейки РН-2.

Для нивелирования IV класса используют те же деревянные трехметровые рейки, что и при нивелировании III класса. Случайные погрешности дециметровых и метровых интервалов реек для нивелирования IV класса не должны превышать $\pm 1,0$ мм.

Для технического нивелирования используют как трехметровые цель-

ные рейки, так и складные одно- и двухсторонние рейки длиной 3—4 м. Случайные погрешности дециметровых и метровых интервалов реек для технического нивелирования могут достигать $\pm 2,0$ мм. Рейки могут не иметь уровней.

При нивелировании III класса в качестве переходных точек для постановок реек применяют металлические колышки, деревянные колья (на влажных, заболоченных грунтах) и деревянные башмаки (при снежном покрове).

При нивелировании IV класса и техническом можно применять металлические башмаки.

§ 45. ПОВЕРКИ И ИСПЫТАНИЯ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

1. *Проверка установок круглых уровней на рейках.* Оси уровней должны быть параллельны осям реек.

Проверку можно проводить при помощи отвеса (в защищенном от ветра месте) или при помощи вертикального штриха сетки нитей нивелира (при любой погоде в любом месте).

Проверку установок круглых уровней на рейках выполняют ежедневно перед каждым выходом на работу.

2. *Определение прогиба рейки.* Рейку кладут горизонтально на боковое ребро и между ее концами с вогнутой стороны рейки натягивают нить или тонкую металлическую проволоку. При помощи линейки с миллиметровыми делениями измеряют расстояния a_1 , a_2 , a_3 от нитки до поверхности рейки около делений 1, 15 и 29 на черной стороне или 48, 63 и 76 — на красной (рис. 74).

Прогиб рейки вычисляют по формуле

$$f = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}.$$

Для шашечных деревянных реек прогиб не должен быть более 10 мм.

Прогиб реек определяют перед началом работ и один раз в месяц во время работ. Если во время работ прогиб рейки стал приближаться к 10 мм, то во время перерывов в работе (на ночь) рейку укладывают на упоры под ее серединой или по краям (рис. 75).

Пример. При помощи линейки определили $a_1 = 5$ мм, $a_2 = 15$ мм, $a_3 = 7$ мм. Прогиб рейки $f = 15 - 6 = +9,0$ мм.

3. *Определение разности высот нулей реек.* Перед началом работ определяют разности высот нулей черных

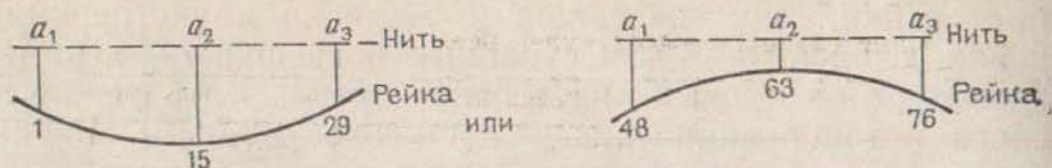


Рис. 74. Схема определения прогиба рейки

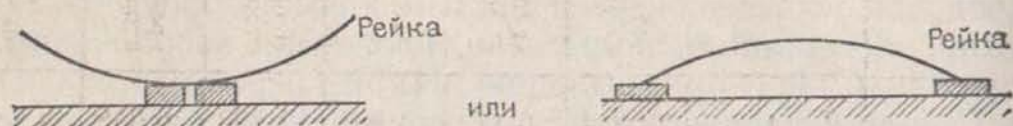


Рис. 75. Схема укладки нивелирной рейки

и красных сторон комплекта реек и разности высот нулей красной и черной сторон каждой рейки. Если разность высот нулей черных и красных сторон более ± 1 мм при нивелировании III и IV классов и более ± 2 мм при техническом нивелировании, то при нечетном числе штативов в секции необходимо вводить поправку в превышение.

На расстоянии 15—20 мм от нивелира забивают четыре колышка так, чтобы их высоты различались на 50—200 мм. На каждый колышек поочередно устанавливают обе рейки и делают отсчеты по черной и красной сторонам каждой. Эти действия составляют один прием. Необходимо выполнить два приема. Перед вторым приемом изменяют высоту нивелира на 3—7 см.

Значения разностей для каждой рейки не должны различаться между собой более чем на 3 мм (табл. 25).

4. *Контрольная линейка. Определение средней длины метра пары реек.* Длину метра комплекта реек определяют при помощи контрольной линейки.

Контрольная линейка длиной 1,05 м имеет два скошенных края. На одном нанесены деления через 1 мм, на другом — через 0,2 мм. Для отсчитывания делений на линейке укреплены две лупы, которые передвигаются вдоль линейки на салазках. Лупы устанавливают по глазу передвижением в вертикальной плоскости в их держателях. В линейку сверху в средней части вмонтирован термометр. Длину линейки получают компарированием, в результате которого получают уравнение линейки, например: $\alpha = 1000 + 0,02 + 0,018 (t - 17,0^\circ \text{C})$. Это значит, что метровый интервал линейки при температуре $+17,0^\circ \text{C}$ имеет фактическую длину 1000,02 мм. Коэффициент

Таблица 25

Определение разности высот нулей реек

Номер приема	Номер костыля	Рейка 61			Рейка 62		
		Отсчеты		Разность отсчетов	Отсчеты		Разность отсчетов
		черная сторона	красная сторона		черная сторона	красная сторона	
I	1	1 324	6 112	4 788	1 322	6 008	4 686
	2	1 412	6 198	4 786	1 411	6 097	4 686
	3	1 531	6 318	4 787	1 533	6 222	4 689
	4	1 607	6 396	4 789	1 609	6 297	4 688
II	1	998	5 784	4 786	1 001	5 688	4 687
	2	1 088	5 876	4 788	1 090	5 778	4 688
	3	1 206	5 993	4 787	1 204	5 892	4 688
	4	1 280	6 066	4 786	1 278	5 964	4 686
Сумма:		10 446	48 743	38 297	10 448	47 946	37 498
Среднее:		1 305,8	6 092,9	4 787,1	1 306,0	5 993,2	4 687,2

Разность высот нулей красной и черной сторон:
рейки 61 = 4787 мм, рейки 62 = 4687 мм.

Разность высот нулей реек 61 и 62:

черных сторон: $1305,8 - 1306,0 = -0,2$ мм,

красных сторон: $6092,9 - 5993,2 = +99,7$ мм.

Пары реек: $-0,2 - 99,7 = -99,9$ мм ≈ 100 мм.

0,018 представляет увеличение длины метрового интервала при изменении температуры на 1°C .

Отсчеты по контрольной линейке проводят по краю, на котором каждый миллиметр разграничен штрихами на пять частей, при помощи лупы с точностью 0,1 деления, т. е. 0,02 мм (наименьшее деление делят на десять частей на глаз). На линейке подписаны сантиметровые деления от 0 до 100.

На рис. 76 показан в увеличенном виде 1 см шкалы контрольной линейки. Отсчет по штриху *a* (рис. 76) определяется так:

отсчитывают полные сантиметры $1,0 = 10,00$ мм;

отсчитывают полные миллиметры $1,0$ мм = 1,00 мм;

отсчитывают доли миллиметра так, как если бы миллиметр был разделен не на пять, а на десять частей, а чтобы получить десятые или сотые доли миллиметров, полученный отсчет увеличивают в два раза: $0,32$ мм $\times 2 = 0,64$ мм.

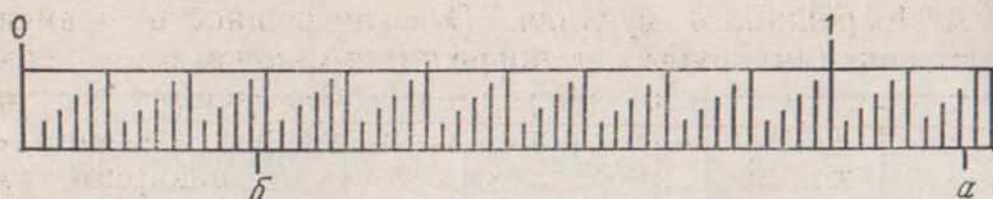


Рис. 76. Отсчет по контрольной линейке

Полный отсчет по штриху *а* будет равен 11,64 мм. Отсчет по штриху *б* (см. рис. 76) будет равен $2 + 0,44 \times 2 = 2,88$ мм. Таким образом, отсчеты по линейке могут быть только четными числами.

Среднюю длину метра пары реек определяют в закрытом помещении, в которое за 1—2 ч до испытания вносят рейки и контрольную линейку. В полевых условиях испытание разрешают проводить в палатке.

Пример выполнения определения средней длины метра пары реек, ведения записей и обработки материалов приведен в Инструкции [7].

Среднюю длину метра пары реек определяют при производстве нивелирования III класса перед началом работ, один раз в месяц в процессе работ и по их окончании. При работе в горных районах среднюю длину метра комплекта определяют через 10—15 дней.

При производстве нивелирования IV класса определение выполняют до начала и по окончании работ, в горных районах — дополнительно еще один раз в месяц.

При производстве технического нивелирования определение производят только перед началом работ.

5. *Определение погрешностей дециметровых делений реек.* Определяют той же контрольной линейкой. Пример выполнения, ведения записей и обработки материалов приведен в Инструкции [7].

Определение погрешностей дециметровых делений выполняют при нивелировании III класса перед началом работ и по их окончании, при нивелировании IV класса — перед началом работ, при техническом нивелировании — только для новых реек или при получении реек из ремонта (перекраски).

§ 46. ПОГРЕШНОСТИ НИВЕЛИРОВАНИЯ

На точность нивелирования влияют погрешности личные, приборов и погрешности, вызванные влиянием внешней среды.

1. Погрешность взгляда. Эта погрешность зависит от увеличения трубы, от погрешности отсчета по рейке и округлении его, от погрешности совмещения концов пузырька контактного уровня (в нивелирах с компенсаторами — от погрешности самоустановки визирной линии) и от длины визирного луча.

В нивелировании нужно очень осторожно подходить к увеличению расстояния между нивелиром и рейками и к применению нивелиров, не предусмотренных действующей Инструкцией [7].

2. Погрешность, вызванная непараллельностью визирной оси зрительной трубы и осью цилиндрического уровня. Если принять величину $x = 4$ мм, то при допустимых неравенствах плеч 2, 5 и 10 м погрешности в превышениях на станции будут соответственно равны 0,10; 0,25 и 0,50 м. Поэтому недопустимо, чтобы неравенства были все время с одним знаком, а величина x была больше 4 мм на 75 мм. Величину x необходимо систематически определять и при необходимости своевременно юстировать.

3. Погрешность, обусловленная изменением средней длины метра комплекта реек. Деревянные рейки в течение времени под воздействием изменения температуры и влажности воздуха изменяют свою длину. Колебания в длине реек могут достигать 1 мм на 1 м рейки. Эти погрешности пропорциональны величинам превышений, т. е. значительны на местности с большими перепадами высот и незначительны на местности равнинной.

Нужно строго выдерживать сроки определения средних длин метровых интервалов и обязательно определять их после резких изменений погоды.

4. Погрешность, возникающая вследствие неравенства высот нулей реек. Влияние этой погрешности будет полностью исключено, если правильно чередовать рейки (задняя рейка на следующей станции должна становиться передней) и не допускать по секциям нечетного числа штативов.

5. Погрешность, вызванная прогибом реек, происходящим как под воздействием внешних условий, так и от небрежного отношения к ним. При стрелке прогиба $f = 11$ м длины метровых интервалов изменяют длину на величину порядка 0,1 мм. Поэтому во время производства работ требуется определять стрелку прогиба и хранить рейку так, чтобы она уменьшалась.

6. Погрешность из-за неточной установки рейки в отвесное положение. Эта погрешность в превышении всегда положительна и не зависит от того, в какую сторону наклонена рейка.

Погрешности в отсчетах и превышениях при установке реек по выверенным круглым уровням ничтожно малы. При техническом нивелировании можно применять рейки без уровней. Для ослабления погрешности от наклона рейку в момент взятия отсчета реечник медленно покачивает назад-вперед. Наблюдатель берет по покачиваемой рейке минимальный отсчет, который и будет верным.

7. Погрешность от изменения величины x в результате тепловых воздействий. Это один из важнейших источников погрешностей нивелирования.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает приборы для нивелирования III и IV классов и технического нивелирования, у которых величина x на расстояние 75 м изменяется на 0,4—1,0 мм при изменении температуры на 1 °C.

Влияние этой погрешности можно свести к минимуму соблюдением следующих условий: 1) строгим выполнением на станциях установленной последовательности наблюдений ($З_1$, $П_1$, $П_2$, $З_2$); 2) защитой нивелира (зонтом и чехлом) на станциях и во время переходов со станции на станцию от попадания на него солнечных лучей.

8. Погрешность, вызванная оседанием или выпучиванием костыля при переходе на последующую станцию. Эти погрешности полностью входят в результаты одностороннего нивелирования. В прямом и обратном ходах эти погрешности имеют противоположные знаки и будут исключаться в средних превышениях. Поэтому при нивелировании III класса необходимо: нивелирование выполнять обязательно в прямом и обратном направлениях, прокладывать их по одной и той же трассе и использовать одни и те же костыли.

При нивелировании IV класса ограничиваются выбором переходных точек и выбором мест для их установки. Наибольшее перемещение по высоте переходных точек наблюдается на влажных, мягких и каменистых грунтах.

9. Погрешность, обусловленная перемещением по высоте переходных точек и штатива нивелира при работе на станции. Костыли и башмаки оседают под тяжестью реек и неизбежного нажима реечника в то время, когда он удерживает рейку в отвесном положении.

Штатив подвержен выпучиванию. Оседание штатива отмечают весной, когда только начинает оттаивать верхний слой грунта.

Эти перемещения реек и штатива происходят более или менее равномерно. Если промежутки времени между моментами отсчетов по рейкам симметричны, то погрешности в первом превышении, полученном при взгляде назад и взгляде вперед, и во втором — при взгляде вперед и взгляде назад, будут равны по величине, но противоположны по знаку. Среднее превышение, полученное таким методом по черным и красным сторонам реек, в значительной степени будет свободно от погрешности, вызванной перемещением костылей и штативами.

Поэтому необходимо строго соблюдать на станциях установленную последовательность наблюдений (Z_1 , P_1 , P_2 , Z_2). Кроме того, штатив необходимо устанавливать без перекосов, не углублять с большой силой его ножки в грунт.

10. Погрешность, возникающая вследствие колебаний изображений, вызванных конвекционными токами воздуха. Амплитуда колебаний отсчета по рейке при длине луча 50 м достигает в солнечные дни 1 мм и увеличивается с возрастанием длины луча. Когда колебания быстрые, они затрудняют отсчет и вызывают его погрешность, но они хорошо заметны для глаза. При нивелировании III и IV классов и техническом нивелировании нужно в таких случаях уменьшить длину визирного луча.

Опасны медленные колебания. Амплитуда колебаний отсчета по рейке такая же, что у быстрых колебаний. Период медленных колебаний равен нескольким минутам. Поэтому их трудно заметить глазом; изображение рейки в зрительной трубе кажется четким и совершенно спокойным.

Время, когда происходят медленные колебания, близко к восходу и заходу солнца, поэтому в это время не следует выполнять нивелирование, особенно III класса.

11. Погрешность, вызванная вертикальной рефракцией.

Влияние рефракции пропорционально квадрату расстояния до наблюдаемого предмета. Расстояние до реек при нивелировании небольшое, поэтому и погрешность вследствие вертикальной рефракции сравнительно небольшая. Влияние вертикальной рефракции значительно сильнее сказывается на склонах вследствие разной высоты луча до задней и передней реек.

Для ослабления влияния рефракции необходимо: строго выдерживать высоту визирных лучей на всем протяжении от нивелира до рейки и строго соблюдать на станциях установленную последовательность наблюдений ($З_1$, $П_1$, $П_2$, $З_2$).

§ 47. НИВЕЛИРОВАНИЕ III КЛАССА

Нивелирование III класса выполняют участками в 20—30 км в прямом и обратном направлении. При переходе от прямого хода к обратному рейки меняют местами. Эту смену реек осуществляют и проверяют на каждой секции обратного хода. (Технические требования к ходам нивелирования III класса см. в табл. 21).

Наблюдения на станции выполняют в такой последовательности.

1. Приводят ось нивелира в отвесное положение при помощи установочного уровня.

2. Наводят зрительную трубу на черную сторону задней рейки, вращением элевационного винта совмещают изображения концов пузырька уровня и делают отсчеты по дальномерным штрихам.

3. Проверяют совмещение изображений концов пузырька уровня и берут отсчет по среднему штриху сетки нитей.

4. Наводят зрительную трубу на черную сторону передней рейки и последовательно выполняют действия, указанные в пп. 2 и 3.

5. Рейки поворачивают на 180° .

6. Наводят трубу на красную сторону передней рейки и последовательно выполняют действия, указанные в п. 3.

7. Наводят трубу на красную сторону задней рейки и последовательно выполняют действия, указанные в п. 3.

При работе нивелиром с компенсатором, после того как зрительная труба наведена на рейку, сразу берут отсчеты.

Отсчеты по дальномерным штрихам используют для контроля среднего превышения на станции.

Результаты наблюдений записывают в журнал установленной формы.

На станции должны быть соблюдены следующие допуски (кроме неравенства плеч и высоты визирного луча).

1. Полусумма отсчетов по дальномерным штрихам, проведенным по черным сторонам реек, может отличаться от отсчета по среднему штриху не более чем на 3 мм;

2. Разность высот нулей черной и красной сторон каждой рейки не должна отличаться от его значения, определенного перед началом работ, более чем на 3 мм;

3. Расхождение между значениями превышений, полученными по черным и красным сторонам реек, не должно быть более 3 мм с учетом разности высот пары реек, определенной перед началом работ.

4. Полусумма контрольных превышений, полученных по дальномерным штрихам, не должна отличаться от среднего превышения, полученного по средним штрихам, более чем на 3 мм.

Если контроль превышает допустимые величины, то станцию в журнале аккуратно (по линейке) зачеркивают и выполняют заново, предварительно изменив высоту нивелира на 3—5 см.

Пример заполнения и обработки журнала нивелирования III класса приведен в Инструкции [7] и Руководстве [1].

По мере завершения нивелирования по секциям нужно заполнять ведомость превышений и высот хода. Расхождения между прямыми и обратными превышениями по секции не должны превышать $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина секции в километрах.

После окончания нивелирования хода или полигона подсчитывают невязки, которые не должны превышать $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — число километров в ходе или полигоне (в одном направлении).

§ 48. НИВЕЛИРОВАНИЕ IV КЛАССА

Нивелирование IV класса выполняют в одном направлении. Отсчеты по черным сторонам реек проводят по среднему штриху и по одному из дальномерных штрихов, по красным сторонам реек — только по среднему штриху.

Разность отсчетов по среднему и дальномерному штрихам позволяет получить не полное расстояние до реек, как и в нивелировании III класса, а его половину. Это нужно помнить и при определении неравенства расстояний от нивелира до реек и при вычислении длины секции. (Технические требования к ходам нивелирования IV класса см. в табл. 21).

Наблюдения на станции выполняют в такой последовательности.

1. Приводят нивелир в рабочее положение при помощи установочного уровня.

2. Наводят зрительную трубу на черную сторону задней рейки, вращением элевационного винта совмещают изображения концов пузырька уровня и берут отсчеты по дальномерному (одному) и среднему штриху сетки нитей. При работе нивелиром с компенсатором отсчитывание проводят сразу после наведения на рейку.

3. Наводят трубу на черную сторону передней рейки и выполняют действия, указанные в п. 2.

4. Наводят трубу на красную сторону передней рейки и, совместив точно изображения концов пузырька уровня вращением элевационного винта, отсчитывают по среднему штриху сетки нитей.

5. Наводят трубу на красную сторону задней рейки и выполняют действия, указанные в п. 4.

Результаты наблюдений записывают в журнал установленной формы.

На каждой станции должны быть соблюдены следующие допуски (кроме неравенства плеч и высоты визирного луча):

1) разность высот нулей черной и красной сторон каждой рейки не должна отличаться от его значения, полученного перед началом работ, более чем на 5 мм;

2) расхождение между значениями превышений, полученными по черным и красным сторонам реек, не должно быть более 5 мм с учетом разности высот пары реек, определенной перед началом работ.

Если расхождения превышают допустимые величины, то записи всех исполненных на станции отсчетов аккуратно зачеркивают и все измерения на станции повторяют вновь, предварительно изменив высоту нивелира на 3—5 см.

Аналогично поступают во всех случаях некачественных, ошибочных и неверных записей отсчетов.

Пример заполнения и обработки журнала нивелирования IV класса приведен в Руководстве [1].

После выполнения нивелирных работ в ходе или полигоне подсчитывают невязки, которые не должны превышать $\pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — число километров в длине хода или периметре полигона.

§ 49. ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Длина хода технического нивелирования, когда его выполняют для высотного обоснования топографических съемок, зависит от заданной высоты сечения рельефа (табл. 26).

Таблица 26

Допустимая длина хода (км) технического нивелирования

Ход	При высоте сечения рельефа		
	0,25 м	0,5 м	1 м и более
Между двумя исходными пунктами	2,0	8	16
Между исходным пунктом и узлов- вой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1,0	4	8

Нивелирование выполняют в одном направлении. Отсчеты по рейкам берут только по средней нити. При обычных двухсторонних рейках порядок работы на станции следующий: 1) отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки; 2) отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

Разрешается применение односторонних реек. В этом случае порядок работы на станции будет: 1) отсчет по задней рейке; 2) отсчет по передней рейке; 3) изменение горизонта нивелира не менее чем на 10 см; 4) отсчет по передней рейке; 5) отсчет по задней рейке.

Расхождение превышений на станции для двухсторонних и односторонних реек не должно превышать 5 мм.

Журнал тот же, что и в нивелировании IV класса.

Невязки по ходам не должны превышать $\pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина хода в километрах.

При применении технического нивелирования при инженерных изысканиях, например при прокладке трасс, нивелировании площадей и т. д., требования, программы наблюдений на станции, форма журнала, его обработка несколько иные. Все эти вопросы хорошо изложены в специальной литературе.

§ 50. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСОТ НИВЕЛИРНЫХ ЗНАКОВ

При вычислениях превышения и отметки высот округляют до величин, приведенных в табл. 27.

После выполнения всех контрольных вычислений в журналах и корректуры описаний местоположений знаков (абрисов) приступают к вычислению предварительных высот нивелирных знаков. Вычисления выполняют в ведомости превышений и высот пунктов нивелирования,

Таблица 27

Параметр	Класс нивелирования		
	III	IV	техническое
Превышения по станциям, мм	0,1	1,0	1,0
Превышения по секциям, мм	1	1	1
Средние превышения из прямого и обратного ходов, мм	1	—	—
Предварительные отметки, мм	1	1	1

форма которой приведена в Руководстве [1]. Ведомости нивелирования всех классов составляют в две руки и считают.

В ведомость выписывают результаты измерений из полевых журналов. Превышения записывают окончательные, т. е. исправленные за длину метра пары реек. При нивелировании III класса выписывают разности между превышениями прямого и обратного ходов и еще раз проверяют их допустимость. Затем пишут средние превышения. Отметки исходных знаков выписывают из каталога или из уравнивания ходов красными чернилами. Необходимо указать, откуда выписаны высоты исходных пунктов. Средние превышения суммируют.

В нивелировании IV класса и техническом нивелировании вычисляют сумму превышений. Подсчитывают невязку по ходу и сравнивают ее с допустимой.

Невязки по ходу определяют во всех классах нивелирования по формуле

$$f_h = \sum h - (H_k - H_n),$$

где h — превышение в IV классе и техническом нивелировании и среднее превышение в нивелировании III класса; H_k и H_n — высоты конечной и начальной точек хода, полученные из нивелирования высшего класса или в результате уравнивания.

На местности со значительными уклонами, когда число станций на 1 км хода более 25, допустимую невязку в техническом нивелировании подсчитывают по формуле

$$f_h = 10 \text{ мм } \sqrt{n},$$

где n — число станций в ходе или полигоне.

Невязку с обратным знаком разбрасывают по секциям, как правило, пропорционально числу штативов (станций). Для этого предварительно вычисляют поправку на один штатив.

Поправки записывают красными чернилами над соответствующими превышениями.

По исправленным поправками превышениям вычисляют высоты всех точек хода. Контролем вычисления высот служит получение высоты конечной точки.

Ведомость превышений и высот знаков для нивелирования IV класса и технического нивелирования имеет такую же форму. При нивелировании IV класса и техническом нивелировании графы ведомости, предназначенные для данных обратного хода, остаются незаполненными.

Практические занятия. Поверка нивелиров, компарирование реек, обработка журналов нивелирования IV и III классов.

Глава 8

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

§ 51. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Под топографической съемкой понимают совокупность действий (полевых и камеральных), в результате которых получают изображение на бумаге какого-либо участка земной поверхности в заданном масштабе. Цель топографической съемки — создание государственных топографических планов и карт.

Плановой геодезической основой топографических съемок служат пункты государственной геодезической сети 1, 2, 3 и 4 классов, сетей сгущения и пункты съемочного геодезического обоснования. Высотной геодезической основой топографических съемок служат марки и реперы государственной нивелирной сети I, II, III и IV классов, технического нивелирования и центры пунктов геодезических сетей, сетей сгущения и съемочного обоснования, высоты которых определены нивелированием.

Топографические съемки по методам их производства подразделяют на наземные и аэрофототопографические.

Наземные методы — когда предметы, контуры и рельеф получают на планах с заданной точностью в результате непосредственных полевых измерений.

Аэрофототопографические методы — когда съемку проводят при помощи фотографирования земной поверхности с самолета. При этих съемках часть работы по составлению топографических планов переносится с поля в камеральные цеха.

Основными методами топографических съемок являются аэрофототопографические методы: стереотопографический и комбинированный. Предпочтение всегда отдают стереотопографическому методу. В этом методе аэрофотоснимки используют как для создания контурной части планов, так и для рисовки рельефа. Рельеф рисуется камерально на основе высотных опознаков. Стереотопографический метод значительно экономичней, он до 50 % сокращает объем полевых работ. Но данный метод топографической съемки не применяют: в районах со слабо выраженным рельефом, при создании планов с высотой сечения рельефа 0,5 и 1,0 м; на территориях, покрытых сплошной достаточно высокой растительностью (сады, кустарники, камыш), и при создании планов масштабов 1 : 1000—1 : 500 на объектах с плотной многоэтажной застройкой.

В вышеперечисленных случаях применяют комбинированный аэрофототопографический метод топографической съемки. Сущность этого метода в том, что контурную часть планов создают фотограмметрической обработкой аэрофотоснимков, а рельеф снимают и рисуют непосредственно в поле на изготовленных фотопланах.

При отсутствии материалов аэросъемки, при нецелесообразности производства залета, например на небольших участках, топографическую съемку выполняют наземными методами. К наземным методам относятся: мензульный, тахеометрический, полуавтоматического картирования, горизонтальная (теодолитная) и вертикальная съемки.

Мензульная (графическая) съемка. Топографический план составляется непосредственно на местности при помощи мензулы и кипрегеля. При составлении плана горизонтальные углы не измеряют, а получают их графическим путем.

Тахеометрическая съемка. Отличается быстротой производства полевых работ (по сравнению с мензульной съемкой) и перенесением работ по составлению плана в камеральные условия.

Метод полуавтоматического картирования сочетает в себе почти такую же быстроту, которая присуща тахеометрической съемке, с наглядностью съемки мензульной. Применяется при наличии специальных картографических столиков, используемых в сочетании с тахеометрами.

Горизонтальная (теодолитная) съемка применяется в случае получения только контурного плана. Она широко используется при съемке местности с большим количеством контуров, в основном на плотно застроенных территориях.

Вертикальная съемка предназначена для получения только рельефа. Применяется на застроенных территориях.

Выбор метода съемки или комбинации этих методов зависит от характера снимаемой территории, от целей съемки, от экономических и технических соображений и возможностей.

Раздельно горизонтальную и вертикальную съемку применяют на местности с плотной застройкой.

§ 52. СУЩНОСТЬ, НАЗНАЧЕНИЕ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

Тахеометрия* — съемка, при которой быстро и с заданной точностью получают необходимые данные для составления топографического плана с изображением как предметов и контуров местности в горизонтальной плоскости, так и рельефа.

Съемку предметов, контуров и рельефа местности выполняют комплексно одним прибором — тахеометром, при одном наведении его зрительной трубы, полярным способом. План местности при этом методе съемки составляют камерально. Благодаря этому тахеометрическая съемка имеет значительное преимущество перед другими методами наземных съемок в тех случаях, когда полевые работы требуется выполнить в кратчайший срок, например при неблагоприятных климатических условиях.

Для тахеометрической съемки исходными точками служат пункты государственных сетей и сетей сгущения. Но плотность этих пунктов недостаточна, чтобы только с них производить съемку (наибольшая плотность — 4 пункта и 1 км² в застроенной части городов и населенных

* В переводе с греческого означает быстрое измерение.

Таблица 28

Минимальное необходимое число съемочных точек на 1 км²

Масштаб съемки	Число съемочных точек	
	при четких контурах	на нечетких контурах
1 : 5000	22	10
1 : 2000	50	22
1 : 1000	80	36
1 : 500	142	64

пунктов). Поэтому сеть пунктов сгущают проложением теодолитных и тахеометрических ходов. Тахеометрическая съемка может выполняться одновременно с проложением таких ходов или после того, как они проложены. Это обеспечивает возможность разделения труда и привлечения большего числа исполнителей (одни работают на создании ходов, другие заняты непосредственно съемкой).

Тахеометрическая съемка применяется: 1) маршрутная — при съемке узких полос местности большого протяжения — вдоль трасс, проектируемых и существующих линейных сооружений (высоковольтных линий, трасс трубопроводов, железных и автомобильных дорог и т. п.); 2) съемка небольших участков, когда проведение аэрофотосъемки и мензульной съемки экономически нецелесообразно или технически невозможно; 3) как вертикальная съемка на застроенных территориях.

Существенный недостаток тахеометрической съемки — составление плана в камеральных условиях на основании только результатов полевых измерений и зарисовок (абрисов), вследствие чего возможны пропуски отдельных деталей и искажения в изображении рельефа.

Съемочная сеть для тахеометрической съемки должна быть доведена до плотности (табл. 28), обеспечивающей необходимую точность съемки контурной части и рельефа, а съемочные точки должны располагаться на площади съемки равномерно.

Съемочная сеть при тахеометрической съемке создается проложением теодолитно-высотными и теодолитно-нивелирными ходами. Применение того или другого вида теодолитных ходов зависит от высоты сечения релье-

Таблица 29

Технологические требования к тахеометрическим ходам

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1 : 5000	1200	300	6
1 : 2000	600	200	5
1 : 1000	300	150	3
1 : 500	200	100	2

Примечание. При съемках в масштабе 1 : 500 линии в ходах измеряют лентой или рулеткой.

ефа, принятой при съемке. Теодолитно-высотные ходы, когда высоты точек получают тригонометрическим нивелированием, выполняют при съемках всхолмленных, предгорных и горных районов с высотами сечения рельефа 2 м и больше. Теодолитно-нивелирные ходы, когда высоты точек получают геометрическим нивелированием, выполняют при съемках в равнинной местности с высотой сечения рельефа 2 м и менее.

Если густота съемочных точек, полученных при проложении теодолитных ходов, не полностью отвечает требованиям табл. 28, то дальнейшее сгущение съемочной сети осуществляют проложением высотно-тахеометрических и нивелирно-тахеометрических ходов (табл. 29).

Высотно-тахеометрические ходы, когда высоты точек получают тригонометрическим нивелированием, допускаются для съемки с высотой сечения рельефа 1 м (в виде исключения) и более на участках с большими разностями отметок. Нивелирно-тахеометрические ходы, когда высоты точек получают геометрическим нивелированием, прокладывают для съемок с высотой сечения рельефа 1 м и менее.

Работы по проложению теодолитных и тахеометрических ходов выполняют тем же прибором, которым проводят съемку. Направление, форму ходов и длину линий выбирают с расчетом, чтобы с точек этих ходов имелась возможность съемки всех подробностей контурной части и рельефа.

Теодолитные ходы выполняют и увязывают согласно методам и допускам, подробно изложенным в гл. 6.

В тахеометрических ходах горизонтальные и вертикальные (при высотном тахеометрическом ходе) углы измеряют так же, как в теодолитных ходах. Линии в тахеометрических ходах определяют оптическим нитяным дальномером. Длину одной и той же стороны хода с каждой его точки определяют дважды, по красной и черной сторонам рейки или по одной стороне, но по разным делениям рейки.

Расхождение между двумя измерениями длин линий хода не должно превышать $1 : 300$ (0,33 м на каждые 100 м длины).

Кроме того, каждую линию хода измеряют как в прямом, так и в обратном направлении. Расхождение между результатами (средними) измерений сторон в прямом и обратном направлениях не должно превышать $1 : 400$ (0,25 м на каждые 100 м длины).

Если углы наклона сторон хода ν более 3° , то необходимо вычисление горизонтальных проложений сторон хода. Горизонтальное проложение сторон хода вычисляют по формуле

$$s = Kl \cos^2 \nu,$$

где K — коэффициент дальномера; l — разность отсчетов по дальномерным штрихам.

Можно вычислять поправку к измеренной линии (это вычисление может служить контролем) по формуле

$$\Delta s = Kl \sin^2 \nu.$$

Увязку тахеометрических ходов выполняют так же, как и теодолитных. Оценку их и допустимые невязки определяют по следующим формулам:

Угловая невязка не должна превышать $f_\beta = \pm 1' \sqrt{n}$, где n — число углов в ходе.

Линейная невязка не должна превышать $f_s = \frac{s}{400 \sqrt{n}}$, где s — длина хода в метрах, n — число измерений линий в ходе.

Высотная невязка не должна превышать $f_h = 20 \text{ см} \sqrt{L}$, где L — длина хода в километрах.

Если съемку проводят одновременно с проложением хода, то после установки прибора на точке прежде всего производят все измерения, необходимые для хода. И только после полного окончания этих измерений ориентируют горизонтальный круг и приступают к съемке. Если съемку производят отдельно с проложением хода, то,

установив прибор на станции, выполняют работу по съемке в такой последовательности: измеряют высоту прибора i , определяют место нуля вертикального круга, ориентируют лимб и затем приступают к съемке.

§ 53. ТАХЕОМЕТРЫ И РЕЙКИ

Все выпускаемые в настоящее время теодолиты являются тахеометрами (теодолиты Т30, Т15, Т5). При достаточно ровной местности тахеометрическую съемку можно производить нивелирами с горизонтальным кругом (их называют нивелирами-тахеометрами). К ним относится нивелир НТ.

В настоящее время наша промышленность изготавливает тахеометры следующих типов: ТД — тахеометры с авто-редукционным дальномером двойного изображения для определения превышений и расстояний по горизонтальной рейке; ТН (ТА-2) — тахеометр номограммный для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и превышений при помощи номограмм и вертикальной рейки; ТВ (ДВ-20 и ТДС) — тахеометр внутрибазный для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и превышений по измеренному углу наклона при наведении зрительной трубы на какой-либо местный предмет или специальную марку.

Тахеометры ТВ, ДВ-20 и ТДС применяются при работах на труднодоступных участках местности и открытых горных выработках.

<i>Основные технические характеристики тахеометров</i>		ТД	ТА-2
Увеличение зрительной трубы		27	27
Диаметры кругов, мм:			
горизонтального		95	72
вертикального		70	92
Цена деления кругов:			
горизонтального		1°	1°
вертикального		1°	10'
Пределы измерения горизонтальных проложений, м		20—180	3,5—250
Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла (одним приемом)		7"	7"
Относительная погрешность измерений линий		1 : 5000	1 : 700
Коэффициент дальномера		100	100
Цена деления уровней на 2 мм		30"	45"
Масса, кг:			
без футляра		5,7	4,0
футляра		3,0	3,0

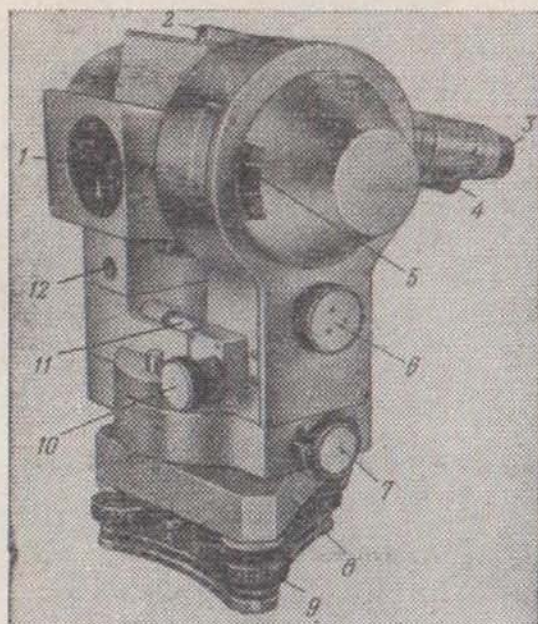


Рис. 77. Тахеометр ТД

Для съемки вполне пригодны обычные трехметровые цельные или складные нивелирные рейки с сантиметровыми делениями. Тахеометр ТД комплектуется специальными двухметровыми горизонтальными рейками.

Тахеометр ТД выпускался с 1970 по 1978 г. В первоначальном варианте тахеометр имел шифр ТП.

Тахеометр содержит угломерную часть и дальномер-высотометр двойного изображения с постоянным параллактическим

углом. Горизонтальные проложения расстояний и превышения определяются тахеометром автоматически. Вместо уровня при алидаде вертикального круга прибор имеет компенсатор. В комплект тахеометра входят две двухметровые горизонтальные специальные рейки. Тахеометр ТД предназначен для тахеометрических съемок, проложения теодолитных ходов повышенной точности и может быть использован для проложения ходов полигонометрии 2 разряда.

Угломерная часть тахеометра ТД выполнена аналогично теодолиту Т5К. Осевые системы, круги и лимбы, установочные и отсчетные приспособления, закрепительные и наводящие устройства прибора ТД и теодолита Т5К идентичны.

Основным элементом дальномерной части тахеометра является оптический клиновый компенсатор, работающий в двух режимах: дальномера и высотомера.

Тахеометр ТД имеет защитное стекло оптического компенсатора 1 (рис. 77), визиры 2 коллиматорного типа для грубой наводки, окуляр зрительной трубы со щелевой диафрагмой 3, окуляр 4 микроскопа отсчетного устройства по кругам. Поле зрения отсчетного устройства по кругам см. рис. 46 (гл. 6).

В окошечке 5 размещены шкалы поправок Δs и Δh . Компенсатор из работы в одном режиме в другой переключо-

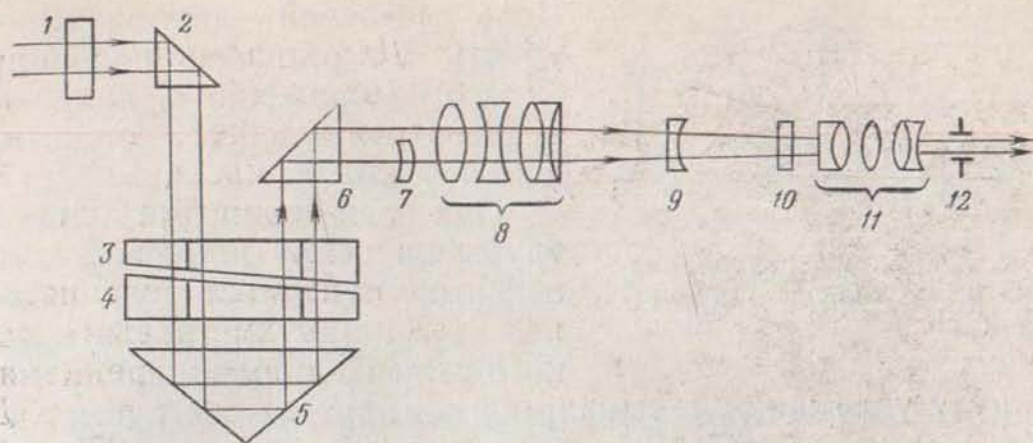


Рис. 78. Схема оптической системы дальномерной части тахеометра ТД

чается рукояткой 6. Для работы в режиме дальномера перед наблюдателем на рукоятке 6 должна оказаться буква *S*, для работы в режиме высотомера — буква *H*.

Наводящие устройства 7 горизонтального круга и 10 вертикального соосны с закрепительными приспособлениями кругов.

Подставка прибора 8 съемная. Подъемные винты 9 закрытого типа. Цилиндрический уровень 11 при алидаде горизонтального круга имеет исправительный винт 12.

Пучок лучей, пройдя защитное стекло 1 (рис. 78), призмой 2 направляется в компенсатор, состоящий из двух кольцеобразных клиньев 3 и 4. При этом половина пучка лучей проходит через клинья, а вторая половина минует их. Оборачивающая призма 5 обеспечивает двукратное прохождение лучей через компенсатор. Обе половины пучка призмой 6 направляются в зрительную трубу. Но через призму 6 проходят два полуизображения цели, сдвинутые одно относительно другого оптическим компенсатором на величину параллактического угла β .

Зрительная труба состоит из объектива 8, фокусирующей линзы 9, бипризмы 10, окуляра 11 и щелевой диафрагмы 12.

Пучок лучей, не испытавший отклонения компенсатором (прошедший минуя клинья), проходит дополнительно перед объективом зрительной трубы 8 через телескопическую полулинзу 7, создающую дополнительное увеличение в системе, несколько меньше единицы (110 : 111).

В фокальной плоскости окуляра зрительной трубы получаются два изображения наблюдаемого предмета.

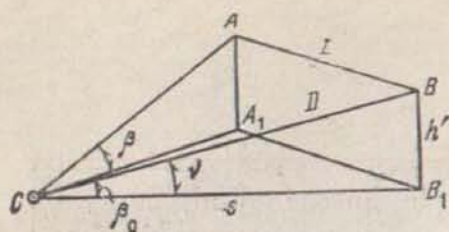


Рис. 79. Схема редуцирования расстояния в тахеометре ТД

Цель щелевой диафрагмы — убрать верхнюю половину одного изображения и нижнюю второго для удобства отсчитывания.

При наведении зрительной трубы на рейку клиновой компенсатор отклоняет луч, изменяя величину параллактического угла пропорционально косинусу угла наклона v визирной оси зрительной трубы, т. е.

$$\beta = \beta_0 \cos v,$$

где β — параллактический угол, соответствующий данному положению зрительной трубы; β_0 — максимальное значение этого угла, соответствующее горизонтальному положению оси визирования, равное $34' 22,65''$ ($2062,65''$).

Это условие в приборе выполняется автоматически благодаря тому, что плоскость главного сечения клинового компенсатора установлена неподвижно и горизонтально и визирный луч будет пересекать ее под различными углами, изменение которых равно углу наклона визирной оси.

Измеряемое горизонтальное проложение s связано с наклонным расстоянием известной зависимостью $s = D \cos v$.

И в то же время из рис. 79 и равенства для s

$$D = \frac{L\rho''}{\beta} = \frac{L\rho''}{\beta_0 \cos v},$$

где L — отсчет по рейке. Подставив это значение D , будем иметь

$$s = (L\rho'') : \beta_0 = KL, \text{ где } K = \rho'' : \beta_0.$$

Таким образом, отсчитанное по рейке расстояние будет автоматически горизонтальным проложением.

В процессе измерения расстояний оптический компенсатор остается неподвижным в определенном заданном положении. Если рукояткой его повернуть на 90° , т. е. так, чтобы плоскость главного сечения клинового компенсатора расположилась вертикально, то на ту же величину изменится угол между плоскостью главного сечения компенсатора и лучами, его пересекающими, и тогда

$$\beta = \beta_0 \cos (v + 90^\circ) = \beta_0 \sin v.$$

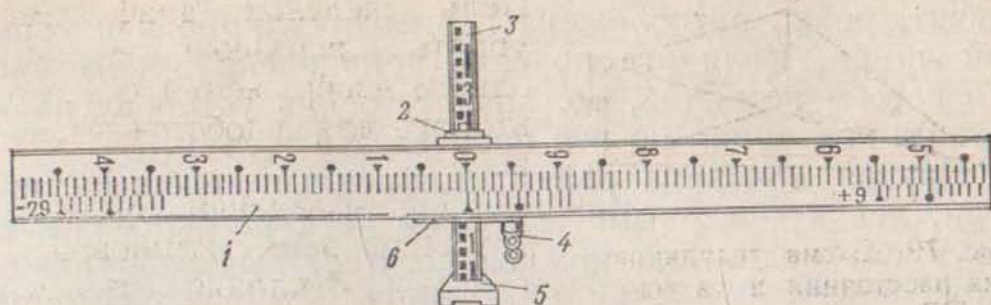


Рис. 80. Рейки тахеометра ТД

В данном случае наклонное расстояние выразится формулой

$$D = \frac{L\rho''}{\beta} = \frac{L\rho''}{\beta_0 \sin v}.$$

Измеряемое превышение между горизонтальной осью рейки и горизонтальной осью тахеометра выразится (рис. 79) зависимостью

$$h' = D \sin v.$$

Тогда, подставив вместо D его значение, получим

$$h' = \frac{L\rho''}{\beta_0} = KL,$$

где $K = \rho''/\beta_0$, т. е. тахеометр с таким положением компенсатора автоматически работает как высотомер.

Для измерения горизонтальных проложений и превышений применяют двухметровые штриховые горизонтальные рейки с тремя обратными нониусами: средним — основным, расположенным у нуля рейки, на правом конце рейки с цифрой 9 и на левом конце рейки с цифрой 29 (рис. 80). В комплекте две рейки. Рейка 1 имеет винт 2, вертикальную штангу 3, визир и коллиматор 4, подставку 5 и кронштейн 6. Рейки устанавливаются на штативах в держателях со съемными подставками 5 горизонтально по уровню. Съемные подставки 5 дают возможность применять трехштативную систему. Плоскость шкалы рейки 1 при измерениях должна быть расположена перпендикулярно к измеряемой линии, что осуществляется оптическим визиром 4, коллимационная плоскость которого должна быть, в свою очередь, перпендикулярна к плоскости шкалы рейки. В одном корпусе с оптическим визиром на рейке расположен коллиматор, позволяющий наблюдателю в процессе измерений через зрительную трубу проверять правильность положения рейки. Если в коллиматоре будет видна прямая светлая полоска, то,

значит, рейка расположена перпендикулярно к измеряемой линии. Если эта полоска искривлена в виде дуги или совсем не видна, то, значит, рейка установлена неверно и измерения по ней производить нельзя.

Правая половина рейки оцифрована красными цифрами, левая — черными. Деления реек расположены через 2 см; подписано каждое десятое, выделено каждое пятое.

Для определения горизонтальных проложений и превышений нужно производить измерение величины базиса L (отсчитывание). Отсчитывание проводится при помощи одного из обратных нониусов и оптического микрометра. Роль оптического микрометра выполняет телескопическая полулинза 7 (см. рис. 78). Благодаря дополнительному увеличению, создаваемому телескопической полулинзой, перемещение вертикального штриха сетки нитей на всю длину нониуса (нониус имеет 10 делений) соответствует смещению изображения нониуса, равному его точности, т. е. на одну десятую цены деления рейки (2 мм). Отсюда следует, что перемещение вертикального штриха сетки нитей на одно деление нониуса соответствует смещению изображения на 0,2 мм, а перемещение вертикального штриха на 0,1 деления нониуса (это смещение определяется на глаз) соответствует смещению изображения на 0,02 мм. Точность отсчитывания оптическим микрометром по рейке таким образом соответствует 0,02 мм, что составляет 2 мм в расстоянии на местности ($K = 100$).

Отсчитывание по рейкам при измерении горизонтальных проложений и превышений проводится одинаково. Порядок отсчетов следующий.

1. Вращением алидады горизонтального круга прибора по азимуту точно совмещают наиболее близко расположенные друг к другу штрих нониуса со штрихом рейки. При этом действии вертикальный штрих сетки нитей не должен выходить за пределы шкалы нониуса.

2. Используя в качестве индекса нулевой штрих нониуса, отсчитывают целое число делений шкалы рейки.

3. Отсчитывают десятые доли деления рейки, равные числу делений нониуса от его нуля до совмещенного штриха.

4. Отсчитывают сотые доли деления рейки, равные числу делений нониуса от его нуля до вертикального штриха сетки нитей.

5. Отсчитывают тысячные доли деления рейки, оценивая на глаз доли интервала нониуса, отсекаемые верти-

кальным штрихом сетки нитей.

На рис. 81 отсчет на рейке L_1 равен 17,654.

Перемещая алидаду горизонтального круга

действием наводящего приспособления в противоположном направлении, вторично совмещают штрих нониуса со штрихом рейки и берут, как указано только что, второй отсчет L_2 . Сумма двух отсчетов составляет горизонтальное проложение измеряемой линии или превышение (в зависимости от того, в каком режиме работает прибор):

$$s = L_1 + L_2; \quad h' = L'_1 + L'_2.$$

Таким образом, два таких отсчета по рейке составляют один прием измерений.

В зависимости от условий измерения выполняют двумя — четырьмя приемами.

В измеренное горизонтальное проложение и превышение вводят поправки за теоретическую погрешность Δs при измерении расстояний и Δh при измерении превышений. Эти погрешности возникают от наличия расстояния между осью вращения тахеометра и вершиной параллактического угла. Величины поправок Δs и Δh берут со шкал поправок, размещенных на колонке прибора и соответственно обозначенных S и H . Поправки Δs и Δh будут со знаком плюс, если цифра на шкале черная, и со знаком минус — если она красная.

При измерении горизонтальных проложений приходится еще учитывать значение постоянного слагаемого дальномера c , если оно не равно нулю. По среднему основному нониусу отсчитывают горизонтальные проложения от 20 до 90 м и превышения от 0 до ± 90 м.

Полные формулы горизонтальных проложений и превышений для этого нониуса имеют вид

$$s = (L_1 + L_2) K + \Delta s = c; \quad h = (L'_1 + L'_2) K + (i - v) + \Delta h.$$

В формуле превышения: i — высота прибора — расстояние от оси вращения трубы (отмечена на правой боковой стойке красной точкой) до точки местности; v — высота рейки — расстояние от красной точки на подставке рейки до точки местности.

Кроме величины превышения необходимо определить еще его знак, чтобы знать, как располагается рейка —

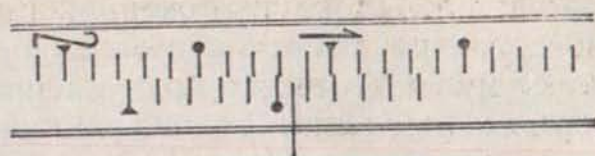


Рис. 81. Отсчет по рейке

выше или ниже тахеометра. Если при работе в режиме высотомера отсчет снимался по левой половине рейки, т. е. нулевой штрих нониуса находился в пределах левой половины рейки, оцифрованной черными цифрами, значит, величина $h' = (L'_1 + L'_2) K$ имеет положительный знак и превышение h вычисляется по только что приведенной формуле. Если нулевой штрих нониуса при отсчете будет находиться в пределах правой половины шкалы, оцифрованной красными цифрами, значит, величина h' имеет отрицательный знак. В этом случае из вычисленного превышения необходимо вычесть 200. Формула превышения примет вид

$$h = (L'_1 + L'_2) K - 200 + (i - v) + \Delta h.$$

Когда расстояние до рейки превышает 90 м (в этом случае изображение нулевого штриха нониуса выходит из соприкосновения со штрихами шкал рейки), для проведения отсчетов нужно использовать правый нониус (с цифрой +9). В этом случае горизонтальное проложение

$$s = (L_1 + L_2) K + \Delta s + c + 90 \text{ м.}$$

Если величина превышения больше +90 м, отсчет для его вычисления снимают по правому нониусу. В этом случае формула превышения примет вид

$$h = (L'_1 + L'_2) K - 110 + (i + v) + \Delta h.$$

Если превышение превышает -90 м, отсчет приходится снимать по левому дополнительному нониусу (он только для такого случая и предназначен), подписанному цифрой -29. В этом случае формула превышения примет вид

$$h = (L'_1 + L'_2) K - 290 + (i + v) + \Delta h.$$

Следует иметь в виду, что дополнительные (левый и правый) нониусы используются только в тех случаях, когда не может быть использован основной (центральный) нониус.

Горизонтальные проложения и превышения измеряют при установке тахеометра при круге лево. При круге лево (КЛ) конусный выступ на боковой крышке тахеометра располагается справа от наблюдателя. Рейку устанавливают по уровню и перпендикулярно к измеряемой линии.

Работая наводящими устройствами, вводят изображение рейки в центр поля зрения так, чтобы ребро бипризмы разделяло изображение рейки пополам, а вертикальный

штрих сетки нитей расположился у нулевого штриха основного (среднего) нониуса.

Тахеометр ТА-2 (рис. 82). Тахеометр измеряет горизонтальные проложения и превышения при помощи номограмм кривых, нанесенных на часть диска вертикального круга 1, видимую при КЛ. Специальной оптической системой изображения номограммы и лимба вертикального круга передаются в окуляр 3 зрительной трубы.

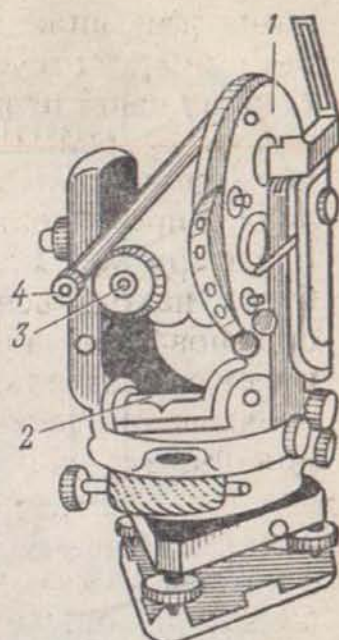


Рис. 82. Тахеометр ТА-2

Отсчеты по горизонтальному кругу проводят при помощи шкалового микроскопа, как это делается у теодолитов Т15 и Т5. На глаз можно оценивать десятые доли минуты. Окуляр отсчетного микроскопа 4 расположен рядом с окуляром зрительной трубы. На вертикальном круге, который виден в окуляре зрительной трубы в виде горизонтальной посеребренной полоски, нанесены деления через $10'$. Градусные деления подписаны, подписи возрастают по ходу часовой стрелки. Отсчет проводят по индексу до $1'$, оценивая минуты на глаз. Индексом служит правый край посеребренной вертикальной пластинки.

При КЛ горизонтальному положению визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга соответствует отсчет, близкий 90° . Формулы для вычислений места нуля (МО) и угла наклона ν будут

$$\text{МО} = 1/2 (\text{КП} + \text{КЛ} - 180^\circ);$$

$$\nu = \text{КП} - 180^\circ - \text{МО} = \text{МО} - \text{КЛ}.$$

Номограммы кривых, видимые в окуляр зрительной трубы при КЛ на вертикальной посеребренной пластинке, состоят из основной кривой 1 (рис. 83), кривой горизонтальных проложений 2 с коэффициентом дальномера $K_s = 100$ и кривых превышений 3 с коэффициентами K_h , равными ± 10 , ± 20 и ± 100 . В окуляр видны при данном угле ν одна или две кривые. На горизонтальной посеребренной пластинке видны деления вертикального круга 4. Кривизна отрезков кривых на посеребренной пластинке не заметна, они смотрятся прямыми линиями.

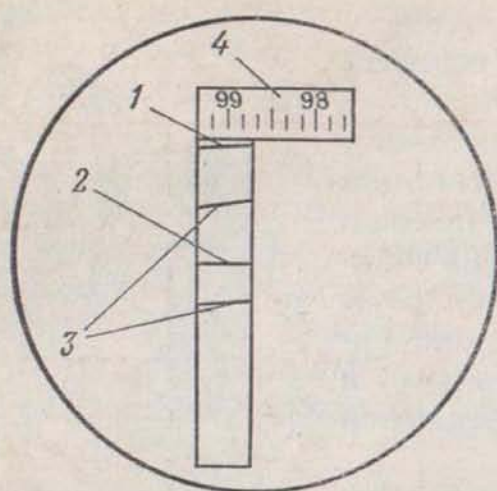


Рис. 83. Номограммы кривых тахеометра ТА-2

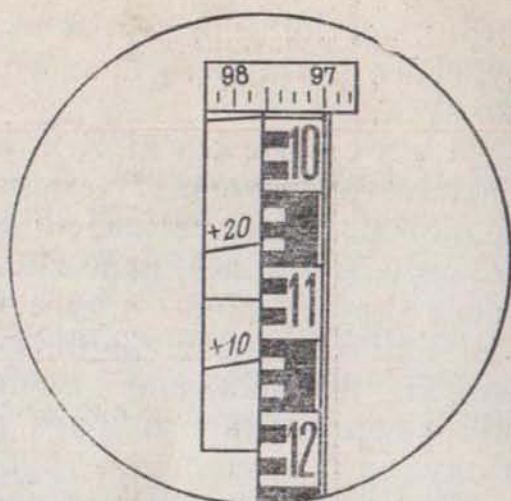


Рис. 84. Отсчеты по кривым тахеометра ТА-2

Для определения горизонтального проложения s и превышения h наводят зрительную трубу на рейки, при этом правый край вертикальной посеребренной полоски нужно совместить с левым краем делений рейки. Наводящим устройством трубы совмещают основную кривую с целым делением рейки (например, 1 м). Приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину и делают отсчеты: l_s — между основной кривой и кривой горизонтальных проложений, равный 12,5 см (рис. 84) и l_h — между основной кривой и кривыми превышений, равный 16,2 см (с коэффициентом $+10$) и 8,1 см (с коэффициентом $+20$). Тогда

$$s = K_s l_s = 100 \times 12,5 = 12,5 \text{ м};$$

$$h = K_h l_h + i - v = h' + i - v,$$

где i — высота оси прибора, а v — высота наведения основной кривой. У нас $h' = 10 \times 16,2 = +1,62 \text{ м}$ и $h' = 20 \times 8,1 = +1,62 \text{ м}$. Отсчет по вертикальному кругу на рис. 84 $= 97^\circ 42'$. Кривые превышений рассчитаны для:

$$K_h = \pm 10 \text{ для углов } v \text{ от } 0 \text{ до } 10^\circ;$$

$$K_h = \pm 20 \text{ для углов } v \text{ от } 6 \text{ до } 22^\circ;$$

$$K_h = \pm 100 \text{ для углов } v \text{ от } 11 \text{ до } 35^\circ.$$

Точность определения превышений зависит от величин углов наклона v и расстояний s (табл. 30).

По данным табл. 30 можно сделать вывод, что применение кривых превышений с коэффициентами, равными 100, допустимо только в исключительных случаях.

Таблица 30

Средние квадратические погрешности (m_h) определения превышений

K_h	v	$s, \text{ м}$	$m_h, \text{ см}$
± 10	$0-10^\circ$	50—70	2,1
		100—190	3,5
		340	6,0
± 20	$6-22^\circ$	50—70	4,2
		100—200	4,6
		250	5,5
± 100	$11-35^\circ$	50—60	11,0
		100—150	18,0

При работе с тахеометром ТА-2 необходимо знать его особенности: 1) место нуля определяют для места пересечения основной кривой с правой гранью посеребренной вертикальной полосы; 2) место нуля должно отличаться от 90° не более чем на $0,5'$; 3) коэффициент дальномера K_s должен отличаться от 100 не более чем на $0,02\%$.

В противном случае коэффициенты превышений K_h (± 10 , ± 20 , ± 100) и горизонтальных проложений K_s (100) будут недопустимо отклоняться от значений номиналов и, пользуясь ими, мы будем получать результаты с ощутимыми погрешностями. Точность работы тахеометра во многом зависит от точности и тщательности его юстировки.

§ 54. ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ

Тахеометры поверяют по программе, изложенной в § 32 для поверок теодолитов. Тахеометры ТА-2 и ТД, кроме обычных поверок для теодолитов, имеют еще дополнительные поверки.

Дополнительные поверки тахеометра ТА-2

1. Тщательная поверка и юстировка места нуля.
2. Поверка коэффициента дальномера K_s . 3. Поверка коэффициента кривых превышений K_h . Поверяют только коэффициенты ± 10 и ± 20 . Данная поверка является контролем точности юстировки коэффициента дальномера K_s и места нуля M_0 .

Эти дополнительные поверки выполняют так же, как поверки кипрегеля КА-2 (аналогичного по устройству), и изложены в § 62.

Дополнительные поверки тахеометра ТД

1. Прорезь щелевой диафрагмы должна быть параллельна разделительному ребру бипризмы и должна обеспечивать полное срезание половин изображения. При этом освещенность противоположных частей поля зрения (верхней и нижней) должна быть одинаковой.

На наружной поверхности щелевой диафрагмы имеются четыре исправительных винта. Для юстировки условия эти винты несколько ослабляют, а диафрагму разворачивают и передвигают вверх или вниз. После юстировки винты закрепляют.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. При этом коллимационная погрешность должна быть не более $\pm 0,5'$.

Поверку выполняют, как у теодолитов с односторонней системой отсчетов, по лимбу горизонтального круга (см. § 32).

Для исправления коллимационной погрешности, если она более $0,5'$, наводящим устройством алидады устанавливают на лимбе горизонтального круга отсчет, при котором коллимационная погрешность равна нулю. Теперь остается ввести изображение предмета в биссектор сетки нитей. Для этого в верхней части кожуха преломляющей призмы 6 (см. рис. 78) имеются два юстировочных винта. Вывинчивая один из винтов и завинчивая второй, изображение предмета вводят в биссектор, после чего поверку повторяют.

3. Значение места нуля (M_0) не юстируют, но оно должно быть известно. M_0 определяют, как обычно у теодолитов, по формуле

$$M_0 = (KЛ + КП + 180^\circ) : 2.$$

Но при этом точка, на которую визируют при двух кругах, должна быть расположена под углом наклона, близким к 0° , а расстояние до нее должно быть не менее 2 км.

4. Коллимационные плоскости визира и коллиматора на рейках должны быть перпендикулярны к плоскостям шкалы рейки.

Строят на местности прямой угол. Вершину его закрепляют колышком, а стороны — вехами, которые уста-

навливают на расстоянии 100—120 м от вершины угла.

Сначала поверяют визир. Центрируют рейку над вершиной угла и ориентируют ее плоскостью на одну из вех. Если визир установлен правильно, то вторая вежа окажется в пределах его кружка сетки нитей. Если требуется юстировка, то ослабляют четыре винта, скрепляющие кронштейн визира с подставкой, и смещают визир.

Затем поверяют коллиматор. Визир наводят точно на объектив тахеометра, установленного в рабочее положение. Если теперь в поле зрения трубы тахеометра в коллиматоре будет видна прямая светлая полоска, то коллиматор исправлен. Если светлая полоска имеет форму дуги, то коллиматор требует юстировки. Юстировку коллиматора осуществляют поворотами оправы его объектива, предварительно открепив на половину оборота гайку, закрепляющую объектив.

Юстировку коллиматора должен проводить механик в мастерской.

Поверяют последовательно каждую рейку.

5. *Поверка редуцирующего устройства.* Эту поверку нужно проводить при спокойных изображениях и хорошей видимости.

Сначала поверяют редуцирующие устройства S (наклонных линий на горизонтальную плоскость).

Поверку выполняют на крутом склоне, а рейку устанавливают в 60—80 м от тахеометра. Чтобы высота рейки была равна высоте прибора, т. е. чтобы $i = v$, расстояние от верхней плоскости головки штатива до красной точки на подставке рейки должно быть установлено равным 15,4 см. Рейку устанавливают по выверенному уровню, а ее визир наводят на тахеометр. Измеряют тахеометром длину линии десятью приемами. Меняют местами тахеометр и рейку и десятью приемами измеряют расстояние в обратном направлении. Из каждых десяти приемов берут среднее значение. Если эти средние из прямых и обратных измерений расходятся не более чем на 4 см, то юстировка не нужна. Если расхождения более 4 см, то вычисляют среднее из обоих измерений (оно свободно от погрешностей редуцирования) и при помощи юстировочного винта устанавливают этот отсчет. Юстировочный винт расположен под крышкой на колонке со стороны, где расположен окуляр оптического отвеса. Юстировочный винт закреплен стопорным винтом, расположенным под той же крышкой. Стопорный винт перед юстировкой

нужно слегка отпустить, а после юстировки закрепить снова. После юстировки поверку повторяют.

После этого редуцирующее устройство переключают в положение *H* и поверяют систему определения превышений. Превышение той же линии определяют в прямом и обратном направлениях по формуле

$$h = h' + \Delta h, \text{ если } i = v.$$

Если прямое и обратное превышения расходятся не более чем на 4 см, то юстировка не нужна. В противном случае проводят юстировку, аналогичную юстировке определения горизонтальных проложений. Только юстировочный винт системы определения превышений находится под крышкой, расположенной на противоположной колонке тахеометра. После юстировки поверку повторяют.

6. Определение постоянного слагаемого дальномера с.

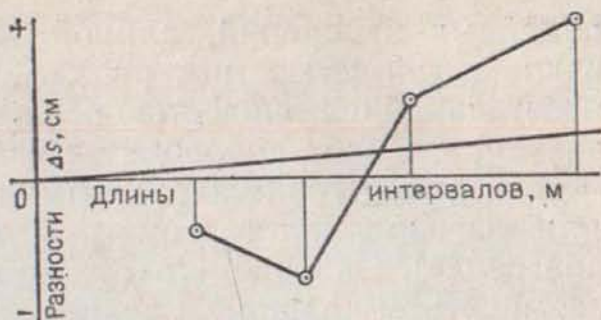
Постоянное слагаемое *s* должно равняться нулю. Если же у прибора величина *s* не равна нулю, то ее нужно учитывать при измерении длин линий, вводя ее как поправку в каждое измеренное расстояние со своим знаком. Для этой поверки в отверстие объектива необходимо вставить диафрагму с прямоугольным вырезом для устранения параллакса, неизбежного при измерении расстояний, меньших 20 м. Вырез диафрагмы располагают вертикально.

Постоянное слагаемое *s* определяют для каждой рейки, входящей в комплект, для основного среднего и дополнительного правого (с цифрой +9) нониуса. При определении *s* для правого нониуса рейку сдвигают так, чтобы нулевой штрих правого нониуса расположился посередине штанги. Под свисающий конец рейки в этом случае подставляют второй штатив.

На ровной местности откладывают линию 20 м, на которой отмечают отрезки, равные 6,01; 10,00; 14,01; 20,00 м. Отрезки измеряют прокомпарированной штриховой лентой ЛЗШ или стальной рулеткой в прямом и обратном направлениях. Разности прямых и обратных результатов измерений не должны превышать 2 мм.

Тахеометр, тщательно центрируя, устанавливают в начале линии. Рейки последовательно ставят на каждом отрезке. Все интервалы каждой рейки измеряют основным и дополнительным (правым) нониусами восемью приемами. Средние результаты из 16 приемов сравнивают с результатом, полученным из измерений лентой или рулеткой. По разностям $\Delta s = s_p - s_t$ (где s_p — длина интервала, из-

меренного лентой или рулеткой, а s_T — средняя длина интервала, определенная тахеометром) строят график. По оси ординат в произвольно выбранном масштабе откладывают



длины интервалов, а по оси абсцисс — разности Δs (в другом более крупном масштабе). Точки графика соединяют прямыми. Полученную ломаную линию осредняют прямой (рис. 85). Точка пересечения этой прямой с осью абсцисс определяет величину постоянного слагаемого s .

Рис. 85. Схема определения постоянного слагаемого s дальнометра

Результаты, полученные в нашем примере, приведены ниже:

s_p , м	s_T , м	Δs , м
6,01	6,03	—0,02
10,00	10,04	—0,04
14,01	13,98	+0,03
20,00	19,94	+0,06

На рис. 85 горизонтальный масштаб 1 см = 4 м, а вертикальный масштаб 1 см = 4 см. В нашем примере (см. рис. 85) $s = 0$.

7. Проверка коэффициента дальнометра.

Коэффициент дальнометра должен быть равен 100. Коэффициент можно при его отличии от 100 отъюстировать путем смещения бипризмы с сеткой юстировочными винтами в горизонтальном направлении. Но смещение призмы окажет существенное влияние на измеряемые превышения. Потребуется определять величину поправки и вводить ее в измеренные превышения. Поэтому юстировку коэффициента дальнометра проводить не рекомендуется, а при выполнении точных работ все расстояния, измеренные тахеометром, следует умножать на определенное значение K .

Учитывая, что все личные погрешности наблюдателя входят в результат определения K , каждый наблюдатель обязан определять его для себя.

Коэффициент дальнометра K необходимо не реже одного раза в месяц проверять. Определяют этот коэффициент на базисе, разбитом на ровной местности, удобной для

линейных измерений, длиной 120—150 м. Базис разбивают на три-четыре интервала. Интервалы измеряют с относительной погрешностью не более 1 : 5000. В измеренные значения вводят поправки за наклон к горизонту. Тахеометр и рейки тщательно центрируют. Длину каждого интервала измеряют тахеометром пятью приемами (по каждой рейке). Одновременно измеряют температуру воздуха термометром-пращом. Среднее значение измеренных отрезков с учетом постоянной дальномера s сравнивают со значениями непосредственного измерения, принимаемыми за истинные. Если разница на 100 м не превышает 5 см, то коэффициент можно принять равным 100 для тахеометрических работ.

Коэффициент дальномера определяют по обеим рейкам и вычисляют по формуле

$$K = \frac{100}{n} \left(\frac{s_{01-2}}{s_{и1-2}} + \frac{s_{01-3}}{s_{и1-3}} + \dots + \frac{s_{01-n}}{s_{и1-n}} \right),$$

где s_0 — истинные длины интервалов базиса; $s_{иn}$ — средние длины интервалов базиса, измеренные тахеометром; n — число интервалов.

После вычисления K для каждой рейки выводят его среднее значение.

Расхождение величины коэффициента дальномера по разным рейкам и по разным интервалам базиса не должно превышать 1 : 8000. Среднее значение K не должно отличаться от 100 более чем на 1 : 8000 (99,9875—100,0125). Значение K вычисляют до шести значащих цифр.

8. *Проверка компенсатора. При наклонах вертикальной оси тахеометра в пределах $\pm 3'$ отсчет по вертикальному кругу должен быть неизменным.*

Тахеометр устанавливают так, чтобы один из подъемных винтов был расположен в направлении визирной цели. Приводят затем прибор в рабочее положение. Наводят зрительную трубу на какую-либо точку визирной цели и снимают отсчет по вертикальному кругу. Затем наклоняют подъемным винтом тахеометр в направлении визирной цели на 2—3'. Для этого поворачивают тахеометр на 90° и наклоняют на 4—5 делений уровня. Опять наводят трубу на ту же точку и снимают отсчет по вертикальному кругу. После этого наклоняют тахеометр тем же подъемным винтом на 2—3' (4—5 делений уровня) в обратном направлении, т. е. в сторону наблюдателя. Снова наводят

трубу на ту же точку и снова берут отсчет по вертикальному кругу.

Разность между отсчетами не должна превышать $0,2'$, в противном случае тахеометр требует ремонта.

§ 55. ПРОИЗВОДСТВО ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

При тахеометрии съемку контуров, предметов местности и рельефа производят, как правило, полярным способом — набором пикетов. На характерных точках контуров и рельефа, а также у местных предметов устанавливают поочередно дальномерные рейки. Места постановки реек называют пикетами. Пикеты на местности не закрепляют. Пикеты выбирают с таким расчетом, чтобы по ним на плане можно было изобразить рельеф, предметы и контуры местности. Так, для съемки рельефа пикеты нужно располагать на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подошвах холмов, на дне и бровках котловин, лощин и оврагов, на водоразделах, хребтах и седловинах и во всех местах изменений крутизны скатов. Помимо этого пикеты должны быть расположены на высотах характерных точек местности, подписи которых помещаются на карте (плане). К таким точкам относятся: пересечение дорог и просек, резкие изгибы контуров, урезы воды, гребни плотин, поверхность земли у мостов, шлюзов, колодцев и т. д.

Параллельно располагают пикеты на характерных местах контуров и у местных предметов. Если контуры имеют закругленные очертания (опушка леса, ручей и т. д.), то разрешается спрямлять его изображение на плане. Но это спрямление должно быть таково, чтобы действительная граница не отходила от границы, изображающей его на плане, более чем на $0,3$ мм.

Порядок работы на станции при съемке ситуации и рельефа местности обычным тахеометром следующий.

1. Установка тахеометра и измерение его высоты. Высоту прибора i измеряют при помощи рейки или рулетки с точностью до $1,0$ см.

2. Определение места нуля и, если требуется, его исправление.

3. Ориентирование прибора. Тахеометр ориентируют по одной из точек съемочного хода (предшествующей или последующей). Для ориентирования совмещают нули лимба горизонтального круга и алидады. Закрепив алидаду и открепив горизонтальный круг, наводят зрительную

трубу на точку, выбранную в качестве ориентирной. Горизонтальный круг закрепляют. Берут отсчет по лимбу горизонтального круга и записывают его в журнал (табл. 31).

4. Открепив алидаду, визируют на рейку, установленную на пикете.

5. Взятие отсчета по горизонтальному кругу.

6. Наведение среднего штриха сетки нитей или основной кривой (при работе ТА-2) на высоту прибора i , отмеченного на рейке, или на одно из ее целых делений (1,0 или 1,5 м).

7. Приведение уровня при вертикальном круге в нуль-пункт (при отсутствии компенсатора).

8. Взятие отсчета расстояния по дальномерным нитям или по кривой горизонтальных проложений (при работе ТА-2).

9. Взятие отсчета по вертикальному кругу или по кривым превышений (при работе ТА-2).

10. Визирование на рейку, установленную на следующем пикете, и повторение всех операций с 5 по 10.

Работа на станции заканчивается контролем ориентирования тахеометра. Тахеометр наводят на ту же точку хода, по которой он был ориентирован в начале работы на станции. Берут и записывают отсчет по горизонтальному кругу. Изменение ориентировки прибора за период работы на точке не должно превышать 1,5'. Если ориентирование изменилось больше, то всю работу на точке переделывают.

Если пикет взят только для характеристики контура (не является характерной точкой рельефа), то в этом случае отсчеты по вертикальному кругу не делают.

Все изменения при съемке проводят при одном положении вертикального круга. Поэтому в полевых журналах на каждой точке необходимо записывать положение вертикального круга (КП или КЛ).

Все измерения на станции заносят в полевой журнал. (Форма журнала для работы обычным тахеометром, см. табл. 31).

При работе тахеометром ТА-2 ряд столбцов журнала (2, 5, 6) остается незаполненным.

При работе тахеометром ТД порядок работ (см. § 53) и форма записи другие.

При работе обычными тахеометрами в журнале вычисляют горизонтальные проложения s и превышения h .

Т а б л и ц а 31

Журнал тахеометрической съемки

Дата: 15.06.1982 г.

Наблюдатель: Крутов К. И.

Записывал и вычислял: Ермалаев А. Н.

Стойка: т. 5

 $i = 1,46$ м, $H = 221,15$ мКП = $179^{\circ} 38,8'$ КЛ = $0^{\circ} 23,2'$; $MO = 0^{\circ} 01'$

Номер точки наблю- дения (пикета)	Дальнейшее рас- стояние l , м	Высота наведення v , м	Отсчет				Угол наклона α	Горизонтальное проектирование s , м	8 (Правильные h' , м из таблиц)	9 $l - v$, м	10 $h = h' + l - v$	Отметка, м	Примечание		
			по горизон- тальному кругу		по верти- кальному кругу										
			градус	мин	градус	мин									
1	2	3	4		5		6		7	8	9	10	11	12	
т. 6		КЛ	0	01	3	06	+	3	05	46,4	+2,50	-1,04	+1,46	222,61	Отдельное дерево
76	46,5	2,50	0	34	2	55	+	2	54	82,2	+4,16	-0,74	+3,42	224,57	Водораздел
77	82,4	2,20	2	12	4	19	+	4	18	36,8	+2,77	-1,04	+2,73	223,88	Дорога
78	37,0	2,50	9	41	359	07	-	0	54	94,2	-1,48	-1,04	-2,52	218,63	Угол огорода
79	94,2	2,50	10	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...
96	61,5	2,20	298	01	359	01	-	1	00	61,5	-1,07	-0,74	-1,81	219,34	Граница кустарника
97	48,0	2,50	301	39	358	55	-	1	06	48,0	-0,84	-1,04	-1,88	219,27	То же
98	28,0	i	306	27	353	49	-	1	12	28,0	-0,59	0	-0,59	220,56	Водораздел, пашня
99	55,4	i	312	08	357	43	-	2	18	55,3	-2,22	0	-2,22	218,93	Граница пашни с лу- гом
т. 6			0	02											

Т а б л и ц а 32

Масштаб съемки	Принятое сечение рельефа, м	Максимальное расстояние между пикетами, м
1 : 500	0,5	15
	1,0	15
1 : 1000	0,5	20
	1,0	30
1 : 2000	0,5	40
	1,0	40
	2,0	50
1 : 5000	0,5	60
	1,0	80
	2,0	100
	5,0	120

В графе «Примечание» (см. табл. 31) указывают место расположения пикета, например: отдельное дерево, угол дома, дорога, бровка оврага, перегиб ската и т. п. Для последующей накладке плана нумерацию пикетов на всех станциях удобнее всего выдерживать сквозную, нарастающим итогом.

Пикеты должны быть равномерно размещены по всей снимаемой территории. Число пикетов будет тем больше, чем крупнее масштаб съемки, чем меньше принятая высота сечения рельефа и чем сложнее и насыщеннее характер местности (контуры и рельеф). Всегда следует стремиться к тому, чтобы съемка не в ущерб качеству проводилась минимальным числом пикетов. Однако максимальное расстояние между соседними пикетами не должно быть больше, чем указано в табл. 32.

Одновременно с журналом (см. табл. 31) при съемке на каждой станции составляют абрис. Ведение абриса — ответственная часть тахеометрической съемки, так как он служит основой составления последующего плана. Абрис представляет собой схематический план участка местности, составляемый от руки примерно в масштабе съемки. Абрис ведут в журнале на отдельных для каждой станции листах.

В абрисы заносят станцию стоянки, предыдущую и последующую линии хода, все пикетные точки с их номерами, снимаемые предметы и контуры, а также рельеф местности. Предметы и контуры местности на абрисе показы-

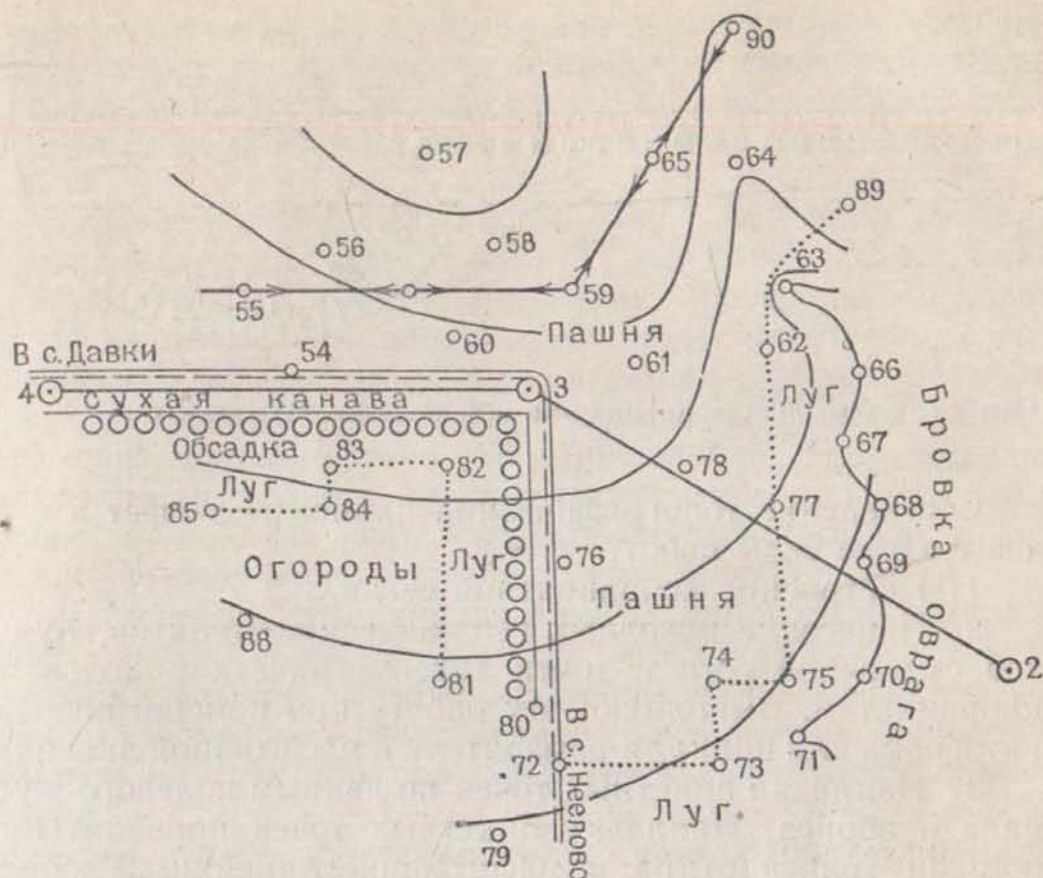


Рис. 86. Абрис

вают условными знаками и сопровождают пояснительными надписями. Формы рельефа на абрисе показывают схематично горизонталями, которые рисуют на глаз (рис. 86). Если формы рельефа выражены не ярко, на абрисе стрелками показывают направление скатов, т. е. те направления, по которым можно интерполировать местоположение горизонталей при составлении плана. В абрисах указывают все сведения, необходимые для составления плана: названия населенных пунктов, рек, водоемов, урочищ; ширину рек, дорог, характеристики мостов, бродов, лесов и т. п.

Перекрытие между станциями при наборе пикетов должно быть не меньше, чем максимальное расстояние между пикетами, установленное для данного масштаба съемки (см. табл. 32).

§ 56. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА СЪЕМКИ

При тахеометрической съемке план создается камеральным путем на основании полярных координат, отметок и абрисов.

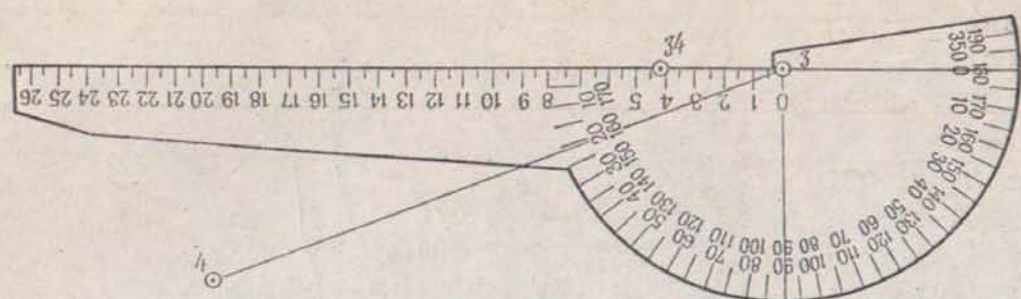


Рис. 87. Схема накладки пикетов при помощи тахеографа

Составление топографических планов включает в себя следующие виды работ.

1. Построение координатной сетки.

2. Нанесение исходных геодезических пунктов, пунктов съёмочной сети и точек тахеометрических ходов по координатам. Выполняют эту работу при помощи координатографа или циркуля-измерителя и масштабной линейки.

3. Накладка пикетных точек по данным полевого журнала и абриса. Накладку пикетных точек проводят при помощи транспортира и масштабной линейки. Удобней для накладки использовать круглый транспортир. Накладку пикетов можно облегчить, если использовать для этого тахеограф (рис. 87). Тахеограф — прозрачный прибор, соединяющий в себе транспортир и линейку. Транспортир разбит на $0,5^\circ$ деления, линейка — на миллиметровые деления. Центр транспортира, совпадающий с началом счета линейки, имеет круглое отверстие для иголки, острие которой при наладке совмещают с тахеометрической станцией. На рис. 87 градусные и полуградусные деления на транспортире тахеографа и миллиметровые деления на его линейке не показаны.

Тахеограф на станции (т. 3) был ориентирован по точке 4 (см. рис. 87). Тахеографом наложен пикет 34, на который измерены горизонтальный угол, равный $20^\circ 58'$, и горизонтальное проложение, равное 218,4 м (масштаб съёмки 1 : 5000). Когда пикет наколот, тахеограф поворачивают вокруг иголки и по углу и горизонтальному проложению накладывают следующий пикет.

4. Выписка отметок пикетов. Она проводится одновременно с наладкой. При высоте сечения рельефа 1 м и более высоты пикетов выписывают с округлением до 0,1 м, при высотах сечений, меньших 1 м, отметки высот пикетов выписывают без округления до 0,01 м.

5. В соответствии с абрисом на плане рисуют в карандаше контуры, сооружения и предметы местности. Виды угодий (луг, кустарник, лес и т. д.) при составлении плана в карандаше обозначают подписями, а не условными знаками.

6. Изображение рельефа. Рельеф в основном изображают горизонталями, которые интерполируют на глаз, а затем укладывают. Интерполирование, проведение и укладку горизонталей выполняют в полном соответствии с абрисами. В необходимых случаях, когда формы рельефа не могут быть достаточно четко выражены горизонталями, проводят дополнительно полугоризонтالي. Для большей наглядности рельефа проводят скатштрихи. Через изображения полотна дорог, строений, сооружений, карьеров, скал, обрывов и рек горизонтали не проводят.

7. Проверка и корректура вычерченного в карандаше плана в поле. Вычерченную ситуацию и рельеф сличают с местностью. В сомнительных местах проверку осуществляют тахеометром. Контрольные точки полевой проверки наносят на план. Номера таких точек указывают с индексом К.

Точность планов оценивают по расхождениям положения контуров и высот точек, рассчитанных по вычерченным горизонталям, с данными контрольных измерений.

8. Вычерчивание плана в туши. Вычерчивание плана осуществляется в пять цветов: элементы гидрографии, болота и солончаки — зеленым, водные пространства — голубым, рельеф (естественный) — коричневым, отдельные сооружения и предметы местности, контуры, искусственный рельеф, подписи и характеристики — черным, площади с твердым покрытием (асфальт, булыжник и др.) — розовым.

Вычерчивание плана проводят в такой последовательности: а) внутренняя рамка, отдельные сооружения и предметы местности (километровые столбы, мосты и трубы на дорогах, отдельные деревья и т. д.), а также населенные пункты; б) подписи — названия населенных пунктов, рек, озер, прудов, урочищ, высоты точек и урезов вод, пояснительные и цифровые характеристики (переправ, бродов, дорог, мостов, леса и т. д.); в) дорожная сеть — железные дороги, шоссе, улучшенные грунтовые, проселочные и полевые; г) гидрография — реки, ручьи, пруды, озера, родники; д) границы как административные, так и почвенно-растительного покрова; е) рельеф — гори-

зонтали, утолщенные и дополнительные, их отметки, обрывы, промоины; ж) заполнение вычерченных контуров условными знаками: луг, лес, редколесье, кустарник и т. д.; з) наружное оформление плана.

§ 57. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЪЕМКИ

Совершенствование тахеометрической съемки направлено на получение большей эффективности работ и их экономичности. Это становится возможным с повышением автоматизации всех процессов: внедрением в производство тахеометров ТД и ТН, позволяющих получать без дополнительных вычислений значения превышений и горизонтальных проложений.

Использование ЭВМ обеспечивает производство тахеометрической съемки без проложения теодолитных или тахеометрических ходов, обязательных при обычной тахеометрической съемке. Этот способ тахеометрической съемки получил название **блочной тахеометрии**. Ее принцип заключается в том, что участок, подлежащий съемке, делят на секции. Размеры секций таковы, что съемка каждой из них должна проводиться полностью с одной станции. Каждая секция снимается полярным методом, как в обычной тахеометрии, т. е. измерением горизонтальных и вертикальных углов и расстояний до пикетов (рис. 88). Видимость между соседними станциями не нужна. Но съемка таким способом требует соблюдения двух обязательных условий: 1) соседние секции должны иметь не менее двух общих точек (пикетов); 2) снимаемый участок должен иметь достаточное число исходных гео-

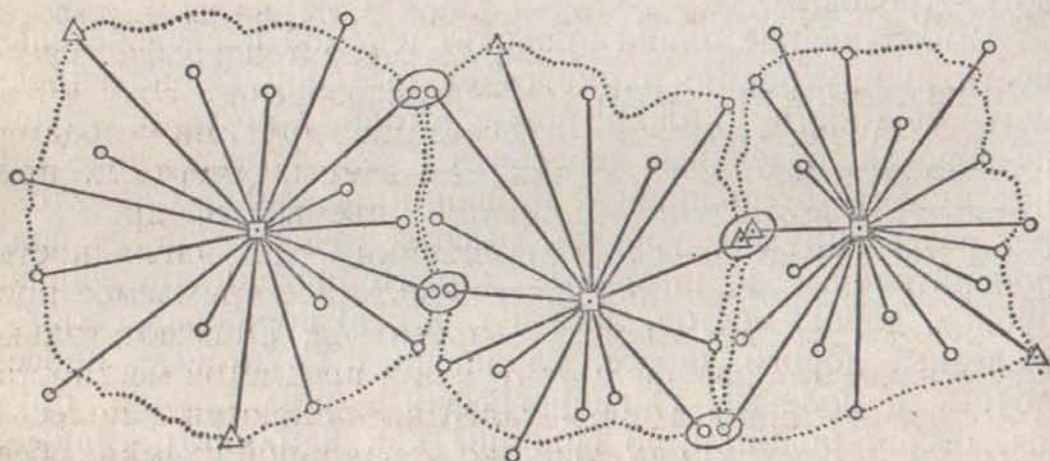


Рис. 88. Схема блочной тахеометрии

дезических пунктов, имеющих отметки высот. Во всяком случае число исходных геодезических пунктов должно быть не менее двух.

Положение пикетов сначала вычисляют в системе координат каждой секции. Затем, используя связующие точки, положение пикетов вычисляют в единой блоковой системе. При этом в качестве такой блоковой системы координат может служить система координат одной из секций. Далее, используя координаты исходных геодезических пунктов, блочную систему координат пикетов перевычисляют в общегосударственную систему координат. Все вычисления производят на ЭВМ по специально разработанным программам.

Практические занятия. Знакомство с тахеометрами и их поверка. Обработка страницы журнала. Накладка пикетных точек одной станции.

Глава 9

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 58. МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Мензульная съемка — это наземный метод съемки, при котором топографический план (в карандаше) составляется непосредственно на местности.

В основу мензульной съемки положено графическое определение на планшете взаимного расположения точек местности, а горизонтальные проекции углов между точками местности строятся графически.

Мензульную съемку применяют на небольших участках местности, когда отсутствуют материалы аэрофотосъемки или когда использование стереотопографического метода съемки экономически нецелесообразно. Этот метод съемки также используют в сочетании с другими методами, например для закрытия так называемых «мертвых пространств» при фототеодолитной съемке и др.

Достоинство мензульной съемки — ее наглядность. С точек, с которых проводят съемку, все снимаемое пространство должно хорошо обозреваться. Снимают только то, что видят. Зарисовка контуров и предметов местности, рисовка и укладка горизонталей выполняются в полевых условиях. В этом преимущество мензульной съемки, обеспечивающее более высокую точность по сравнению с та-

хеометрической. Но она имеет свои недостатки: большую затрату времени на производство полевых работ, зависимость от метеорологических условий, отсутствие возможности разделения труда.

С целью сгущения геодезического планового и высотного обоснования (государственных сетей и сетей сгущения) до плотности, обеспечивающей выполнение мензульной съемки, создают геодезическое съемочное обоснование.

§ 59. СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Плановое съемочное обоснование для мензульной съемки создают в открытых районах построением геометрической сети (для масштабов 1 : 5000 и 1 : 10 000) или развитием сетей методом триангуляции, в закрытых районах проложением теодолитных ходов. Дальнейшее сгущение съемочного обоснования до нужной плотности осуществляется проложением мензульных ходов как между исходными пунктами геодезического обоснования, так и между точками съемочного обоснования (рис. 89).

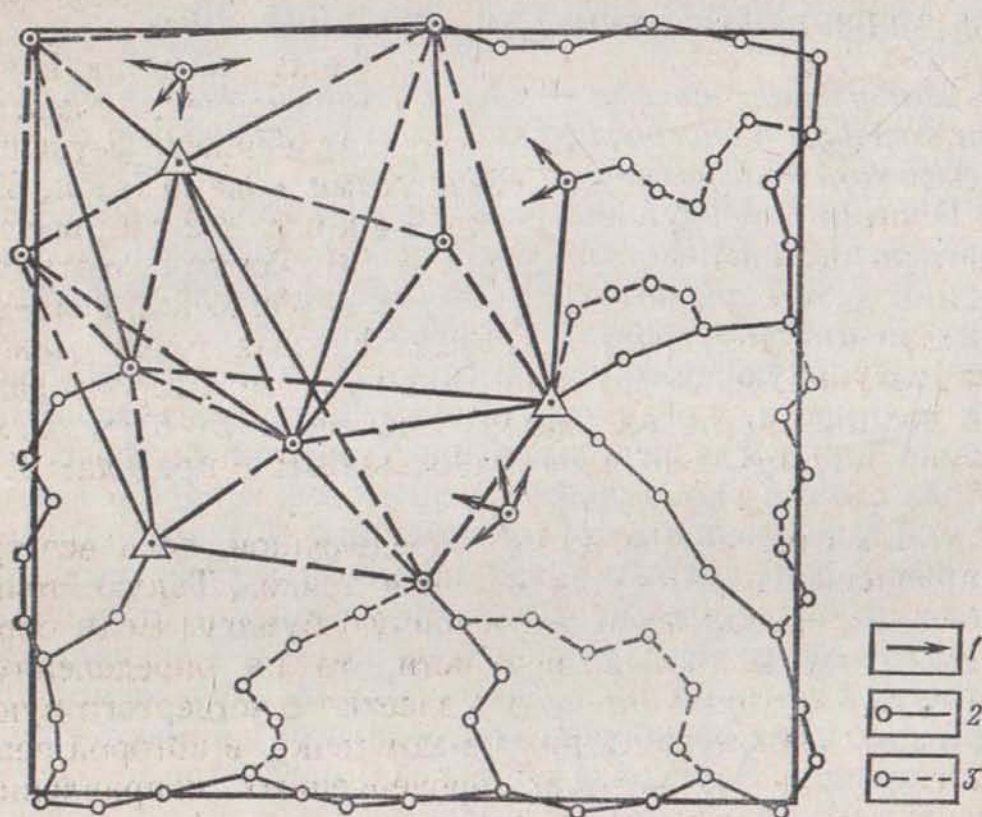


Рис. 89. Схема обеспечения планшета точками съемочной сети:

1 — направления; 2 — теодолитный ход; 3 — мензульный ход.

Таблица 33

Технологические требования к мензульным ходам

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1 : 10 000	2500	400	—
1 : 5 000	1000	250	5
1 : 2 000	500	200	5
1 : 1 000	250	100	3
1 : 500	200	100	2

Густота точек съемочной сети (вместе с исходными пунктами) должна быть доведена до норм, указанных ниже:

Масштаб съемки	1 : 10 000	1 : 5 000	1 : 2 000	1 : 1 000	1 : 500
Число точек на 1 км ²	3—4	12—22	22—50	48—80	80—140

Наименьшее число точек предусмотрено для участков с несложной ситуацией и рельефом, наибольшее — для участков со сложной ситуацией (например, застроенные территории) или сложным рельефом.

Примерно 30 % необходимого числа точек на 1 км² создается развитием сетей или проложением теодолитных ходов. Оно обеспечивает дальнейшее сгущение съемочного обоснования мензульными ходами (табл. 33).

Построение геометрической сети выполняют на рубашке планшета (см. § 63). Точки геометрической сети получают на планшете графически, главным образом методом прямых засечек. Каждая точка должна быть засечена не менее чем с трех пунктов. Стороны засечек должны иметь на планшете не менее 5—6 см. Углы засечек в получаемой точке должны быть в пределах 30—150°.

Точка считается надежно определенной, если все три направления пересекутся в одной точке. Такую точку рубашки перекалывают на основную бумагу. Если образуется треугольник погрешности, то на определенную точку делают дополнительную засечку с четвертого пункта. За положение точки принимают точку, в которой пересекаются три из четырех прочерченных направлений. Неверное направление проверяют.

Развитие сетей методом триангуляции осуществляется в виде цепочек треугольников, вставок

в угол, определением прямых, обратных и комбинированных засечек. В таких сетях углы измеряют теодолитом с точностью не менее $30''$. Координаты пунктов вычисляют и по ним наносят эти пункты на планшет. Подробно о данном методе и вычислении координат изложено в гл. 12. Углы измеряют двумя круговыми приемами с перестановкой лимба между приемами на 90° . Допуски при измерении углов даны в табл. 12 (см. гл. 6). Углы в треугольниках должны быть не менее 20° , а стороны не короче 150 м. Невязки в треугольниках не должны превышать $1,5'$. Углы засечек должны быть в пределах $30-150^\circ$.

Положение теодолитных ходов подробно изложено в гл. 6.

Мензульные ходы прокладывают по дорогам, просекам, речным долинам, оврагам, стремясь к наименьшему числу точек поворота. Мензульные ходы можно прокладывать как между двумя пунктами, так и опирающимися на один пункт.

Работы на точке мензульного хода выполняют в такой последовательности: мензулу центрируют, приводят в горизонтальное положение, ориентируют, измеряют высоту горизонтальной оси кипрегеля, наводят кипрегель на рейку, установленную на последующей точке, прочерчивают на нее по линейке направление, определяют дважды расстояние по дальномеру, измеряют вертикальный угол одним полным приемом и измеряют высоту точки визирования. Далее переходят на следующую точку и делают измерение в той же последовательности. Подчеркнем, что длину сторон мензульного хода и вертикальные углы измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях.

Расхождение между прямым и обратным значениями длин линий хода не должно превышать $1 : 200$ (0,5 м на 100 м длины линии). Расхождение между прямым и обратным превышениями не должно быть более 10 см при длине линии до 250 м и 4 см на каждые 100 м при больших расстояниях. Вычисленное горизонтальное проложение (среднее из прямого и обратного измерений) откладывают в масштабе по прочерченной линии. Так получают первую точку хода. На последней точке хода визируют на конечный пункт B (рис. 90), прочерчивают на него направление, на направлении откладывают расстояние и накалывают точку B_1 . Как правило, эта точка наклона не совпадает с пунктом B на планшете. Расстояние между точками B_1 и B является линейной невязкой хода, которая не должна

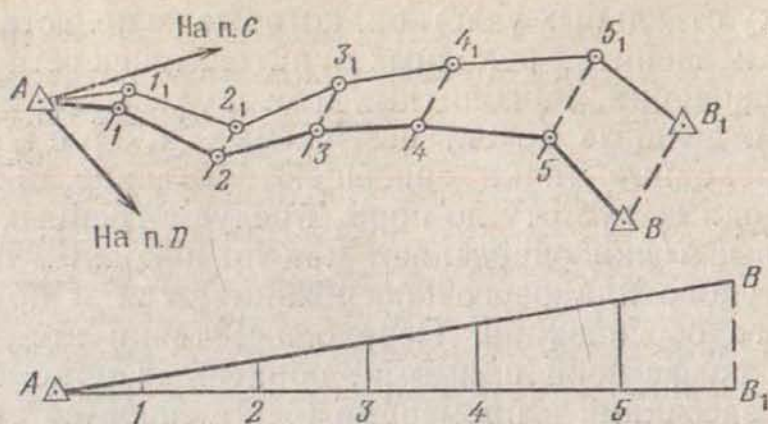


Рис. 90. Схема уязки мензульного хода

превышать 0,8 мм на плане. Относительная невязка хода должна быть не более 1 : 300 (0,33 м на 100 м длины).

Если невязки в допуске, то приступают к уязке хода способом параллельных линий. Этот способ заключается в следующем: через все точки хода проводят линии, параллельные направлению линейной невязки B_1B . На этих линиях откладывают отрезки, пропорциональные расстояниям точек хода от начальной точки хода A . Длины этих пропорциональных отрезков получают из построения вспомогательного прямоугольного треугольника ABB_1 (см. рис. 90). В этом прямоугольнике одним из катетов служит длина всего хода AB_1 , а вторым — линейная невязка B_1B (в масштабе плана), на катете AB_1 откладывают отрезки, равные длинам линий хода. Перпендикуляры в этих точках (до гипотенузы) и есть эти поправочные отрезки. Их и откладывают от всех точек хода по линиям, проведенным параллельно линейной невязке. В результате будет получено исправленное положение точек мензульного хода.

Допустимая высотная невязка в мензульных ходах не должна превышать:

0,08 м	при	высоте	сечения	рельефа	0,25 м;
0,15 м	»	»	»	»	0,5 м;
0,20 м	»	»	»	»	1,0 м;
0,50 м	»	»	»	»	2,0 м;
1,00 м	»	»	»	»	5,0 м.

Высотная невязка хода распределяется с обратным знаком на каждое превышение пропорционально длинам сторон хода.

Только после уязки точек мензульного хода в плане и по высоте они могут быть использованы для съемки.

Съемку отдельных участков, которые не представляется возможным заснять с исходных пунктов, точек сети съемочного обоснования, теодолитных и мензульных ходов, проводят с отдельных точек, называемых *переходными*. Переходные точки завершают создание съемочной сети, доводя ее густоту до норм, предусмотренных в § 59. Переходные точки определяют как по исходным пунктам геодезического планового обоснования, так и по точкам съемочного обоснования. Переходные точки могут определяться графически прямыми, обратными и комбинированными засечками и промерами (рекомендуется стальная лента или стальная рулетка) в створе между двумя пунктами, уже нанесенными на планшет.

При определении переходных точек методом засечек длины визирных лучей не должны превышать удвоенной максимальной длины линий в мензульных ходах (см. табл. 33).

Разрешается определение висячих переходных точек только в закрытой местности, с любой точки съемочного обоснования, число их не должно быть более двух.

Все точки съемочного обоснования должны обязательно иметь отметки. Положение по высоте определяют одновременно с определением положения точек в плане.

Высоты точек съемочного обоснования получают нивелированием горизонтальным лучом (нивелиром) при съемке с высотой сечения рельефа 0,5; 1 и 2 м, при помощи кипрегеля с уровнем при трубе при съемке с высотой сечения рельефа 1 и 2 м и тригонометрическим нивелированием при съемке всхолмленных и горных районов с высотой сечения рельефа 2 и 5 м.

§ 60. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ТОЧЕК

Прямая засечка

Пусть на местности имеются исходные пункты *A*, *B* и *C*, которые нанесены на планшет (*a*, *b* и *c*). Следует определить плановое положение пункта *D*. Для определения положения пункта *D* на планшете мензулу устанавливаем поочередно над пунктами *A*, *B* и *C*. На каждом пункте планшет центрируют, горизонтируют и ориентируют (не менее чем по двум пунктам) и визируют соответственно через точки *a*, *b* и *c* на пункт *D* (рис. 91). На каждой установке прочерчивают одно из направлений *ad*, *bd* и *cd*.

Пересечение на планшете этих направлений даст положение искомой точки d .

Обратная засечка

Сущность этой засечки заключается в следующем: по трем данным пунктам (A , B и C на местности и a , b и c на планшете) определяется положение четвертого пункта, например D , причем мензулу устанавливают только на этом пункте. Для решения этой задачи предложено много способов. Рассмотрим наиболее употребляемые.

Выполнение засечки тремя поворотами планшета (способ Бесселя).

1. Находясь фактически на точке D , представляем себя стоящими на пункте A . Ориентируем планшет по линии ab на пункт B , визируем и прочерчиваем направление через a на пункт C (рис. 92, I).

2. Не меняя положения мензулы, воображаем теперь себя стоящими на пункте B и ориентируем планшет по линии ba на пункт A , ориентируя, визируют и прочерчивают направление через b на пункт C (рис. 92, II).

3. В пересечении этих двух прочерченных направлений получим точку m , которая с точкой c на планшете даст линию ориентирования. По этой линии mc ориентируем планшет (третий поворот), визируя на пункт C , затем визируем через точку a на пункт A и через точку b на пункт B и получаем двойной обратной засечкой искомую точку d (рис. 92, III).

Такое решение обратной засечки бесконтрольно. Для обеспечения контроля после ориентирования планшета

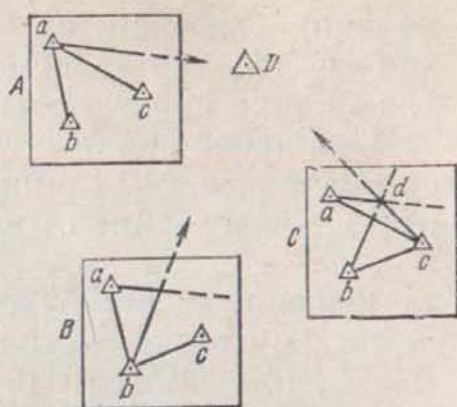


Рис. 91. Схема прямой засечки

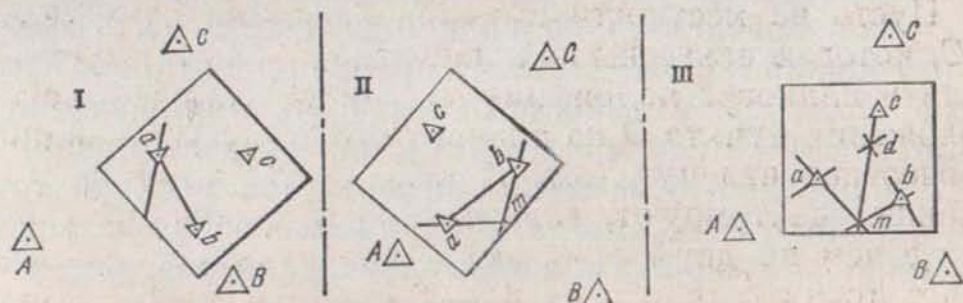


Рис. 92. Схема обратной засечки

по линии tc один из пунктов (A или B), используемый для получения вспомогательной точки m , заменяют для засечки на четвертый пункт E (на рис. 92 не показан).

При прочих равных условиях решение задачи становится тем точнее, чем длиннее линия ориентирования tc и чем меньше расстояние от искомой d до исходных пунктов A , B и C .

Решение задачи будет наиболее надежно, если точка D лежит внутри треугольника, образованного пунктами A , B и C , или против одного из углов этого треугольника, между продолжением его сторон.

Решение задачи становится невозможным в случае, когда определяемая точка D расположена на окружности, проведенной на местности через пункты A , B и C , а на планшете — через точки a , b и c (через три точки всегда можно провести окружность). Эта окружность называется **о п а с н ы м к р у г о м**.

Решение задачи становится значительно менее точным и тогда, когда определяемая точка D находится близко к опасному кругу. Такого расположения не следует допускать.

С п о с о б п о с л е д о в а т е л ь н ы х п р и б л и ж е н и й. На определяемой точке D устанавливаем, центрируем, горизонтируем мензулу и по буссоли ориентируем. Визируем через каждую точку планшета a , b и c на соответствующие им пункты A , B и C и прочерчиваем линии. Эти линии не пересекутся в одной точке вследствие неточной ориентировки планшета и образуют треугольник погрешности. Если искомая точка D лежит внутри треугольника, образованного пунктами A , B и C , то точка d на планшете лежит внутри треугольника погрешности. При этом расстояния от сторон треугольника погрешности до точки d пропорциональны расстояниям от нее до пунктов a , b и c .

Искомую точку d намечаем на глаз и заново ориентируем планшет по линии d и одной из точек a , b и c , выбирая пункт наиболее удаленный. Исправив ориентировку планшета, вновь визируем на исходные пункты и прочерчиваем направления. Если все действия произведены правильно, то все прочерченные линии пересекутся в одной точке, которая и будет точкой d . Может вновь образоваться треугольник погрешности, но меньших размеров, чем в первый раз. В этом случае поступаем так же, как и в предыдущем.

Эта засечка состоит из действий, выполняемых при прямой и обратной засечках. На планшете нанесены точки a , b и c , соответствующие пунктам A , B и C на местности. Необходимо определить на

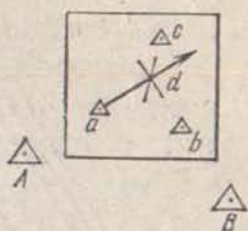
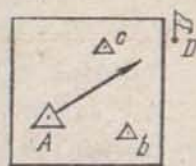


Рис. 93. Схема комбинированной засечки

планшете положение точки D местности. Для решения задачи устанавливаем мензулу на одном из пунктов A , B или C . Мензула поставлена на пункте A (рис. 93, I). Ее центрируем, горизонтируем, ориентируем и, прикладывая линейку кипрегеля к точке a , визируем на точку D и прочерчиваем линию. После этого мензулу переносим в точку D . Установив ее в точке D , горизонтируем и ориентируем планшет в обратном направлении на точку A по прочерченной линии Ad . После этого визируем через точку b на пункт B , через точку c на пункт C . В пересечении трех линий на планшете получим искомую точку d (рис. 93, II).

§ 61. ПРИБОРЫ (ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ)

Мензультную съемку выполняют при помощи мензулы и кипрегеля.

Мензула * состоит из мензультной доски-планшета, подставки и штатива.

П л а н ш е т изготавливают в виде квадрата со сторонами по 60 см из липового дерева. Ватман высшего качества можно наклеивать непосредственно на планшет при помощи взбитого яичного белка. Обычно ватман наклеивается на листы алюминия или выдержанной фанеры, толщина которой 3 мм. Обратная сторона этих листов оклеивается (во избежание деформации) простой плотной бумагой. Эти листы гвоздиками крепят к планшету.

П о д с т а в к а имеет следующее назначение: 1) соединяет планшет со штативом; 2) центрирует мензулу (устанавливает точку на планшете над идентичной точкой местности); 3) горизонтирует мензулу (приводит планшет

* Мензула (mensula) — по-латыни столик.

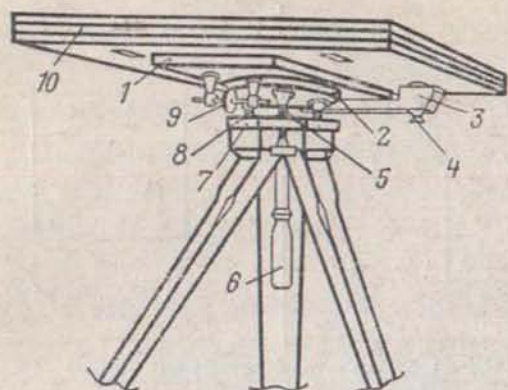


Рис. 94. Деревянная подставка мензулы

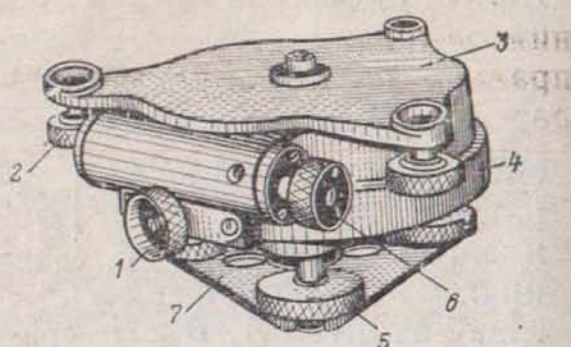


Рис. 95. Металлическая подставка мензулы

в горизонтальное положение); 4) ориентирует мензулу (устанавливает планшет в определенное положение относительно стран света).

Подставки бывают различные по устройству. Наибольшее распространение имеют деревянная и металлическая (универсальная МУ).

Деревянная подставка состоит из прямоугольной доски 1 (рис. 94), круга 2 и нижней планки 7, связанных между собой станковым винтом 5. Круг 2 опирается на три подъемных винта 8. Рукоятка 6 навинчивается на становой винт, укрепляет подставку и делает ее и планшет неподвижными. Мензуральная доска 10 крепится винтами 4 к доске подставки 1 при помощи двух планок 3 (передняя планка на рис. 94 не показана). Круговое вращение в небольших пределах осуществляет наводящее устройство 9.

Деревянная подставка имеет большую прочность и устойчивость в работе. Ее недостатки: грубое вращение планшета вокруг оси прибора, и она достаточно тяжела по своей массе.

Чаще используется металлическая универсальная подставка, которая имеет меньшую массу, обеспечивает плавное вращение планшета по азимуту (рис. 95). Но устойчивость ее в работе значительно меньше. Поэтому при работе с ней требуется большая аккуратность.

Эта подставка состоит из цилиндра 4, опирающегося на три подъемных винта 5. Верхний корпус 3 имеет три винта 2 для крепления на нем планшета. Пластинка 7 при помощи станкового винта крепит подставку на штативе. Вращение планшета по азимуту регулируется закрепительным устройством 1, а в небольших пределах — наводящим устройством 6.

Кипрегель — прибор, предназначенный для визирования по направлениям, графического построения этих направлений на планшете, измерения вертикальных углов, расстояний и превышений. Наиболее широко распространены кипрегели с преобразователем КА-2 и КН. Это кипрегели с номограммами горизонтальных проложений расстояний и превышений, изображенными в поле зрения трубы.

Основные технические характеристики кипрегелей

	КА-2	КН
Увеличение зрительной трубы	30	25
Коэффициенты:		
дальномера	100, 200	100, 200
кривой горизонтального положения	100	100, 200
кривой превышений	10, 20, 100	10, 20, 100
Точность отсчета по вертикальному кругу	1'	1'
Цена деления уровня (на 2 мм):		
на линейке	50—90"	60"
на алидаде вертикального круга	30—50"	30"
Длина линейки, мм	350 и 530	325 и 550
Масса кипрегеля, кг	2,8	3,0

Основанием кипрегеля КА-2 служит широкая линейка 10 (рис. 96), к которой при помощи двух шарниров 11 присоединена узкая длинная линейка 12. При пользовании линейкой 12 отпадает необходимость в точной установке кипрегеля у точки стояния на планшете. На широкой линейке укреплены: цилиндрический уровень 9 для приведения планшета в горизонтальное положение, масштабная линейка 1, колонка прибора 13. Колонка имеет ручку 7. Вверху колонки на горизонтальной оси укреплены зрительная трубка и закрытый кожухом стеклянный

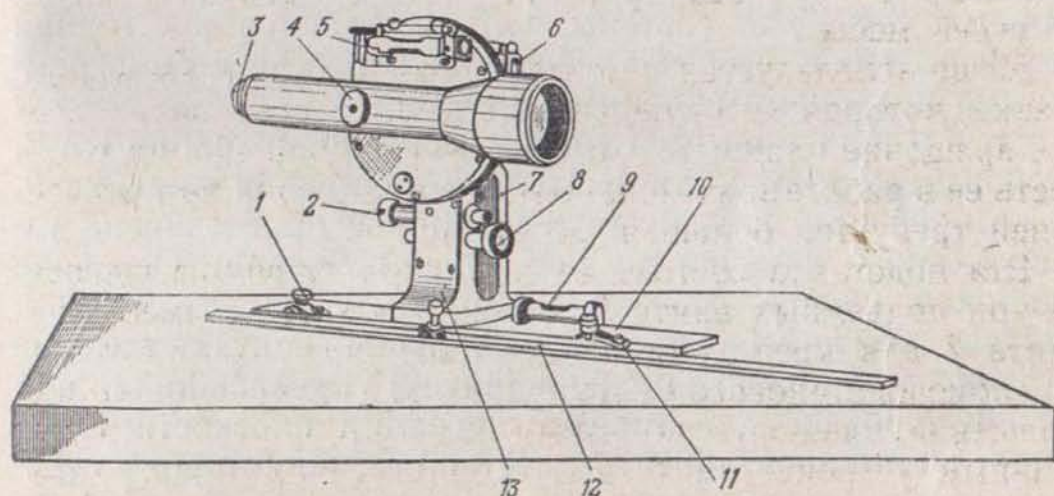


Рис. 96. Кипрегель КА-2

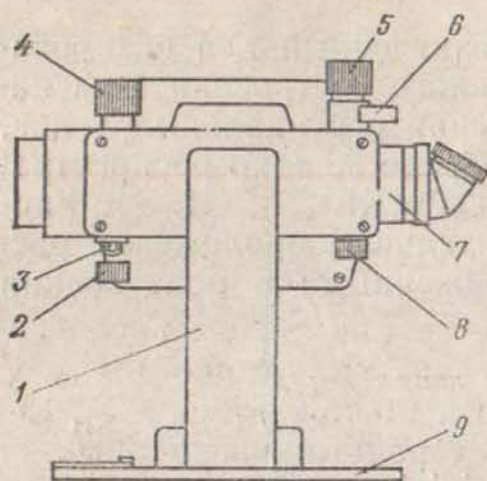


Рис. 97. Схема кипрегеля КН

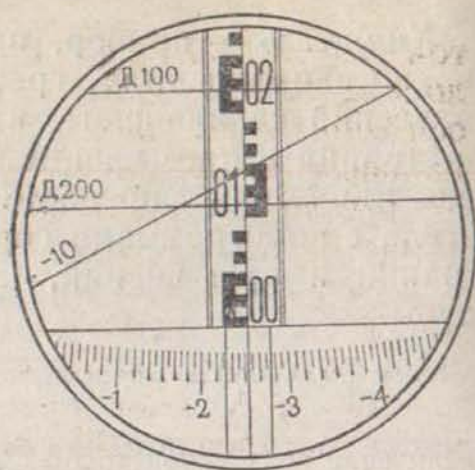


Рис. 98. Поле зрения трубы кипрегеля КН

вертикальный круг. На колонке помещаются: головка закрепительного устройства трубы на (рис. 96 не видно), головка наводящего устройства трубы 2 и головка наводящего устройства алидады вертикального круга (уровня) 8. Окуляр 3 зрительной трубы снабжен диоптрийным кольцом. Фокусировка трубы осуществляется головкой 4. Трубу переводят через зенит вниз объективом. При вертикальном круге и при зрительной трубе имеются цилиндрические уровни 5 и 6. Уровень 6 скреплен с вертикальным кругом. Уровень 5, скрепленный со зрительной трубой, реверсивный. Наличие этого уровня позволяет пользоваться кипрегелем как нивелиром.

Устройство оптической системы кипрегеля подробно изложено в учебнике [4]. Зрительная труба кипрегеля аналогична по устройству трубе тахеометра ТА-2. Устройство отсчетной системы, методы отсчетов расстояний и превышений, особые требования к работе с номограммными приборами изложены в § 53.

К и п р е г е л ь КН (рис. 97) внешне похож на КА-2. Основанием кипрегеля КН служит широкая линейка 9, к которой при помощи двух шарниров присоединена узкая длинная линейка (на рис. 97 не показана). Основная широкая линейка несколько уже, чем у кипрегеля КА-2. На широкой линейке укреплены четырьмя винтами колонка прибора 1. В колонке прибора (внизу) укреплен цилиндрический уровень для горизонтирования плоскости планшета, на длинной линейке имеется паз, по которому перемещается съемная масштабная линейка с наколочным штиф-

том. Последний используют для нанесения пикетов. Колонка ручки не имеет. Вверху колонки на горизонтальной оси укреплены зрительная труба 7 и стеклянный вертикальный круг, закрытый кожухом. Зрительная труба кипрегеля дает прямое изображение предметов и имеет ломаный вращающийся окуляр, очень удобный для работы. В верхней части колонки расположены закрепительное 6 и наводящее 5 устройства зрительной трубы. Они соосны. В верхней части колонки расположено установочное устройство 4 уровня при вертикальном круге. Уровень имеет юстировочный винт 3, убранный под колпачок 2. Оптическая система прибора сходна с оптической системой кипрегеля КА-2. Юстировочные винты оптической системы находятся под крышкой 8.

Номограммы для определения горизонтальных проложений и превышений видны на всем поле зрения трубы. В поле зрения зрительной трубы кипрегеля КН (рис. 98) все кривые (основная, дальномерные и превышений) смотрятся прямыми линиями. Для отсчитывания горизонтальных проложений и превышений по вертикальной рейке при помощи номограмм необходимо, чтобы вертикальный основной штрих сетки нитей проходил посередине рейки, место нуля равнялось бы 0° , а пузырек цилиндрического уровня при вертикальном круге был бы установлен в нуль-пункте. Кривых горизонтальных проложений у кипрегеля две: одна с коэффициентом 100, другая — с 200. Для определения горизонтальных проложений и превышений отсчитывают отрезки рейки между основной кривой и кривой горизонтальных проложений с коэффициентом 100 и кривыми превышений и умножают на коэффициенты. Для кривой горизонтальных проложений с коэффициентом 200 нужно отсчитывать отрезки рейки между двумя кривыми горизонтальных проложений. На рис. 98 расстояние до рейки 22 м, превышение — 1,45 м.

Номограммы горизонтальных проложений и превышений видны до углов наклона от -40° до $+40^\circ$ и только при КЛ. Лимб вертикального круга несколько отличается от лимба в кипрегеле КА-2. Он оцифрован от 0° при горизонтальном положении зрительной трубы в обе стороны до 50° , и градусные деления сопровождаются знаками плюс и минус в зависимости от знака угла наклона. При этом при наведении на одну и ту же точку при КЛ и КП величина и знак отсчета один и тот же (соответствует углу наклона), если, конечно, $M_0 = 0$.

Место нуля вычисляют по формуле (КЛ — КП) : 2. Наименьшее деление лимба вертикального круга 5'. Подписаны только градусные деления. Индексом для отсчета по вертикальному кругу служит вертикальный основной штрих сетки нитей. На рис. 98 отсчет по вертикальному кругу будет: КЛ = $-2^{\circ} 31'$.

Принадлежности мензулы: 1) ориентир-буссоль, предназначенная для ориентирования мензулы, и 2) вилка для центрирования планшета над соответствующими точками местности. Для производства мензульной съемки кроме мензулы используют рейки. При съемках в крупных масштабах, как правило, применяют обычные трехметровые шашечные нивелирные или специальные рейки. При работе с номограммными кипрегелями применяют специальные рейки с выдвижной нижней частью, благодаря которой ноль рейки можно устанавливать на высоте кипрегеля.

§ 62. ПОВЕРКА ПРИБОРОВ

Поверки мензулы

1. Мензула должна быть устойчива. Во время работы она должна оставаться неподвижной — пружинить при давлении рук съемщика, тяжести приборов, напоре ветра и т. д. Для проверки устанавливают мензулу и кипрегелем визируют на хорошо видимую точку. Затем пальцем делают вертикальные нажимы на край мензульной доски и боковые нажимы на борт доски. После каждого нажима перекрестие сетки нитей должно возвращаться на наблюдаемую точку. В противном случае устанавливают причины неустойчивости мензулы и устраняют их.

2. Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью. Поверку выполняют скошенным краем линейки кипрегеля, прикладывая его по различным направлениям доски. Величина просвета между линейкой и доской не должна быть более 0,5 мм.

3. Верхняя поверхность планшета должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения прибора. Планшет горизонтируют при помощи кипрегеля с выверенным уровнем. Затем вращают его вокруг вертикальной оси прибора. Уровень при этом не должен отклоняться более чем на два деления. Если отклонение больше, то мензулу передают механику для исправления.

Поверки кипрегеля

1. Скошенные края линеек должны быть прямыми линиями. Поверку проводят, как у обычной линейки.

2. Ось уровня на линейке или колонке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки. Это условие проверяют перестановкой уровня вместе с кипрегелем на 180° , для чего предварительно на планшете прочерчивают линию, к которой и прикладывают скошенный край линейки. Исправление уровня проводится обычным образом (см. § 32).

3. Правая грань посеребренной пластинки или вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к нижней плоскости линейки. Планшет горизонтируют. Правую грань посеребренной пластинки или вертикальный штрих сетки нитей кипрегеля при КЛ наводят на четко видимую точку. Работая наводящим устройством, наклоняют зрительную трубу. Если при наклонах трубы изображение точки не уходит с грани посеребренной пластинки или штриха сетки нитей, то условие выполнено. В противном случае поворачивают окулярную часть зрительной трубы, для чего слегка отвинчивают стопорный винт 1 (рис. 99).

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Для проверки планшет горизонтируют, наводят зрительную трубу кипрегеля на удаленную, хорошо видимую точку и по краю линейки прочерчивают линию АВ (рис. 100). Затем переводят трубу через зенит и снова наводят ее на ту же точку. При этом

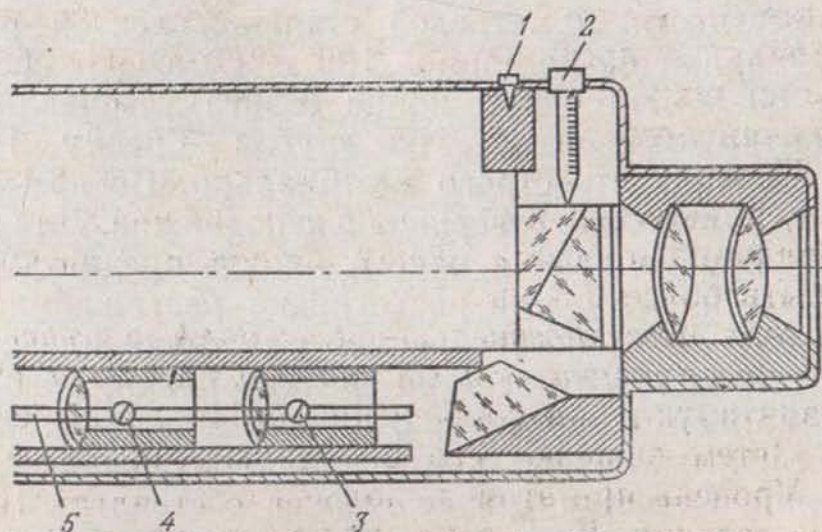


Рис. 99. Схема окулярной части трубы кипрегеля

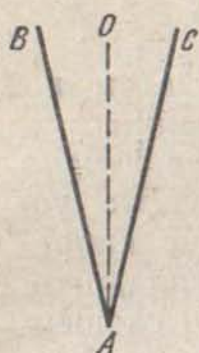


Рис. 100. Схема проверки коллимационной погрешности

край линейки должен проходить через отмеченную точку A . На планшете прочерчивают вторую линию. Если линии совпадут, то условие выполнено. В противном случае угол BAC (см. рис. 100) выражает двойную коллимационную погрешность. Для ее устранения край линейки нужно совместить с биссектрисой AO . После этого винтом 2 (см. рис. 99) перемещают призмный блок до тех пор, пока грань посеребренной пластинки или штрих сетки нитей не совпадет с изображением наблюдаемой точки.

5. Место нуля кипрегеля КА-2, определяемое по отношению к основной (начальной) кривой, должно быть близко к 90° и может отличаться от 90° не более $0,5'$. Определяют МО обычным способом (формулы аналогичны формулам, приведенным для тахеометра ТА-2).

Место нуля кипрегеля КН по отношению к основной кривой должно быть 0° и не должно отличаться от него более $1'$.

Наводящим винтом алидады устанавливаем на вертикальном круге отсчет, соответствующий углу наклона. От этого пузырек уровня отклонится от нуля-пункта. Юстировочными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Проверку и, если нужно, юстировку повторяют.

6. Коэффициент дальномера кривой горизонтальных проложений должен быть равен 100 и может отличаться от 100 не более $0,2\%$. Для проверки на горизонтальном участке местности 20-метровой стальной лентой разбивают и измеряют базис длиной 100 м. Отмечают середину базиса — 50 м. На одном конце базиса устанавливают и горизонтируют мензулу, на другом — рейку. Рейку нужно устанавливать строго вертикально. Во время проверки она должна быть совершенно неподвижна. Для этого рейку или привязывают к какому-нибудь предмету (штативу, ограде и т. д.), или растягивают растяжками. Наводят правую грань посеребренной пластинки или вертикальный штрих сетки нитей на середину рейки, конец начальной кривой совмещают с целым делением метров (1,00) и отсчитывают по концу кривой горизонтальных проложений. Отсчет по рейке должен составлять 100 см и может от него отличаться не более 2 мм. В противном случае прибор нужно юстировать. Для этого нужно снять

боковую крышку, расположенную слева от окулярной части зрительной трубы (при КЛ). Она крепится к трубе четырьмя винтами. Сняв крышку, увидим прорезь 5 и два винта 3 и 4 (см. рис. 99). Юстировочные винты 3 и 4 надо слегка отпустить, после чего они довольно легко двигаются вдоль прорези. Движение винта 4 меняет величину коэффициента, движение винта 5 регулирует качество изображения кривых и делений вертикального круга. Отъюстировав дальномер так, чтобы отсчет по рейке был равен 100 см, винты 3 и 4 закрепляют.

После закрепления винтов проверяют коэффициент дальмера на расстояниях 100 и 50 м. Коэффициент дальмера кипрегеля КН, равный 200, можно не проверять.

7. Коэффициенты кривых превышений должны быть близки к номиналу ± 10 , ± 20 и ± 100 . Отклонение от номинала допускается не свыше для $K = 10 - 0,1$, $K = 20 - 0,2$, $K = 100 - 0,4$. Если предыдущие проверки и юстировки (5-я и 6-я) выполнены тщательно и верно, то коэффициенты кривых превышений будут в указанных выше допусках, так как юстируются они перемещением объектива отсчетной системы теми же винтами 3 и 4 (см. рис. 99).

Проверяют коэффициенты $K = 10$ и $K = 20$. Коэффициент $K = 100$ не проверяют. Коэффициенты кривых превышений определяют сравнением превышений, измеренных кипрегелем и полученных нивелированием IV класса, и вычисляют по формуле

$$K = K_0 (h_0 : h_{cp}),$$

где K_0 — номинальное значение коэффициента (10, 20); h_0 — превышение, измеренное нивелиром; h_{cp} — превышение, измеренное кипрегелем.

Для более уверенного определения коэффициентов нужно иметь два различных превышения между двумя парами реперов. Превышение между реперами должно быть 5—15 м, расстояние 50—100 м. Число измеренных кипрегелем превышений между реперами должно быть не менее 20 (10 — при положительном и 10 — при отрицательном угле наклона). Отдельные превышения получают путем наведения начальной кривой на разные по высоте деления рейки.

Превышение вычисляют по формуле

$$h = K_0 (a - n) + i - n,$$

Пример записи измерений и вычислений коэффициента кривой превышений ± 10

Кипрегель: КА-2 № 00261

 K_{10}

16 июля 1982 г.

Прямой ход							Обратный ход			
Точка стояния, высота прибора	на репер № 2			на репер № 3			Точка стояния высота, прибора	на репер № 1		
	Отсчет по рейке a	Высота визиро- вания n	Превы- шение h	Отсчет по рейке a	Высота визиро- вания n	Превы- шение h		Отсчет по рейке a	Высота визиро- вания n	Превы- шение h
№ 1, $i = 1,41$ м	1168	500	-7,59	1434	500	-10,25	№ 2, $i = 1,35$ м	1179	500	+7,64
	1716	1000	-7,57	1980	1000	-10,21		1731	1000	+7,66
	2264	1500	-7,55	2001	1200	-10,23		1953	1200	+7,68
	2817	2000	-7,58	2532	1500	-10,23		2283	1500	+7,68
	2925	2100	-7,56	2862	1800	-10,22		2830	2000	+7,65
Среднее	-7,57			-10,23			№ 3, $i = 1,39$ м	1452	500	+7,66
	Среднее: на репер № 2 = 7,615 м на репер № 3 — 10,310 м							1999	1000	+10,41
								2217	1200	+10,38
								2551	1500	+10,36
								2880	1800	+10,40
							</			

Превышение, определенное нивелированием IV класса, между реперами № 1 и 2 равно -7,632, между реперами № 1 и 3 равно -10,366.

$$K = 7,632 : 7,615 = 10,02 \quad K = 10,366 : 10,310 = 10,05$$

$$K_{10} = 10,04$$

Примечание. Коэффициент $K = \pm 20$ проверяется так же,

где K_0 — коэффициент кривых превышений (± 10 , ± 20); a — отсчет по рейке при помощи кривой превышений; n — отсчет по рейке при помощи начальной кривой; i — высота прибора. Значения отдельных превышений не должны различаться между собой более чем на 5 см. Пример записи и вычислений приведен в табл. 34.

§ 63. ПОДГОТОВКА ПЛАНШЕТА

На наклеенные и просушенные планшеты наносят координатную сетку со сторонами квадратов 10 см. Координатную сетку удобнее всего строить при помощи координатографа. При отсутствии координатографа сетку строят при помощи линейки Дробышева или штангенциркулем и масштабной линейкой. Правильность построения сетки проверяют. Отклонение всех сторон и диагоналей от их номинальных значений не должно превышать 0,2 мм (см. § 38).

Пользуясь значениями координат пунктов геодезического обоснования, координатную сетку оцифровывают с таким расчетом, чтобы возможно большее число пунктов геодезического обоснования можно было бы по координатам нанести на планшет.

Затем по координатам наносят все пункты планового обоснования и углы рамки трапеции. Правильность нанесения проверяют измерением расстояний между пунктами и углами рамок.

При накладывании точек съемочного обоснования, когда расстояния между ними невелики (менее 5 см), для ориентирования планшета на нем прочерчивают вспомогательные линии ориентирования. Линии ориентирования проводят через вспомогательные точки, нанесенные по координатам. Это могут быть точки, расположенные на продолжении линий или на пересечении продолжений линий с координатной сеткой.

Допустим, что координата y точки c известна (рис. 101, а). Остается определить координату x этой точки, т. е. Δx_{ac} . В прямоугольном треугольнике acd угол при вершине c является дирекционным углом линии ab . Тогда $\Delta x_{ac} = (y_c - y_a) \operatorname{ctg} \alpha$. Если координаты точки c неизвестны, но известна $s = ac$, так как мы задаем нужное, но произвольное ее удлинение bc (рис. 101, б). Тогда из прямоугольного треугольника acd $\Delta x_{ac} = s \cos \alpha$, а $\Delta y_{ac} = s \sin \alpha$.

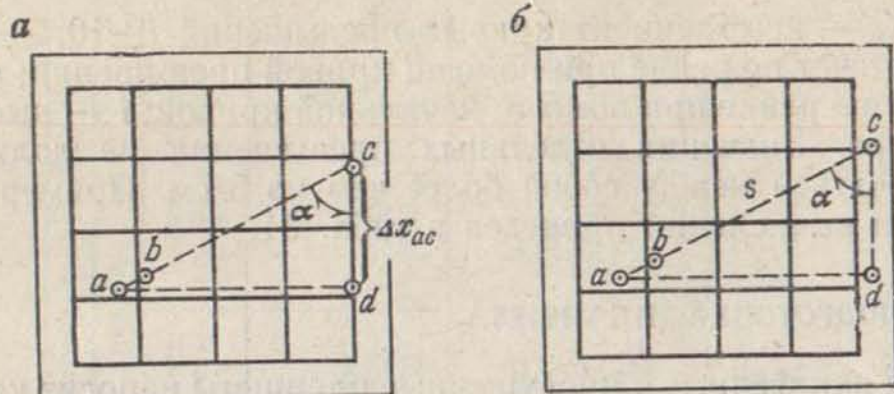


Рис. 101. Схема получения вспомогательных точек

После этого для предохранения планшета от загрязнения его покрывают (подворачивают и подклеивают) плотной бумагой («рубашкой»). В «рубашке» прорезают отверстия («окошки»), чтобы получить доступ и пользоваться пунктами и точками планового обоснования. Изготавливают, если это необходимо, кальки контуров и высот.

§ 64. ПРИВЕДЕНИЕ МЕНЗУЛЫ В РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Перед работой на станции мензулу необходимо привести в рабочее положение. Для этого планшет: 1) центрируют, 2) горизонтируют и 3) ориентируют.

Центрирование. Надо установить планшет так, чтобы точка, нанесенная на планшете, располагалась на одной отвесной линии с соответствующей ей точкой местности. Для этого мензулу, примерно отгоризонтированную и ориентированную на глаз, центрируют над нужной точкой, переставляя ее, если это необходимо. Точность центрирования должна быть не менее половины предельной точности масштаба съемки. При масштабах 1 : 5000 и мельче вилкой для центрирования не пользуются, выполняя центрирование на глаз. При масштабах 1 : 2000 и крупнее для центрирования пользуются вилкой. Точность центрирования имеет особое значение при коротких расстояниях (линиях).

Горизонтирование. Надо установить планшет так, чтобы его верхняя плоскость была горизонтальна. Это действие выполняют при помощи отъюстированного уровня на линейке или колонке кипрегеля и трех подъемных винтов подставки.

Планшет считается отгоризонтированным, если при установке на нем кипрегеля в любом направлении пузырек

Таблица 35

Погрешность ориентирования линий

Длина линии на плане, см	Погрешность ориентирования	Длина линии на плане, см	Погрешность ориентирования
1	34,3'	5	6,9'
2	17,2'	10	3,4'
3	11,5'	20	1,7'
4	8,6'	50	0,7'

уровня на линейке отклоняется от нуль-пункта не более чем на три деления.

О р и е н т и р о в а н и е. Надо установить планшет в определенное (и одинаковое для всех точек) положение относительно стран света. На ориентированном планшете все его линии будут параллельны соответствующим линиям местности. Во время съемки ориентирование время от времени необходимо проверять и в том случае, если оно нарушается, выправлять его.

Ориентировать планшет можно при помощи буссоли или по линии местности.

Точность ориентирования планшета при помощи буссоли составляет не свыше $0,5^\circ$, т. е. это грубое ориентирование.

Ориентирование по линии значительно точнее (табл. 35).

Из данных табл. 35 видно, что, чем длиннее линия, тем точнее ориентирование. Поэтому ориентирование планшета производят по наиболее удаленным точкам. Не рекомендуется проводить ориентирование по линиям короче 10 см на плане, а ориентирование по линиям короче 5 см не разрешается.

Ориентирование выполняют следующим образом. Предположим, что на местности имеются точки *A*, *B* и *C* и между ними имеется взаимная видимость. Этим точкам местности на плане соответствуют точки *a*, *b* и *c*. Допустим, что мензулу отцентрировали и отгоризонтировали над точкой *A*. Затем скошенный край линейки кипрегеля прикладывают к наколам точек *a* и *b* (рис. 102). При этом линия, проведенная твердым, остро отточенным карандашом, должна точно пройти через центры наколов *a* и *b*. После этого, работая наводящим устройством подставки мензулы, наводят вертикальный штрих сетки нитей (пра-

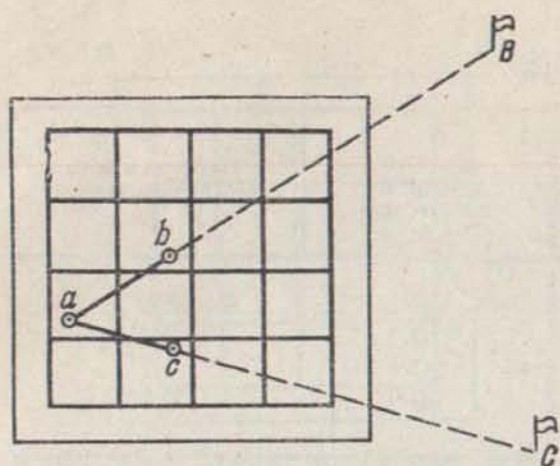


Рис. 102. Схема ориентирования мензулы

вый край посеребренной пластинки у кипрегеля КА-2) на наблюдаемую точку В.

Но ориентирование еще не закончено, так как оно должно быть проведено не менее чем по двум удаленным точкам. Прикладывая скошенный край линейки к точке а и вращая кипрегелем вокруг нее, визируем на точку С местности. Если после это-

го скошенный край линейки пройдет через точку плана с, то планшет ориентирован. Может случиться так, что прочерченная линия не будет проходить через центр накола с. Если она будет проходить через край накола или будет от него в стороне, но не более чем на величину 0,2 мм, то ориентирование планшета считают правильным. Для окончательного ориентирования остается распределить поровну между направлениями АВ и АС наводящим устройством подставки мензулы образовавшуюся погрешность. Если при визировании на точку местности С прочерченная линия будет в стороне от накола с на плане на величину, большую 0,2 мм, то нужно проверить первоначальную ориентировку и, если она верна, нанесение точек а, b и с по координатам на планшет. Ориентировку проверяют контрольными наблюдениями на все другие точки, видимые с точки А. Этим проверяют, кроме того, точность нанесения этих точек по их координатам на планшет.

§ 65. ПРОИЗВОДСТВО СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

Съемка предметов местности, контуров угодий и рельефа производится, как правило, полярным способом. Горизонтальное проложение (расстояние) от мензулы до речных точек (пикетов) определяют по кривой горизонтальных проложений, а превышения до пикетов — по кривым превышений.

Съемку производят с отцентрированного, отгоризонтированного и ориентированного планшета. Ориентировку мензулы по окончании работы на станции проверяют.

Таблица 36

Технологические требования к мензульной съемке

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Макси- мальное расстояние между пикетами, м	Макси- мальное расстояние от мензулы до пикетов при съемке рельефа, м	Максимальное рас- стояние от мензулы до пикетов при съемке ситуации, м	
				четких контуров	нечетких контуров
1 : 500	0,5	20	100	60	80
	1,0	20	150	80	80
1 : 1000	0,5	30	150	80	100
	1,0	40	200	80	100
1 : 2000	0,5	50	200	100	150
	1,0	50	250	100	150
1 : 5000	2,0	60	250	100	150
	0,5	75	250	150	200
	1,0	100	300	150	200
	2,0	120	350	150	200
	5,0	150	350	150	200

При этом как при отсчете расстояний, так и при отсчете превышений МО кипрегеля должно быть равным $90^\circ \pm 30''$ у кипрегеля КА-2 и $0^\circ \pm 1'$ у кипрегеля КН, а пузырек уровня при алидаде его вертикального круга должен быть приведен в нуль-пункт.

В зависимости от масштаба съемки и принятой высоты сечения рельефа расстояние между пикетами и расстояние от мензулы до пикетов не должны превышать величин, приведенных в табл. 36.

Если контуры имеют округленные очертания (речки, дороги, границы леса и т. д.), то разрешается на плане спрямлять их изображения. При этом действительная линия контура не должна отходить от линии, изображающей его на плане, более 0,4 мм (20 см, 40 см, 80 см, 2 м и 4 м на местности при съемках соответственно в масштабах 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000 и 1 : 10 000).

Рельеф изображают горизонталями и условными знаками. Горизонтالي проводят и укладывают обязательно в поле, на точке, с которой проводят съемку. При этом не следует ожидать окончания работ на точке. Набрав небольшое число пикетов, необходимо приступать к интерполированию горизонталей и рисовке рельефа.

Горизонтали проводят везде, за исключением изображений полотна железных дорог, шоссейных и других до-

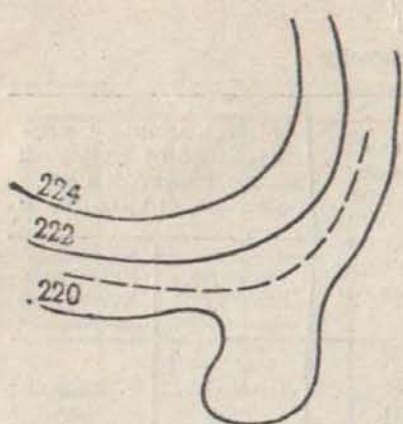


Рис. 103. Схема расположения полугоризонталей

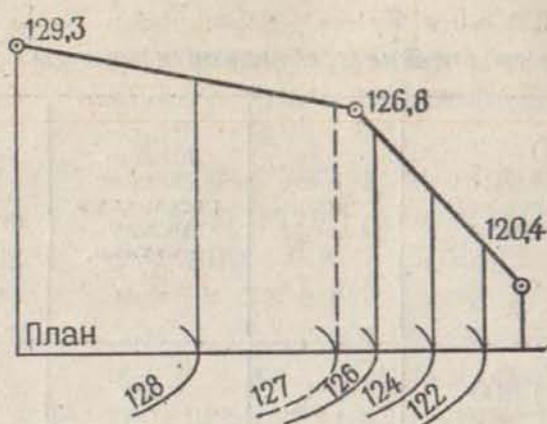


Рис. 104. Схема детализации крутизны склона

рог с искусственным покрытием, различных сооружений и строений, карьеров, осыпей, обрывов, рек и водоемов.

Для удобства чтения рельефа на планах масштабов 1 : 5000 и 1 : 2000 подписывают не менее 10 отметок на 1 дм² плана, а на планах 1 : 1000 и 1 : 500 — отметки всех пикетов.

Определяют и подписывают на плане высоты водоразделов, вершин, тальвегов, разветвлений, вершин и устьев лощин, в котлованах, ямах и по краям их, у рек, ручьев и водоемов на уровне воды, плотин, мостов, верха и подошвы насыпей, шлюзов, пересечения осей дорог, колодцев и других характерных мест.

Отметки урезов воды (прудов, озер, рек и ручьев) определяют с таким расчетом, чтобы на плане они были подписаны не реже чем через 10—12 см. Определяют и подписывают на плане высоту и глубину (указывая знаки плюс или минус) искусственных сооружений: валов, дорожных насыпей, курганов, рвов и т. д.

Крутые склоны балок, берегов, возвышенностей выражают горизонталями. Если в отдельных местах горизонтали провести затруднительно (они сливаются), то их проводят через одну.

Для выделения невырисовавшихся деталей при данной высоте сечения рельефа проводят полугоризонтали и даже четвертьгоризонтали. Хорошим признаком необходимости их проведения служит не похожее друг на друга расположение соседних основных горизонталей, например, как показано на рис. 103. Между горизонталями 220 и 222 следует провести полугоризонталь.

В отдельных случаях, если пользоваться только основными горизонталями, полного представления о крутизне склона может не получаться, например в случае, показанном на рис. 104. На участке между горизонталями 126 и 128 наличие полугоризонталей с отметкой 127 изменило заложение и представление о склоне. Кроме того, полугоризонталей обязательно проводят на всех участках, где расстояние между основными горизонталями превышает 2,5 см на плане.

§ 66. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА

В процессе мензульной съемки ежедневно или с небольшим перерывом (не более трех дней) результаты съемки переносят на кальку контуров и кальку высот.

К а л ь к у к о н т у р о в составляют, чтобы избежать потери объектов или деталей съемки, а также искажений в наименовании объектов (населенных пунктов, рек, озер, урочищ и т. д.) и в числовых характеристиках (лесов, дорог, бродов и т. д.).

К а л ь к у в ы с о т составляют для фиксирования и быстрого нахождения исходных пунктов геодезической сети, точек съемочного обоснования и всех пикетов.

На кальку контуров наносят всю ситуацию, отдельные предметы местности и элементы рельефа, не выражающиеся горизонталями. На кальке высот все точки сопровождаются названиями или номерами с подписью их высот. При высоте сечения рельефа 1 м и более высоты подписывают с округлением до 0,1 м, при сечениях, меньших 1 м, — до 0,01 м.

При незначительном числе контуров и несложном рельефе разрешается совмещать обе кальки. Кальки вычерчивают тушью.

С в о д к а п л а н ш е т о в проводится следующим образом. На восковку копируют рамку планшета, пункты геодезического и съемочного обоснования, контуры и горизонталей в полосе шириной 2 см внутрь планшета и зарамочную съемку. Эту восковку накладывают на соседний планшет, совмещая рамки. Расхождение в положении пунктов съемочной сети должно быть не более 0,4 мм, в положении контуров ситуации — 0,5 мм, а в горных районах — 0,7 мм. Расхождение в положении горизонталей по высоте не должно превышать 1/3 высоты сечения рельефа. В качестве окончательного положения пунктов, контуров и

рельефа принимается среднее положение. Оно на восковке показывается красной тушью, переносится на планшеты, на которых выполняют соответствующие исправления.

Каждый планшет, кроме контроля в процессе работ, обязательно принимают в поле. Контрольные пикеты несут на кальку высот красной тушью.

Правила и порядок вычерчивания плана в туши подробно изложены в § 56.

Практические занятия. Знакомство и поверка кипрегелей. Отсчеты по рейке горизонтальных проложений и превышений. Рисовка рельефа по макетам. Решение обратных засечек на большом листе бумаги и классной доске.

Глава 10

КОМБИНИРОВАННАЯ СЪЕМКА

§ 67. СУЩНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СЪЕМКИ

Комбинированный метод съемки называют иногда топографической съемкой на фотопланах и даже мензульной съемкой рельефа на фотопланах.

При комбинированной съемке построение геодезической плановой и высотной основ, аэрофотосъемку, полевую подготовку аэрофотоснимков и составление фотопланов выполняют так же, как при стереотопографической съемке. Дальнейшие работы, в которые входят рисовка рельефа на фотоплане, укрепленном на мензульном планшете, и дешифрирование выполняют в поле.

Съемку выполняют, как правило, на фотокопиях с фотопланов, наклеенных на жесткую основу. Они должны иметь хорошие фотографические качества и наиболее полную проработку деталей. К каждому фотоплану для производства полевых работ прилагается комплект аэрофотоснимков в масштабе, близком к масштабу съемки.

Рисовка рельефа при комбинированной съемке проводится быстрее, чем при мензульной. Во-первых, на фотоплане видны отдельные формы рельефа. Модель местности, кроме того, можно рассмотреть стереоскопически. При работе со стереоскопом используют соседние по маршруту аэрофотоснимки. Во-вторых, все внимание наблюдателя сосредоточено на рельефе и не отвлекается на съемку ситуации.

Рисовка рельефа и дешифрирование, как правило, должны выполняться не на самом фотоизображении плана, а на прозрачном малодеформирующемся пластике, прочно закрепленном на фотоплане.

§ 68. СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

При комбинированной съемке возникает необходимость создания только высотного съемочного обоснования. Плановое съемочное обоснование не нужно, так как каждая опознанная на фотоплане точка может служить в качестве плановой съемочной точки.

Высотное съемочное обоснование развивается проложением основных и съемочных высотных ходов.

Основные высотные ходы должны опираться на реперы и марки нивелирования I, II, III и IV классов, пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения, высоты которых определены нивелированием, точность которого не ниже точности нивелирования IV класса.

При съемках с высотой сечения рельефа 0,25, 0,5 и 1 м основные высотные ходы выполняют техническим нивелированием (см. § 49), при съемке с высотой сечения рельефа 2 м — техническим нивелированием или нивелированием горизонтальным лучом (кипрегелем или тахеометром с уровнем при трубе), а в районах равнинно-пересеченной и горной местности — тригонометрическим нивелированием (тахеометрическими и мензульными ходами); при высоте сечения рельефа 5 м — тригонометрическим нивелированием. Расстояние от прибора до рейки в основных ходах при работе с номограммными кипрегелями не должно превышать 150 м. Только при особенно благоприятных условиях допускается увеличение расстояния, но не более чем до 200 м. Плотность основных высотных ходов должна быть такой, чтобы обеспечить проложение съемочных ходов. Основные ходы выполняют в виде отдельных ходов и системы ходов.

Съемочные высотные ходы прокладывают после уравнивания основных высотных ходов. Исходными для съемочных ходов служат пункты геодезической основы и пункты основных высотных ходов. Число точек съемочных ходов определяют в зависимости от сложности рельефа местности, застроенности или залесенности участка съемки. Предельная погрешность высот точек съемочных ходов не должна превышать $1/5$ принятой высоты се-

Таблица 37

Технологические требования к высотным ходам

Высотный ход	Геометрическое нивелирование		Тригонометрическое нивелирование		
	Высота сечения рельефа, м				
	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0
Основной:					
длина, км	2	8	16	6	12
невязка, м	0,07	0,14	0,20	0,30	1,00
Съемочный:					
длина, км	1	4	8	3	6
невязка, м	0,08	0,15	0,20	0,60	1,00

чения рельефа. При съемке с высотой сечения рельефа 0,25; 0,5 и 1 м съемочные ходы выполняют методом геометрического нивелирования нивелиром или кипрегелем с уровнем при трубе. При съемке с высотой сечения рельефа 2 и 5 м съемочные ходы выполняют тригонометрическим нивелированием.

Допустимые длины ходов и невязки в них в зависимости от вида хода и высоты сечения рельефа приведены в табл. 37.

До начала полевых работ составляют проект высотного съемочного обоснования. Проект разрабатывают на фотоплане с использованием существующих карт крупного масштаба. Проектирование ходов следует выполнять так, чтобы точки ходов равномерно располагались по всей площади съемки. Основные высотные ходы намечают обязательно по рамкам фотопланов.

Точки ходов, как правило, должны быть опознаны на фотоплане. Если такой возможности нет, то их плановое положение можно определить:

1) полярным методом, как при мензульной съемке. На прочерченном направлении откладывают расстояние, измеренное между предыдущей точкой хода и определяемой (неопознаваемой на фотоплане);

2) методом створов между опознаваемыми четкими контурами или четким контуром и пунктом геодезической сети. Точки хода наносят по измеренным расстояниям;

3) линейной засечкой от трех ближайших опознанных четких контуров;

4) комбинированными и обратными графическими засечками как по пунктам геодезической сети, так и по опознанным четким контурам (см. § 60);

5) обратной засечкой или промером расстояния вдоль контура до ближайшего опознанного четкого контура (пересечение дорог, угол поворота канавы, отдельное дерево, столб и т. п.) в том случае, если точка хода находится на линейном контуре (канаве, меже, пресеке и т. п.).

На местности, где мало четких контуров (массивы пашни, степь и т. д.), с целью определения планового положения точек хода приходится разбивать редкую геометрическую сеть.

Основные и съёмочные ходы уравнивают в соответствующих разделах журналов. Системы ходов уравнивают совместно. Невязки в ходах распределяют пропорционально длинам сторон.

§ 69. ПРИБОРЫ И РАБОТЫ ПО СЪЕМКЕ

Приборы для комбинированной съёмки те же, что и для мензульной: мензула, кипрегели с номограммным преобразователем, рейки, буссоль и вилка. Для проложения высотных ходов на участках съёмки с высотой сечения рельефа 0,25; 0,5 и 1 м требуется еще нивелир.

Приборы и их поверки изложены в § 61, 62, 42 и 43. Установка мензулы на станции подробно изложена в § 64. Остается добавить, что при ориентировании мензулы на комбинированной съёмке используют не только пункты геодезической сети, но и контуры фотоплана, уверенно на фотоплане опознаваемые.

В процессе дешифрирования могут быть обнаружены топографические объекты местности, изображений которых нет на фотопланах, а также объекты на фотоплане, уже исчезнувшие на местности.

Объекты, имеющиеся на фотоматериале, но к моменту производства съёмки по каким-либо причинам отсутствующие на местности, перечеркивают на фотоплане синими линиями.

Топографические объекты местности, не изобразившиеся на фотопланах, наносят инструментально. Досъёмку выполняют с точек высотных ходов или с четко выраженных и опознанных на фотоплане контурных точек. Досъёмку производят при помощи кипрегеля и рейки полярным методом, как это делают при мензульной съёмке.

Результаты досъемки наносят на фотоплан в поле карандашом, с тем чтобы если не в этот день, то не позже чем на следующий отработанный участок фотоплана вычертить тушью.

§ 70. СЪЕМКА РЕЛЬЕФА

Съемку нужно проводить сплошным массивом. Для более правильного и точного изображения рельефа рекомендуется заранее изучить по аэрофотоснимкам стереоскопическую модель местности. Это также позволяет наметить лучшее расположение точек съемочных ходов и пикетов.

Расстояния до пикетов и их высоты определяют при помощи мензулы и кипрегеля. В равнинной местности высоты пикетов быстрее можно получить горизонтальным лучом (кипрегелем с уровнем на трубе или нивелиром). Нивелир в этом случае устанавливают рядом с мензулой, а отметки высот H пикетов легче вычислять по формуле

$$H = \text{ГП} - a,$$

где ГП — горизонт прибора, определяемый по формуле $\text{ГП} = H_i + i$; H_i — отметка высоты точки стояния; i — высота прибора; a — отсчет по рейке.

Пикетные точки при съемке рельефа следует определять на характерных формах рельефа и на характерных контурных точках местности.

В зависимости от масштаба съемки и принятой высоты сечения рельефа расстояния между пикетами и от прибора до них не должны превышать величин, приведенных в табл. 36.

Снимаемая площадь должна быть полностью видна со съемочных точек. Горизонтالي вычерчивают карандашом на плане непосредственно в поле на съемочных точках одновременно с набором пикетов или после набора части пикетов.

Урезы воды в реках, ручьях, каналах, прудах, озерах и т. п. на момент съемки определяют через каждые 10—12 см на плане.

На 1 дм² плана масштабов 1 : 5000 и 1 : 2000 должно быть подписано не менее 10 высот характерных точек местности. Если съемка выполняется для целей мелиорации, то подписывается не менее 30 высот характерных точек. На планах масштабов 1 : 1000 и 1 : 500 подписывают высоты всех пикетов.

Для удобства чтения рельефа и для наглядности направлений скатов утолщают каждую пятую или десятую горизонталь (см. § 15) и у ряда горизонталей по направлению ската ставят скатштрихи. Кроме того, горизонтали подписывают. Подписи горизонталей располагать нужно так, чтобы основание подписей было направлено к подножию склонов и не было перевернутым по отношению к другим подписям плана, т. е. основание нельзя располагать к северной рамке плана. На каждый план в процессе съемки составляют кальку высот. На кальку высот наносят все пункты геодезической основы, точки основных и съемочных ходов и пикеты — все это с их названием, номерами и отметками высот.

Для обеспечения точности съемки рельефа на смежных планах намечают точки связи (не менее одной на каждой рамке). Точками связи могут быть постоянные или временные реперы нивелирования, а при их отсутствии — точки основных высотных ходов, расположенных вблизи рамок плана.

Расхождение на точках связи по высоте не должно превышать $1/5$ принятой высоты сечения рельефа и 1 мм в плановом положении.

Как и при мензульной съемке, планы должны быть сведены по рамкам. Для проведения сводок по рамкам независимо от масштаба съемка должна выполняться на 1 см за каждую рамку. При сводке планов при наличии расхождений в положении горизонталей и контуров местности их перемещают на половину расхождений на каждом, если эти расхождения не превышают на плане: 1,0 мм — для основных контуров (железные, шоссейные и улучшенные грунтовые дороги, улицы, каналы и береговые линии крупных рек); 1,5 мм — для всех прочих контуров.

Расхождение в положении горизонталей по высоте не должно превышать $1/3$ сечения. В равнинных районах с углами наклона до 2° — $1/4$ сечения. При съемках залесенных участков эти допуски увеличиваются в 1,5 раза; для съемок застроенных территорий и съемок в масштабах 1 : 1000 и 1 : 500 те же допуски, наоборот, уменьшаются в 1,5 раза.

§ 71. ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Дешифрированием называется процесс опознавания по фотографическому изображению (аэрофотоснимкам, фотопланам) отдельных предметов и объектов местности,

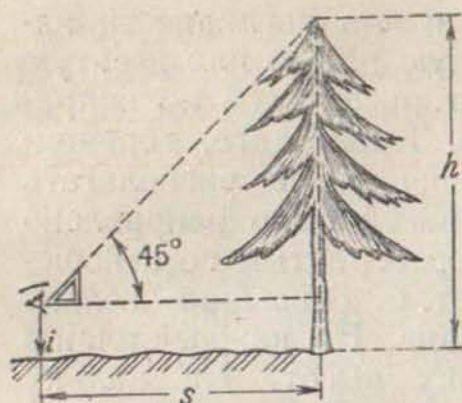


Рис. 105. Схема определения высоты предметов

границ контуров и их содержания.

При создании топографических планов и карт производят топографическое дешифрирование. В задачу топографического дешифрирования входят изображение на фотоплане (аэрофотоснимке) опознанных предметов и объектов местности, заполнение контуров условными топографическими знаками, а также определение географических названий (населенных пунктов, рек, озер, урочищ и т. д.), качественных и количественных характеристик объектов и предметов местности (леса, бродов, дорог, мостов и т. д.). Картографическое изображение местности сильно отличается от фотографического. На картографическом изображении не просто в условных топографических знаках показать все подробности фотографического изображения. При топографическом дешифрировании должны быть отобраны и обобщены основные характерные для данной местности объекты и контуры и устранен ряд деталей. Этот процесс называется *генерализацией*. План должен быть полным, но ясным и легко читаемым (см. § 14). В зависимости от физико-географических особенностей участков съемки дешифрирование подразделяют на сплошное полевое, полевое дешифрирование по маршрутам и камеральное дешифрирование.

Топографическое дешифрирование при комбинированной съемке на фотоплане выполняют полностью в поле (сплошное полевое). Если съемку проводят на графическом плане, то в натуре необходимо сделать проверку и уточнение камерального дешифрирования, проведенного при составлении оригинала плана на универсальном приборе.

Дешифрирование, как правило, выполняют одновременно со съемкой рельефа. На плотно застроенных территориях с наличием многоэтажных строений дешифрирование целесообразно проводить отдельно от съемки рельефа.

Погрешность в наложении контура или объекта местности на плане не должна превышать 0,5 мм, а объекта

местности, имеющего значение ориентира, не более 0,3 мм.

Высоты деревьев, металлических и железобетонных опор можно определять при помощи треугольника или тени. Пользуясь треугольником, отходят от дерева на расстояние, при котором линия визирования, проходящая вдоль гипотенузы его, направлена на вершину предмета и один из катетов принимает горизонтальное положение, как показано на рис. 105.

Если треугольник равнобедренный, то высота предмета h определяется формулой

$$h = s + i,$$

где s — расстояние до предмета, измеренное рулеткой; i — высота глаза наблюдателя.

В случае неравнобедренного треугольника с углами 60° и 30° и горизонтально расположенным большим катетом

$$h = 0,58s + i.$$

Для определения высот предметов по тени используют вежу, высоту которой измеряют. Вежу устанавливают вблизи предмета, высоту которого определяют. Затем измеряют длины теней вежи и предмета. Предмет во столько раз выше вежи, во сколько его тень длиннее тени вежи.

Для определения среднего расстояния между деревьями выбирают какое-либо типичное дерево и измеряют расстояние от него до соседних таких же деревьев. Если эти расстояния K_1, K_2, \dots, K_n и таких расстояний n , то среднее расстояние K нетрудно подсчитать:

$$K = (K_1 + K_2 + \dots + K_n) : n.$$

Особенно ответственна и трудна работа по дешифрированию населенных пунктов. Жилые и нежилые постройки отмечают черточками соответственно красным и синим карандашом. Можно жилые дома на аэрофотоснимках накалывать при помощи иглы, а карандашными черточками пометить нежилые строения. В этом случае по числу наколов (они хорошо заметны на обратной стороне аэрофотоснимков) легко подсчитать число жилых домов. Огнестойкие и крупные здания выделяют пояснительными подписями, исполняя их простым черным карандашом.

Линии связи, электропередач, газо- и водопроводы, расположенные внутри населенных пунктов, так же как и вдоль дорог, не показывают.

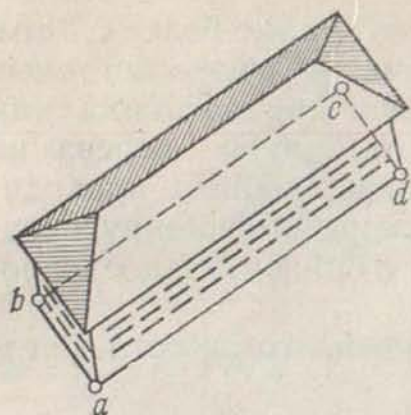


Рис. 106. Схема определения основания объекта

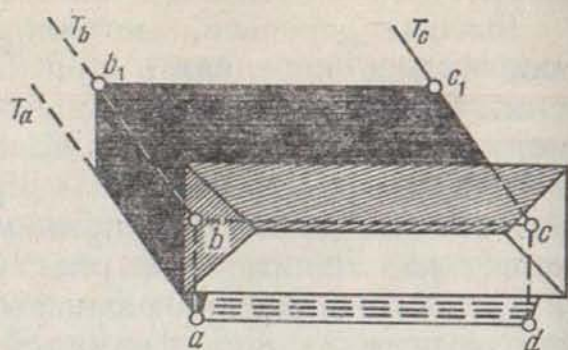


Рис. 107. Схема определения основания объекта с тенью

Для многоэтажных зданий и высоких объектов при дешифрировании необходимо правильно определить положение их оснований. В процессе дешифрирования оснований таких объектов необходимо учитывать смещение изображений их верхних частей вследствие центрального проектирования, а также наличия карнизов. Размеры карнизов различны: от 0,3 до 2,0 м. Поправку за карнизы вводят, если их размеры превышают точность масштаба съемки.

Если на фотоплане видна часть основания высокого объекта, имеющего правильную геометрическую форму (прямоугольник, окружность), то найти основание можно, например, следующими способами: на фотоплане изобразились три угла основания (рис. 106); четвертый угол находят в пересечении прямых, проведенных параллельно изобразившимся сторонам через соответствующие углы; на фотоплане изобразились только два угла основания, но имеется тень, величина которой не менее 2 мм, недостающие точки b и c находят в пересечении перпендикуляров, которые восставляют в точках a и d с линиями направления теней $T_b b$ и $T_c c$, проведенных параллельно линии $T_a a$, через точки b_1 и c_1 (рис. 107).

Есть и другие способы дешифрирования оснований высоких объектов.

Строящиеся здания обозначают как существующие; разрушенные и временные сооружения перечеркивают синим. При генерализации часть зданий внутри кварталов иногда пропускают. К таким зданиям относятся в первую очередь нежилые строения, не выражающиеся в масштабе создаваемого плана.

Поросль леса — это молодняк древесных пород высотой до 4 м. Кустарник — многолетняя, ветвящаяся от самого основания древесная растительность, не имеющая главных стволов, высотой от 0,5 до 8 м (орешник, шиповник, бузина и др.).

Редколесье — это группа деревьев, кроны которых разделены просветами в 2—7 диаметров фотоизображения этих крон (20—30 м).

Результаты дешифрирования должны вычерчиваться в день съемки или не позднее чем на следующий день после окончания работы в поле (пока не стерся карандаш и детали хорошо сохранились в памяти).

Достоверность, полнота и точность дешифрирования — важные факторы качества создаваемых планов и карт. Умелый отбор, обобщение, генерализация — составные элементы качества дешифрирования.

Как оформить и вычертить план, см. § 56.

Практические занятия. Камеральное дешифрирование аэрофото-снимков.

Глава 11

ТЕОРИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 72. ИЗМЕРЕНИЯ И ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Под измерением какой-либо величины понимается процесс сравнения ее с другой величиной того же рода, принятой за единицу сравнения, в результате которого получается именованное число, называемое результатом измерения.

Приведем пример. На местности измеряют линию 20-метровой стальной штриховой лентой. За единицу сравнения приняли 1 м. Результат измерения: $X + 3_{\text{л}} + 8,45 = 268,45$ м.

Один и тот же результат измерения может быть представлен различными числовыми значениями в зависимости от выбора единицы сравнения. Так, в приведенном примере получен результат измерения, равный 268,45 м, но этот же результат можно выразить, приняв за единицу измерения 1 см или 1 км, например, 26 845 см; 0,268 км.

Различают измерения: прямые (или непосредственные) и косвенные (или посредственные).

Прямыми измерениями называют такие, когда измеряют непосредственно определяемую величину и результат получают прямо из измерения. Примером прямых измерений будет измерение длины линии мерной лентой или угла теодолитом.

Косвенные измерения — это измерения, когда результат измерений получают посредственно: путем вычислений из результатов непосредственных измерений одной или нескольких величин (аргументов), связанных с определяемой величиной математической зависимостью. Примером косвенных измерений будет измерение длины линии местности нитяным дальномером ($s = Kl + c$), определение неприступного расстояния, определение превышения ($h = D \operatorname{tg} v + i - v$).

Очевидно, что расстояния и превышение будут функциями других величин, непосредственно измеренных: l — отрезка рейки, базиса и углов, D — расстояния и v — угла наклона.

При решении вопроса о том, к какому виду — прямому или косвенному — относится то или иное измерение, надо иметь в виду, что имеются приборы, позволяющие получать результаты косвенных измерений путем непосредственного отсчета по соответствующей шкале, без каких-либо вычислений. Такие измерения, например, как измерения превышений номограммными тахеометрами и кипрегелями или тахеометром ТД, относятся к измерениям косвенным.

Кроме приведенной классификации, измерения еще подразделяют на необходимые и дополнительные (избыточные).

Необходимыми измерениями называют такие, которые позволяют получить один единственный результат прямого или косвенного измерения данной величины. Примером необходимых измерений будет измерение длины линии местности, проведенное один раз, отсчет по черной стороне рейки, определение неприступного расстояния по одному базису.

Дополнительные измерения — это измерения, которые позволяют получить не один, а два или более результата измерений данной величины. Если одна и та же величина измерена n раз, то одно из этих измерений (притом любое) будет измерением необходи-

мым, все остальные $n - 1$ — дополнительными. Например, длина линии местности измерена в прямом и обратном направлениях, по рейке взяты отсчеты по черной и красной сторонам, неприступное расстояние определено по двум независимым базисам. Второе измерение длины линий, второй отсчет по рейке, второй базис — все эти измерения избыточные.

В геодезическом производстве избыточные измерения обязательны. Во-первых, они позволяют осуществлять контроль измерений, во-вторых, повышают точность окончательных результатов и, в-третьих, необходимы для оценки точности результатов измерений.

Каждое измерение осуществляется при наличии и взаимодействии следующих основных факторов: 1) лица, выполняющего процесс измерений; 2) мерного прибора, посредством которого проводят измерения; 3) внешней среды, в которой ведутся измерения.

Как органы чувств человека, так и применяемые мерные приборы несовершенны. Внешние условия непрерывно меняются. Все это вызывает неизбежные погрешности при любых измерениях.

Если провести несколько измерений какой-то величины, то получим хотя и близкие, но обязательно различные результаты. Эти различия в результатах измерений свидетельствуют о наличии погрешностей в измерениях.

Вследствие накопления неизбежных погрешностей получается несоответствие между измеренными (или вычисленными) значениями той или иной величины и ее теоретическим (истинным) значением. Так, истинное значение суммы углов плоского треугольника равно 180° . Если измерить углы треугольника, то их сумма будет несколько больше или меньше истинной. Так, сумма превышений замкнутого полигона теоретически равна нулю. Но если измерить и сложить все превышения такого полигона, то сумма измерения будет отличаться от нуля.

Под погрешностью Δ результата измерения l понимают разность между этим результатом и точным (истинным) значением X измеренной величины, т. е.

$$\Delta = l - X.$$

Принято говорить, что погрешность измерения равна тому, что есть, минус то, что должно быть.

В зависимости от факторов, влияющих на результаты измерений, различают: погрешности личные, погрешности приборов и погрешности, вызванные влиянием внешней среды.

1. Личные погрешности обусловлены несовершенством органов чувств и особенностями лица, осуществляющего измерения. К личным погрешностям можно отнести, например, погрешность в делении сантиметровой шашки нивелирной рейки на глаз на десять частей для проведения отсчета, погрешность наведения на предмет зрительной трубы теодолита и т. д.

2. Погрешности приборов возникают от несовершенства приборов и вследствие невозможности, их точной юстировки. К этим погрешностям можно, например, отнести несоответствие мерной стальной ленты номинальной длине 20 м, коллимационную погрешность зрительных труб, погрешность при отсчете по рейке, вызванную погрешностью совмещения изображений концов пузырька уровня в момент производства отсчета и т. д.

3. Погрешности, вызванные влиянием внешней среды. Под средой понимают совокупность всех внешних условий измерений: рельеф и грунт местности, залесенность, температура, влажность, облачность, ветер, освещение и пр. Так, например, под влиянием температуры изменяется длина мерных лент, а в нивелире нарушается главное геометрическое условие; под влиянием влажности изменяется длина метра шашечных нивелирных реек; ветер вызывает колебание реек и самого нивелира и т. д. — все это порождает погрешности.

Заметим, что любой результат измерения содержит не одну элементарную погрешность из трех основных факторов (наблюдателя, прибора и среды), а имеет сложную погрешность, представляющую сумму большого количества элементарных погрешностей всех факторов.

§ 73. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ПРЕДМЕТ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

По характеру действия и свойствам погрешности подразделяются на погрешности: грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешности — это погрешности, величина которых больше, чем можно ожидать при дан-

ных условиях измерений: при данном наблюдателе, приборе, методике измерений и влиянии внешней среды, и величина которых совершенно недопустима. Они появляются вследствие промахов и просчетов исполнителя при измерениях. Это, например, отсчет не по тому концу мерной ленты, при отсчете остатка или просчет лент или передач при линейных измерениях или, например, просчет градусов или минут при угловых измерениях и т. д.

Чем внимательнее проводятся измерения, тем, конечно, промахов и просчетов будет меньше, но все же они появляются. А одна грубая погрешность делает всю работу некачественной, непригодной.

Очевидно, измерения должны всегда быть организованы и поставлены так, чтобы была полная уверенность, что грубых погрешностей в них нет, что они все выявлены. Грубые погрешности обнаруживаются обязательным проведением дополнительных (контрольных) измерений. Результаты, содержащие грубые погрешности, отбрасывают как негодные, а измерения повторяют, чтобы подтвердить правильные результаты.

Систематическими погрешностями называют такие, которые возникают от определенного источника погрешностей, всякий раз при данных условиях измерений имеют определенный знак и величину и носят закономерный характер. Влияние систематических погрешностей может быть выражено функцией.

Примеры систематических погрешностей: погрешность в отсчете по рейке, вызванная непараллельностью оси цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы нивелира; погрешность в длине измеряемой линии, обусловленная разностью температур мерного прибора при измерении и компарировании; погрешность в измерении угла при одном положении вертикального круга, вызванная наличием коллимационной погрешности прибора и т. д.

Систематические погрешности — наибольший и опаснейший враг измерений. Нужно максимально ослабить их влияние на результаты измерений. Для этого существуют два пути:

1) введение поправок в результаты измерений, например, за длину мерной ленты при отличии этой длины от номинала; за среднюю длину метра комплекта реек; за температуру мерного прибора в процессе измерений при ее отличии от температуры компарирования и т. д.

2) специальным порядком измерений, при котором систематические погрешности автоматически исключаются из результатов измерений, например, горизонтальные углы измеряют дважды при разных положениях вертикального круга (при КП и КЛ); среднее значение угла получается свободным от коллимационной погрешности. Нивелир устанавливают посередине между рейками; если он будет установлен строго в середине между рейками, то вычисленное превышение будет свободно от погрешности, вызванной непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня и т. д.

С л у ч а й н ы е п о г р е ш н о с т и — это погрешности, у которых неизвестен характер их действия в каждом конкретном случае. При данных условиях измерений они могут быть, а могут и не появляться, могут быть большими (в своих пределах) и малыми, положительными или отрицательными. Величина называется с л у ч а й н о й (в теории вероятностей), если в результате испытаний она может принимать то или иное значение, при этом заранее неизвестно, какое именно. В отличие от систематических случайные погрешности обнаруживают закономерность только при очень большом числе измерений. Их нельзя заранее предвычислить, они по самой своей природе не поддаются учету. Они в измерениях неизбежны.

В качестве примеров случайных погрешностей можно привести: погрешность интерполирования при отсчете по шашечной нивелирной рейке или при отсчетах по штриховому и шкаловому микроскопам теодолитов; погрешность визирования зрительной трубой теодолита, погрешность при отсчете сантиметров по мерной штриховой ленте и т. д.

Источники случайных погрешностей самые различные: колебание воздуха, освещенность наблюдаемого предмета, несовершенство юстировки приборов, изменение температуры и т. п. Случайную погрешность результата эти источники создают, действуя порознь и вместе, в одном направлении или в различных. Погрешности могут суммироваться или в какой-то мере компенсироваться.

В заключение скажем, что грубые погрешности являются дополнительными (контрольными) измерениями.

Они обязаны быть исключены из измерений.

Систематические погрешности и их источники могут быть изучены. Систематические погрешности могут быть исключены или их влияние на результаты измерений максимально ослаблено.

Случайные погрешности неизбежны, и исключить их из измерений не представляется возможным. Но, очевидно, возможно поставить перед собой цель — довести влияние случайных погрешностей на результаты измерений до возможного минимума.

Таким образом, установить законы появления и накопления неизбежных случайных погрешностей, довести их влияние на результаты измерений до минимума, установить пределы допустимых в каждом процессе измерений невязок — таков предмет теории погрешностей.

Теория погрешностей решает ряд практических задач:

1) *вырабатывает правила получения (при обязательном наличии дополнительных измерений) наиболее точных результатов измерений;*

2) *устанавливает правила оценки точности результатов измерений и их функций, так как, зная точность полученных результатов измерений, можно правильно использовать эти результаты;*

3) *обеспечивает организацию и программу наблюдений с наперед заданной точностью.*

При любых измерениях нужно обеспечивать только необходимую точность при минимальных затратах средств и времени.

Значение теории погрешностей для геодезии огромно. Разработка методов измерений, конструкций приборов, оценка точности полученных результатов измерений, предвычисление допустимых невязок измерений для различных приборов и методов, планирование и организация процессов измерений — все это обеспечивает теория погрешностей.

§ 74. СВОЙСТВА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Данные исследований и практика показали, что в рядах измерений, содержащих только случайные погрешности, существует так называемая статистическая закономерность. И она проявляет себя тем отчетливее и сильнее, чем из большего числа измерений состоит ряд, чем с большим числом погрешностей мы имеем дело.

Если одну и ту же величину, истинное значение которой X известно, многократно с равной точностью измерить, то получим n результатов измерений $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$. Каждое измерение будет иметь свою истинную случайную погрешность $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$.

Полученный ряд истинных случайных погрешностей обладает следующими основными свойствами:

1) ограниченности, т. е. при данных условиях измерений случайная погрешность Δ по абсолютной величине не может быть больше предела, соответствующего именно данным условиям измерений. Свойство ограниченности математически можно выразить так: $|\Delta| \leq \Delta_{\text{пр}}$, где $|\Delta|$ — абсолютная величина погрешности, взятая без знака. Если результат или результаты измерений получены с погрешностью, превышающей по абсолютной величине значение предельной погрешности, то такие результаты должны быть отброшены (отбракованы) как грубые. Предельные погрешности устанавливаются действующими инструкциями:

2) симметричности, т. е. равные по абсолютной величине, но разные по знаку погрешности встречаются в рядах погрешностей одинаково часто;

3) компенсации. Это значит, что сумма случайных погрешностей, деленная на их число, т. е. среднеарифметическое из всех случайных погрешностей ряда измерений при неограниченном увеличении числа измерений, стремится к нулю. Математически свойство компенсации может быть записано так:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0.$$

Стремление $\frac{[\Delta]}{n}$ к нулю нужно понимать в статистическом смысле. С увеличением n оно иногда может даже увеличиваться, но все равно имеет тенденцию приближаться к нулю;

4) сосредоточения, т. е. большие по абсолютной величине случайные погрешности встречаются реже, чем малые. Число нуль является центром сгущения случайных погрешностей (по их абсолютной величине).

Если на оси ординат отложить величины случайных погрешностей (рис. 108), а на оси абсцисс — число погрешностей ряда измерений и отложенные количества погрешностей для наглядности соединить плавной кри-

вой, то из графика следует, что большее число случайных погрешностей расположено в пределах от -1 до $+1$.

§ 75. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для оценки точности измерений существует несколько неравноценных характеристик. Имея ряд истинных погрешностей результатов измерений $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, приведенных в одинаковых условиях, т. е. равноточных, можно охарактеризовать точность измерений средней θ , вероятной r и средней квадратической m погрешностями. Это будут уже не погрешности какого-либо одного измерения, а погрешности данного ряда измерений. При этом все они будут определены тем надежнее, чем больше выполнено измерений.

1. *Средняя погрешность.* Средней погрешностью называют среднее арифметическое из абсолютных величин истинных случайных погрешностей равноточных измерений:

$$\theta = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|}{n} = \frac{||\Delta||}{n}.$$

2. *Вероятная погрешность.* Вероятной погрешностью называют такое значение случайной погрешности равноточных измерений, по отношению к которому погрешности, и большие и меньшие по своей абсолютной величине, встречаются одинаково часто.

Если выписать все случайные погрешности ряда равноточных измерений в порядке возрастания их абсолютных величин, то вероятной погрешностью будет погрешность, расположенная в середине такого ряда. При четном числе погрешностей за вероятную погрешность берут среднее из двух погрешностей, оказавшихся в середине ряда.

3. *Средняя квадратическая погрешность.* Квадрат средней квадратической погрешности равен среднему арифметическому из квадратов погрешностей равноточных измерений:

$$m^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n} = \frac{[\Delta^2]}{n}$$

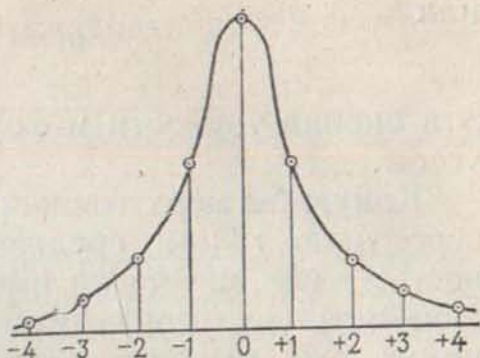


Рис. 108. График сосредоточения случайных погрешностей

или

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}.$$

Эта оценка точности и формула были предложены К. Гауссом.

Какую бы меру точности мы ни выбрали — среднюю θ , вероятную r или среднюю квадратическую m погрешность — все они числа именованные, т. е. они имеют свое наименование, показывающее, в каких физических единицах они выражены (сантиметрах, секундах и т. п.), и всегда сопровождаются двумя знаками \pm .

Все виды погрешностей (θ , r , m) достаточно вычислять с двумя значащими цифрами.

Рассмотрим достоинства и недостатки вышеперечисленных мер точностей измерений. Возьмем для примера два ряда измерений одной и той же величины. Пусть первый ряд измерений имеет истинные случайные погрешности: $+3, -2, -4, -2, +1, 0, +4, +3, -2, -3$, а второй: $0, -1, -5, -2, +2, +2, +8, 0, +3, -1$.

Подсчитаем средние погрешности рядов

$$\theta_1 = \frac{3 + 2 + 4 + 2 + 1 + 0 + 4 + 3 + 2 + 3}{10} = \frac{24}{10} = \pm 2,4;$$

$$\theta_2 = \frac{0 + 1 + 5 + 2 + 2 + 2 + 8 + 0 + 3 + 1}{10} = \frac{24}{10} = \pm 2,4.$$

Из сравнения средних погрешностей θ_1 и θ_2 можно сделать вывод, что точность измерений в обоих рядах одинакова. Однако в первом ряду максимальная (предельная) погрешность ± 4 , а все остальные рассеяны в пределах от -4 до $+4$. Во втором ряду предельная погрешность $+8$, а все остальные рассеяны от -5 до $+8$. Согласно первому свойству случайных погрешностей, первый ряд измерений точнее второго и измерения его проведены в более благоприятных условиях.

Подсчитаем вероятную погрешность рядов.

Первый ряд: $0, +1, -2, -2, -2, +3, +3, +3, +4, -4$ $r_1 = \pm 2,5$.

Второй ряд: $0, 0, -1, -1, +2, +2, -2, +3, -5, +8$ $r_2 = \pm 2,0$.

Ряд из десяти измерений вообще мал для вычисления вероятной погрешности. В данном случае получилось, что второй ряд измерений точнее первого.

Подсчитаем теперь среднюю квадратическую погрешность рядов:

$$m_1 = \sqrt{\frac{9 + 4 + 16 + 4 + 1 + 0 + 16 + 9 + 4 + 9}{10}} = \sqrt{\frac{72}{10}} = \pm 2,7;$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{0 + 1 + 25 + 4 + 4 + 4 + 64 + 0 + 9 + 1}{10}} = \sqrt{\frac{112}{10}} = \pm 3,3.$$

На основе проведенных вычислений можно сделать вывод, что только средняя квадратическая погрешность учитывает влияние крупных погрешностей и их рассеивание. Формула Гаусса дает наиболее совершенную характеристику точности измерений. Можно утверждать, что ряд измерений тем точнее, чем меньше его средняя квадратическая погрешность.

В топографо-геодезическом производстве в качестве основной характеристики точности измерений принята средняя квадратическая погрешность. Средняя погрешность используется в контрольных формулах при подсчете точности измерений. Вероятная погрешность используется только в больших рядах измерений.

В теории вероятностей доказывается, что при очень большом числе измерений n существуют следующие соотношения:

$$\theta = 0,7979m \text{ или приблизительно } \theta = 4/5m;$$

$$r = 0,6745m \text{ или приблизительно } r = 2/3m;$$

$$m = 1,253\theta.$$

Достоинством средней квадратической погрешности, кроме того, является ее устойчивость при достаточно большом числе измерений. Но не надо забывать, что значение средней квадратической погрешности при ограниченном числе измерений будет приближенным и тем менее надежным, чем меньше число измерений. Поэтому, определив среднюю квадратическую погрешность по ограниченному числу измерений, нужно вычислять и среднюю квадратическую погрешность m_m , определяющую точность получения самой погрешности m . Для этого пользуются формулой

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}}.$$

Эту формулу можно представить в виде

$$\frac{m_m}{m} = \frac{1}{\sqrt{2n}}.$$

Придав числу измерений n разные значения и выразив относительную погрешность средней квадратической погрешности в процентах, получим:

n	2	4	6	8	10	15	20	25	50	100
m_m/m , %	50	35	29	25	22	18	16	14	10	7

Из этих данных видно: 1) при малом числе измерений средняя квадратическая погрешность m содержит достаточно большую погрешность (при $n = 2$ погрешность составляет 50 % величины m); 2) при достаточно большом числе n средняя квадратическая погрешность принимает довольно устойчивое значение (погрешность m изменяется мало: от 18 % при $n = 15$ до 7 % при $n = 100$); 3) после $n = 10$ измерениям погрешность m уменьшается очень медленно.

4. *Предельная погрешность.* Предельной погрешностью называется наибольшая по абсолютной величине случайная погрешность, которая может появиться при данных условиях измерений. Очевидно, что знание средней, вероятной и средней квадратической погрешностей не достаточно для оценки качества проведенных измерений. Только предельная погрешность позволяет отбраковывать измерения, содержащие погрешности, превышающие по абсолютной величине этот предел.

На основе большого числа измерений было статистически установлено, а теорией вероятностей доказано:

1. Случайных погрешностей измерений, превышающих по абсолютной величине среднюю квадратическую погрешность, может быть 32 случая из 100 измерений.

2. Случайных погрешностей измерений, превышающих по абсолютной величине среднюю квадратическую погрешность в два раза, может быть только пять случаев из 100 измерений.

3. Случайных погрешностей измерений, превышающих по абсолютной величине среднюю квадратическую погрешность в три раза, может быть не более трех случаев из 1000 измерений.

Исходя из изложенного, принято, что $\Delta_{\text{пред}} = 3m$.

В ответственных геодезических измерениях для вычисления предельной погрешности пользуются удвоенным

значением средней квадратической погрешности, т. е. $\Delta_{\text{пред}} = 2m$, так как погрешность, равная утроенной величине средней квадратической погрешности, встречается практически очень редко (ни одной на 100 измерений).

5. *Относительная погрешность.* По форме их выражения погрешности подразделяют на абсолютные и относительные. Все погрешности, выраженные именованными числами, абсолютные. Рассмотренные выше погрешности: истинная Δ , средняя θ , вероятная r , средняя квадратическая m и предельная $\Delta_{\text{пред}}$ — все они погрешности абсолютные.

Для суждения о точности измерений недостаточно знание только абсолютной погрешности, требуется знать еще значения самой измеряемой величины. Например, как можно оценить точность измерений, если известно только, что абсолютная погрешность равна 2 мм? Если с погрешностью 2 мм измерен базис длиной 1 км, то, очевидно, измерения проведены с высокой точностью. Если же с погрешностью 2 мм измерена толщина проволоки, диаметр которой всего 4 мм, то измерение нельзя не признать грубым. Или, например, измерены две линии: одна длиной 240 м со средней квадратической погрешностью $\pm 0,15$ м, другая длиной 385 м со средней квадратической погрешностью $\pm 0,21$ м. Какая из линий измерена точнее?

Чтобы судить о точности измерений, применяют также относительную погрешность.

Относительной погрешностью называют отвлеченное число, выражающее отношение абсолютной погрешности к численному абсолютному значению измеряемой величины. Относительную погрешность представляют дробью, числитель которой равен 1. Значение знаменателя относительной погрешности принято округлять до сотых значений.

В нашем первом примере относительные погрешности будут:

$$2/1\ 000\ 000 = 1/500\ 000 \quad \text{и} \quad 2/4 = 1/2.$$

В нашем втором примере относительные погрешности будут:

$$0,15/240 = 1/1600 \quad \text{и} \quad 0,21/385 = 1/1800.$$

Таблица 38

Треугольники и их невязки

Номер тре- угольника	Невяз- ка w	w^2	Номер тре- угольника	Невяз- ка w	w^2	Номер тре- угольника	Невяз- ка w	w^2
1	0,00"	0,00	10	-0,17"	0,03"	19	+1,25"	1,56"
2	+0,03"	0,00	11	+0,28"	0,08"	20	-1,41"	1,99"
3	+0,04"	0,00	12	+0,41"	0,17"	21	+1,56"	2,43"
4	-0,07"	0,00	13	+0,41"	0,17"	22	-1,57"	2,46"
5	+0,09"	0,01"	14	-0,49"	0,24"	23	-1,65"	2,72"
6	+0,11"	0,01"	15	-0,61"	0,37"	24	+1,99"	3,96"
7	+0,12"	0,01"	16	-0,88"	0,77"	25	-2,10"	4,41"
8	-0,14"	0,02"	17	+1,06"	1,12"	26	-2,11"	4,45"
9	-0,15"	0,02"	18	+1,14"	1,30"	27	+2,96"	8,76"

$$[w^2] = 37,06"$$

Вторая линия измерена точнее, несмотря на большую абсолютную погрешность.

Пример. Невязки треугольников w (табл. 38) можно рассматривать как истинные случайные погрешности суммы измеренных значений углов треугольника. Необходимо проверить, действительно ли это случайные погрешности (отвечают ли они свойствам случайных ошибок), и подсчитать все рассмотренные выше погрешности для проведения оценки точности ряда. Для удобства вычислений погрешности (невязки) треугольников расположены в табл. 38 по возрастанию их абсолютных величин и здесь же даны значения квадратов невязок.

1. Погрешностей со знаком плюс 14, со знаком минус 12. Сумма положительных невязок равна 11,46, отрицательных 11,35. Среднее арифметическое из всех невязок очень мало:

$$\frac{[w]}{n} + \frac{+0,11"}{27} = +0,004".$$

Невязок по абсолютной величине от 0 до 1" — 16;

» » » » от 1 до 2" — 8;

» » » » от 2 до 3" — 3.

Как видно, ряд обладает свойствами случайных ошибок.

2. Средняя квадратическая погрешность ряда

$$m = \sqrt{\frac{[w^2]}{n}} = \sqrt{\frac{37,06}{27}} = \sqrt{1,37} = \pm 1,17''.$$

3. Погрешность средней квадратической погрешности

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2n}} = \pm \frac{1,17}{\sqrt{2 \cdot 27}} = \pm \frac{1,17}{7,35} = \pm 0,16''.$$

4. Предельная погрешность $\Delta_{\text{пред}} = 3m = 3 \cdot 1,17 = \pm 3,51''$. Наибольшая невязка в приведенном ряду $+2,96''$.

5. Невязок, превышающих m , —9, невязок, превышающих $2m$, —7, невязок, превышающих $3m$, нет.

6. Средняя погрешность $\theta = 22,80 : 27 = \pm 0,84''$. Эта же погрешность $\theta = 4/5m = \pm 0,94''$.

7. Вероятная погрешность $r = \pm 0,49''$ или $r = 2/3m = \pm 0,78''$.

8. Погрешность измеренного угла $m : \sqrt{3} = \pm 0,68''$.

§ 76. СРЕДНИЕ КВАДРАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФУНКЦИЙ НЕПОСРЕДСТВЕННО ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

До сих пор мы рассматривали погрешности непосредственно измеренных величин. Непосредственно измеренная величина называется аргументом, а величина, определяемая косвенно, является функцией непосредственно измеренных величин (аргументов).

Во всех случаях косвенных определений искомой величины возникает задача определений средней квадратической погрешности функции по известным средним квадратическим погрешностям аргументов.

Выводить формулы оценки точности функций не будем. Сначала приведем формулы простых, но часто встречающихся на практике функций, а в заключение — общую формулу для оценки точности любой функции (табл. 39).

Таблица 39
Функции и оценка их точности

п/п №	Название функции	Вид функции	Формула средней квадратической погрешности функции	Средняя квадратическая погрешность функции равна:
1	Произведение постоянной величины (коэффициента) на аргумент	$u = kx$, где x — аргумент, k — коэффициент, u — функция	$m_u = km_x$	произведению коэффициента на среднюю квадратическую погрешность аргумента
2	Сумма или разность двух независимо измеренных величин (алгебраическая сумма)	$u = x \pm y$	$m_u = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ при $m_x = m_y = m$ $m_u = m\sqrt{2}$	корню квадратному из суммы квадратов средних квадратических погрешностей аргументов
3	Сумма или разность n измеренных величин (алгебраическая сумма)	$u = x \pm y \pm \dots \pm z$	$m_u = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + \dots + m_z^2}$ при $m_x = m_y = \dots = m_z = m$ $m_u = m\sqrt{n}$	корню квадратному из суммы квадратов средних квадратических погрешностей всех аргументов
4	Линейная функция	$u = k_1x_1 \pm k_2x_2 \pm \dots \pm k_nx_n$	$m_u = \sqrt{(k_1m_1)^2 + (k_2m_2)^2 + \dots + (k_nm_n)^2}$ при $k_1 = k_2 = \dots = k_n = k$ $m_u = k\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}$ и при $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ $m_u = km\sqrt{n}$	корню квадратному из суммы квадратов произведений постоянных на среднюю квадратическую погрешность соответствующего аргумента

Продолжение табл. 39

п/п №	Название функции	Вид функции	Формула средней квадратической погрешности функции	Средняя квадратическая погрешность функции равна:
5	Произведение двух независимо измеренных величин	$u = xy$	$m_u = \sqrt{(xm_y)^2 + (ym_x)^2}$	корню квадратному из суммы квадратов произведений аргумента на среднюю квадратическую погрешность другого аргумента
6	Частное двух независимо измеренных величин	$u = \frac{x}{y}$	$m_u = \sqrt{\frac{(xm_y)^2 + (ym_x)^2}{y^4}}$	корню квадратному из дроби, в числителе которой сумма квадратов произведений одного аргумента, на среднюю квадратическую погрешность другого аргумента, а в знаменателе аргумент делителя в четвертой степени
7	Функция общего вида	$u = f(x, y, \dots, z)$	$m_u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} m_x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial y} m_y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z} m_z\right)^2}$	корню квадратному из суммы квадратов произведений частных производных по каждому аргументу на среднюю квадратическую погрешность этого же аргумента

§ 77. РАВНОТОЧНЫЕ И НЕРАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения бывают равноточными и неравноточными. Достоверность, т. е. точность результатов измерений, может быть различна. Она зависит от многих причин: насколько точные приборы применялись для измерений (например, для измерения углов теодолит Т30, Т5 или Т2, при измерении линий местности — штриховые или шкаловые мерные ленты); насколько квалифицированные исполнители проводили измерения (особенно высокоточные); от того, сколько раз повторялись измерения каждой величины (от числа, например, приемов); от выбранного способа измерений; наконец, от внешних условий, при которых велись измерения.

Если перечисленные причины были при измерении одинаковы, то мы получим равные по точности, по достоверности результаты. Такие измерения называют **равноточными**. Например, в теодолитном ходе на всех его поворотных точках углы измеряли двумя полуприемами теодолитом Т15. Углы измерены равноточно.

Если перечисленные причины были при измерении не одинаковы, то мы получим различные по точности, по надежности результаты. Такие измерения называют **неравноточными**. Они обычно получаются, когда при измерениях применяют приборы различной точности. Например, в одном теодолитном ходе углы на точках поворота измеряли теодолитом Т30, а в другом — теодолитом Т2 (методика измерений при этом была одинаковая). Очевидно, что во втором ходе углы будут измерены точнее, надежнее. Точность во многом зависит от числа измерений одной и той же величины. Средние значения из многократных измерений одной и той же величины дают более точный результат, чем отдельный результат измерений. Углы в треугольниках триангуляции измеряют различным числом приемов (способом круговых приемов).

Вначале мы рассмотрим равноточные измерения.

§ 78. АРИФМЕТИЧЕСКАЯ СРЕДИНА

При неоднократном измерении в одинаковых условиях одной и той же величины: l_1, l_2, \dots, l_n , истинное значение которой равно X , всегда находят среднее арифметическое значение L результатов измерений, т. е.

$$L = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}.$$

Среднее арифметическое из результатов измерений величины X называют арифметической серединой.

Арифметическая середина обладает следующими свойствами:

1. При неограниченном увеличении числа измерений n арифметическая середина L стремится к истинному значению измеряемой величины X . Пределом L при $n \rightarrow \infty$ является X .

2. Если арифметическая середина образована из результатов измерений, свободных от систематических погрешностей, то и сама арифметическая середина не содержит систематической погрешности.

3. Сумма квадратов отклонений (погрешностей) отдельных результатов измерений l от арифметической середины L всегда меньше суммы квадратов отклонений от любого другого значения измеряемой величины.

В практике всегда выполняют некоторое конечное число измерений. Поэтому арифметическая середина равноточных измерений всегда будет отличаться от истинного значения измеряемой величины, и это отличие будет тем сильнее, чем меньше число измерений.

Практически арифметическая середина является наиболее надежным результатом ряда равноточных измерений при любом ограниченном числе измерений n .

§ 79. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ СРЕДИНЫ

Мы до сих пор рассматривали среднюю квадратическую погрешность отдельных результатов ряда измерений (любого результата l из данного ряда измерений). Какова же средняя квадратическая погрешность арифметической середины?

$$L = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n.$$

Арифметическая середина, как видим, является известной нам линейной функцией, в которой равны коэффициенты $K = \frac{1}{n}$ и равны средние квадратические погрешности $m_{l_1} = m_{l_2} = m_{l_n}$ (измерения равноточные). Обозначим среднюю квадратическую погрешность арифметической середины L через M . Тогда

$$M = \frac{1}{n} m \sqrt{n} = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины M меньше средней квадратической погрешности отдельного результата измерений m в корень квадратный из числа измерений n .

Отсюда можно сделать вывод: чтобы повысить точность значения арифметической середины, нужно увеличить число измерений или повысить точность отдельных измерений.

Однако неправильно было бы считать, что средняя квадратическая погрешность арифметической середины M может достигнуть сколько угодно малого значения простым увеличением числа измерений. Действительно, представим формулу средней квадратической погрешности арифметической середины в виде $M/m = 1/\sqrt{n}$ и для различных значений числа измерений n найдем значения отношения M/m . Результаты такого подсчета приведены ниже:

n	1	2	3	4	5	6	7
M/m	1	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38

n	8	9	10	20	50	100
M/m	0,35	0,33	0,32	0,22	0,1	0,10

После восьми—десяти измерений величина M при увеличении числа измерений уменьшается незначительно.

Уместно напомнить, что многократные измерения уменьшают действие только случайных погрешностей. Уменьшить многократными измерениями влияние систематических погрешностей нельзя.

§ 80. ВЕРОЯТНЕЙШИЕ ПОГРЕШНОСТИ И ИХ СВОЙСТВА

До сих пор мы рассматривали только истинные случайные погрешности Δ , предполагая, что они нам известны. Но они могут быть известны только тогда, когда известно истинное численное значение измеряемой величины X . Практически истинное значение измеряемой величины бывает известно очень редко.

Обычно вместо истинного значения измеряемой величины X приходится брать ее среднее арифметическое L .

Разности между каждым из отдельных результатов измерений l и арифметической серединой L называются отклонениями от арифметической середины или вероятнейшими погрешностями v .

Когда истинные погрешности результатов измерений Δ неизвестны, приходится пользоваться вероятнейшими погрешностями. При этом для данного ряда равноточных измерений какой-либо величины вероятнейшие погрешности будут тем ближе к истинным, чем ближе арифметическая середина к истинному значению измерений величины.

Вероятнейшие погрешности обладают ценным свойством: алгебраическая сумма вероятнейших погрешностей v ряда равноточных измерений одной и той же величины равна нулю при любом числе измерений n , $\sum v = 0$. Это свойство используют для контроля вычислений вероятнейших погрешностей и арифметической середины.

Обычно величину L вычисляют с одним лишним десятичным знаком по сравнению с результатами измерений. Если при этом приходится округлять значение арифметической середины, то равенство $[v] = 0$ точно не удовлетворяется.

Если поправку округления арифметической середины обозначим δ , $\delta = L_{\text{точное}} - L_{\text{принятое}}$, то $[v] = n\delta$, где n — число измерений.

§ 81. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВЕРОЯТНЕЙШИМ ПОГРЕШНОСТЯМ

Для оценки точности результатов измерений используют вероятнейшие погрешности. Так, среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения можно вычислить, используя вероятнейшие погрешности v по формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}.$$

При ограниченном числе измерений необходимо знать надежность полученной средней квадратической погрешности по формуле Бесселя, т. е. вычислить среднюю квадратическую погрешность m_m самой средней квадратической погрешности. Ее получают по формуле

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

При помощи вероятнейших погрешностей можно вычислить среднюю квадратическую погрешность арифметической середины

$$M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}.$$

Таблица 40

Значения постоянной K

n	$\frac{1,253}{\sqrt{n(n-1)}}$	n	$\frac{1,253}{\sqrt{n(n-1)}}$
2	0,886	8	0,167
3	0,511	9	0,148
4	0,362	10	0,132
5	0,282	11	0,119
6	0,229	12	0,109
7	0,193	15	0,086

Среднюю квадратическую погрешность, используя v , кроме формулы Бесселя, вычисляют и по формуле Петерса

$$m = \frac{1,253 \sqrt{[v^2]}}{\sqrt{n(n-1)}}.$$

Для данных условий измерений значение величины $1,253 : \sqrt{n(n-1)}$ постоянно. Ее обычно обозначают буквой K . Тогда формула Петерса принимает вид

$$m = K \sqrt{[v^2]}.$$

K в зависимости от числа измерений n принимает различные значения (табл. 40).

§ 82. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ВЕЛИЧИНЫ

Обработку рядов равноточных измерений одной и той же величины проводят в такой последовательности.

1. Находят наиболее надежное значение измеряемой величины, т. е. арифметическую средину L . Можно L вычислить по известной формуле $L = [l] : n$, но для удобства вычислений лучше пользоваться формулой

$$L = L_0 + \frac{[\varepsilon]}{n}.$$

В качестве L_0 рекомендуется брать наименьший результат из ряда равноточных измерений: l_1, l_2, \dots, l_n . В этом случае разности ε будут всегда положительными или в отдельных случаях равны нулю. ε — разности

между результатом каждого измерения и выбранной величиной L_0 :

$$\varepsilon_1 = l_1 - L_0;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\varepsilon_n = l_n - L_0.$$

2. Вычисляют вероятнейшие погрешности v . Значения погрешностей v вычислять нужно с одним и тем же числом десятичных знаков. При этом берут столько десятичных знаков, чтобы наибольшее по абсолютной величине v имело две значащие цифры, а если это значение v начинается с единицы, то три значащие цифры

$$v_i = l_i - L.$$

3. Найденные значения вероятнейших погрешностей v и арифметической середины L контролируют равенством

$$[v] = 0.$$

В процессе вычисления арифметической середины L при делении суммы разностей $[\varepsilon]$ на число измерений n часто приходится делать округление. Если поправка округления будет δ , то для контроля правильности вычисления v и L используют формулу

$$[v] = n\delta.$$

4. Вычисляют и контролируют величину $[vv]$. Контролируют величину $[vv]$ по формуле $[vv] = [\varepsilon^2] - \frac{[\varepsilon]^2}{n}$.

Для этого все разности ε возводят в квадрат.

5. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения m по формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}.$$

6. Контролируют вычисление средней квадратической погрешности m по формуле Петерса

$$m = K [|v|].$$

7. Определяют надежность вычисленной средней квадратической погрешности отдельного результата

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

Таблица 41

Схема вычислений результатов равноточных измерений

Номер приема	l	$\varepsilon = l - L_0$	ε^2	v	v^2
1	63° 49' 22,2"	+4,3	18,5	+1,81	3,28
2	22,8	+4,9	24,0	+2,41	5,81
3	20,6	+2,7	7,3	+0,21	0,04
4	21,1	+3,2	10,2	+0,71	0,50
5	20,2	+2,3	5,3	-0,19	0,04
6	19,4	+1,5	2,2	-0,99	0,98
7	18,3	+0,4	0,2	-2,09	4,37
8	18,5	+0,4	0,2	-1,89	3,57
9	17,9	0,0	0,0	-2,49	6,20
10	20,0	-2,1	4,4	-0,39	0,15
11	20,8	+2,9	8,4	+0,41	0,17
12	21,4	+3,5	12,2	+1,01	1,02
13	22,3	+4,4	19,4	+1,91	3,65
14	19,6	+1,7	2,9	-0,79	0,62
15	20,7	+2,8	7,8	+0,31	0,10
$L_0 = 63^\circ 49' 17,9''$				$\Sigma = +8,78''$	
$\frac{[\varepsilon]}{n} = +2,49''$				$\Sigma = -8,83''$	
L	63° 49' 20,39"	$\Sigma = +37,3''$	$\Sigma = 123,2''$	$\Sigma = -0,05''$	$\Sigma = 30,50''$

$$\frac{[\varepsilon]}{n} = \frac{+37,3}{15} = 2,4867'' \quad \delta = L_{\text{точное}} - L_{\text{принятое}} = -0,0033''$$

$$[v] = n\delta = 15 \cdot (-0,0033) = -0,05''$$

$$[v^2] = [\varepsilon^2] - \frac{[\varepsilon]^2}{n} = 123,2 - \frac{1391,3}{15} = 30,45''$$

Несоответствие контроля $[v^2] \neq [\varepsilon]^2 - \frac{[\varepsilon]^2}{n}$ является следствием округлений v^2 :

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{30,50}{14}} = \sqrt{2,18} = \pm 1,48'';$$

$$m = K \cdot [v] = 0,086 \cdot 17,61 = \pm 1,51'';$$

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{1,48}{5,29} = \pm 0,28'';$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{1,48}{3,87} = \pm 0,38'';$$

$$m_M = \frac{m_m}{\sqrt{n}} = \frac{0,28}{3,87} = \pm 0,07'';$$

$$\text{Ответ: } 63^\circ 49' 20,39'' \pm 0,38''$$

8. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность арифметической середины

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}.$$

9. Определяют надежность M , вычисляя ее погрешность:

$$m_M = m_m : \sqrt{n}.$$

Пример. Угол равноточно измерен 15 приемами (табл. 41). Нужно обработать этот ряд измерений (см. табл. 41).

§ 83. НЕРАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ВЕСА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

До сих пор мы рассматривали равноточные измерения. Установили, что вероятнейшим значением ряда равноточных измерений одной и той же величины является арифметическая середина

Но измерения часто бывают неравноточными. Очевидно, что при неравноточных измерениях за окончательный результат нельзя брать среднее арифметическое (арифметическую середину) из результата ряда измерений. Надо учитывать достоинства каждого результата измерений. Более точные измерения должны оказывать большее влияние на окончательный результат.

Пример. Угол измерен при одинаковых условиях — равноточно. Первый раз его измеряли двумя приемами, второй раз — четырьмя:

I. $10^{\circ}14,0'$	I. $10^{\circ}18,2'$
II. $10^{\circ}14,2'$	II. $10^{\circ}18,0'$
$L_1 = 10^{\circ}14,1'$	III. $10^{\circ}18,4'$
	IV. $10^{\circ}17,8'$
	$L_2 = 10^{\circ}18,1'$

L_1 и L_2 — арифметические середины этих измерений.

$$\text{Но } L \neq \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{10^{\circ}14,1' + 10^{\circ}18,1'}{2} = 10^{\circ}16,1'.$$

Действительно, так как измерения равноточные, то

$$L = \frac{10^{\circ}14,0' + 10^{\circ}14,2' + 10^{\circ}18,2' + 10^{\circ}18,0' + 10^{\circ}18,4' + 10^{\circ}17,8'}{6} = 10^{\circ}16,8'.$$

Различную точность измерений учитывают при обработке результатов измерений путем вспомогательных чисел, называемых весами.

Чем надежнее, точнее результат измерений, тем больше его вес. Вес выражает степень доверия данному результату измерения. Но точность результата измерения характеризуется его средней квадратической погрешностью. Значит, чем меньше средняя квадратическая погрешность измерения, тем больше доверия ему можно оказать и тем больше его вес.

Поэтому вес можно определить так: *вес — это величина, обратно пропорциональная квадрату средней квадратической погрешности, характеризующей результат данного измерения.*

Если мы имеем ряд неравноточных измерений l_1, l_2, \dots, l_n , а их средние квадратические погрешности имеют значения m_1, m_2, \dots, m_n , то соответствующие им веса p будут

$$p_1 = \frac{c}{m_1^2}; \quad p_2 = \frac{c}{m_2^2}, \quad \dots; \quad p_n = \frac{c}{m_n^2},$$

где c — некий коэффициент — число произвольное, но одно и то же при определении значений всех весов данной задачи. Величину c подбирают произвольно, исходя из удобства вычислений, обычно так, чтобы веса получились с двумя значащими цифрами в десятых и сотых долях единицы.

Если, например, $m_1 = \pm 0,2$; $m_2 = \pm 0,3$; $m_3 = \pm 0,4$, то

$$p_1 = \frac{c}{0,04}; \quad p_2 = \frac{c}{0,09}; \quad p_3 = \frac{c}{0,16},$$

при $c = 0,01$ веса получаются равными: $p_1 = 0,25$; $p_2 = 0,11$; $p_3 = 0,06$.

§ 84. ОБЩАЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ СРЕДИНА, ЕЕ СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ И ВЕС

Предположим, что проведено n серий равноточных измерений одной и той же величины. В первой серии измерения искомой величины проведены p_1 раз с полученными результатами $b'_1, b'_2, \dots, b'_{p_1}$, во второй — p_2 раз с результатами $b''_1, b''_2, \dots, b''_{p_2}$ и т. д. В последней серии произведено p_n измерений с результатами $b^n_1, b^n_2, \dots, b^n_{p_n}$. Так как измерения во всех сериях велись равноточно, то все они имеют одну и ту же среднюю квадратическую погрешность, которую обозначим μ . Если мы получим для каж-

Таблица 42

Средние квадратические погрешности их веса

Серия равноточных измерений	Средняя квадратическая погрешность измерения	Арифметическая середина
1	2	3
$b'_1, b'_2, \dots, b'_{p_1}$	μ	$l_1 = \frac{[b']}{p_1}$
$b''_1, b''_2, \dots, b''_{p_2}$	μ	$l_2 = \frac{[b'']}{p_2}$
.....
$b^n_1, b^n_2, \dots, b^n_{p_n}$	μ	$l_n = \frac{[b^n]}{p_n}$

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины	Из графы 3	По определению	Из графы 6
4	5	6	7
m_1	$l_1 p_1 = [b']$	$m_1 = \frac{\mu}{\sqrt{p_1}}$	$p_1 = \frac{\mu^2}{m_1^2}$
m_2	$l_2 p_2 = [b'']$	$m_2 = \frac{\mu}{\sqrt{p_2}}$	$p_2 = \frac{\mu^2}{m_2^2}$
.....
m_n	$l_n p_n = [b^n]$	$m_n = \frac{\mu}{\sqrt{p_n}}$	$p_n = \frac{\mu^2}{m_n^2}$

дой такой серии арифметическую средину, то, поскольку в каждой серии число измерений p различно, полученные арифметические средины l_1, l_2, \dots, l_n будут неравноточны и будут иметь различные средние квадратические погрешности m_1, m_2, \dots, m_n .

Расположим все данные в табл. 42 и будем рассматривать арифметические средины l_1, l_2, \dots, l_n как результаты неравноточных измерений одной и той же величины.

Найдем теперь наиболее надежное значение измеряемой величины из всех результатов измерений. Таким значением может быть арифметическая середина всех проведенных равноточных измерений:

$$L = \frac{[b'] + [b''] + \dots + [b^n]}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}.$$

Подставив в эту формулу левые части равенства из графы 5 (табл. 42), получим

$$L = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[lp]}{[p]}.$$

Величина L называется общей арифметической серединой или весовым средним, а p — весами результатов измерений.

Общей арифметической серединой или весовым средним неравноточных измерений одной и той же величины называется сумма произведений результата каждого измерения на его вес, разделенная на сумму весов.

Весом данного результата измерения называется число, показывающее, сколько равноточных измерений определенной точности нужно выполнить, чтобы среднее арифметическое из них имело бы ту же точность, что и данный результат. Это второе определение веса.

По формуле простой арифметической середины (L — до преобразования по табл. 42) можно написать среднюю квадратическую погрешность весового среднего

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{p_1 + p_2 + \dots + p_n}} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}.$$

Теперь предположим, что имеется n равноточных измерений одной и той же величины и средняя квадратическая погрешность таких измерений m . Если из этих n измерений вычислить арифметическую середину L , она будет иметь среднюю квадратическую погрешность M , равную, как мы знаем, $m : \sqrt{n}$. Отдельные результаты измерений и их арифметическая середина, конечно, неравноточны. Их веса, согласно данному определению, будут равны (величину c примем равной единице):

$$\text{вес отдельного результата измерений } p = \frac{1}{m^2};$$

$$\text{вес арифметической середины } P = 1 : \left(\frac{m}{\sqrt{n}} \right)^2 = \frac{n}{m^2}.$$

Отсюда

$$\frac{P}{p} = \frac{n}{m^2} : \frac{1}{m^2} = n \text{ и значит } P = np.$$

Отсюда можно сделать выводы:

1. Вес арифметической середины в n раз больше веса отдельного результата измерений, где n — число измерений.

2. Измерение с весом P можно рассматривать как арифметическую средину из n равноточных измерений. Действительно, если принять $p = 1$, то $P = n$.

Если результаты измерений неравноточны, а, значит, веса их различны, то вес общей арифметической средины $P = p_1 + p_2 + \dots + p_n = [p]$.

Перечислим свойства общей арифметической средины.

1. При неограниченном увеличении числа измерений общая арифметическая середина L стремится к значению измеренной величины X .

2. Если общая арифметическая середина образована из результатов измерений, свободных от систематических погрешностей, то и сама общая арифметическая середина не содержит систематической погрешности.

3. Из всего ряда результатов измерений, из которых образована общая арифметическая середина, весовое среднее обладает минимальной средней квадратической погрешностью и максимальным весом.

4. Уклонения отдельных результатов измерений l от общей арифметической средины L называются вероятнейшими погрешностями, сумма произведений которых на соответствующие веса равна нулю:

$$[pv] = 0.$$

5. Сумма произведений квадратов вероятнейших погрешностей на соответствующие веса $[pv^2]$ всегда меньше, чем сумма произведений квадратов уклонений на веса от любого другого значения измеряемой величины, отличной от общей арифметической средины.

§ 85. СВОЙСТВА ВЕСОВ И ИХ НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Веса служат показателем точности результатов измерений, но имеют относительный характер. Степень надежности одних результатов измерений по сравнению с другими дает не абсолютные значения веса, а лишь их отношение.

Все веса результатов измерений в любой задаче можно одновременно увеличивать или уменьшать в одно и то же число раз. С этим мы практически уже сталкивались в § 83. При этом от увеличения или уменьшения весов результатов измерений величина весового среднего L и его средней квадратической погрешности M не изменится.

Часто веса определяют не через средние квадратические погрешности, которые могут быть не известны, а через другие числовые характеристики.

Так, мы знаем, что вес арифметической середины равен числу измерений, из которых она получена. Поэтому при угловых измерениях за веса принимают числа, равные числу приемов в отдельных измерениях. При этом вес одного приема принимают за единицу.

При обработке геометрического нивелирования за веса принимают величины, обратно пропорциональные числу станций хода N :

$$p_i = \frac{c}{N_i},$$

где c — коэффициент (см. § 83).

В тех случаях, когда число станций на 1 км в различных ходах колеблется незначительно, можно пользоваться не числом станций хода N_i , а числом километров хода L_i

$$p_i = \frac{c}{L_i}.$$

При обработке полигонометрических или теодолитных ходов за вес дирекционного угла N -й стороны хода принимают величину, обратно пропорциональную числу углов N (между исходным дирекционным углом и дирекционным углом N -й стороны):

$$p_\alpha = \frac{c}{N},$$

а за веса измерения длин линий (координат) принимают величины, обратно пропорциональные длинам ходов L_i

$$p_i = \frac{c}{L_i}.$$

Для превышений, полученных из геодезического нивелирования при триангуляционных и тахеометрических работах и при привязке опознаков, за веса принимают величины, обратно пропорциональные квадратам расстояний, т. е.

$$p = \frac{c}{S^2}.$$

§ 86. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ЕДИНИЦЫ ВЕСА

Для сравнения точности равноточных измерений служили средние квадратические погрешности m каждого измерения. Для сравнения точности рядов неравноточ-

ных измерений средняя квадратическая погрешность каждого результата уже служить не может. Средняя квадратическая погрешность в неравноточных измерениях зависит не только от точности самих измерений, но и от их количества (от числа приемов, числа станций, длины ходов, расстояний), т. е. от веса. Для сравнения точности рядов неравноточных измерений служит средняя квадратическая погрешность μ результата измерения, вес которого принят за единицу, или средняя квадратическая погрешность единицы веса. Например, средняя квадратическая погрешность одного приема, десяти станций, длины линии или хода в 100 м или в 1 км, если их вес принят нами равным единице. За единицу веса может быть принят любой результат измерений.

Из графы 6 табл. 42

$$\mu = m_i \sqrt{p_i},$$

т. е. средняя квадратическая погрешность единицы веса μ в \sqrt{p} раз больше средней квадратической погрешности измерения, вес которого равен p .

Зная истинные погрешности Δ , среднюю квадратическую погрешность единицы веса вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\Delta^2]}{n}},$$

где p — веса измерений; n — число измерений.

Надежность получения μ , т. е. среднюю квадратическую погрешность m_μ величины самой μ , вычисляют по формуле

$$m_\mu = \mu : \sqrt{2n}.$$

Истинные значения измеряемых величин известны редко, поэтому оценку точности результатов неравноточных измерений обычно проводят по вероятнейшим погрешностям v . В этом случае среднюю квадратическую погрешность единицы веса вычисляют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}}.$$

А ее надежность

$$m_\mu = \mu : \sqrt{2(n-1)}.$$

Зная формулы для получения μ , напомним выражения для средней квадратической погрешности весового среднего:

$$M = \sqrt{\frac{[p\Delta^2]}{[p]}} \text{ и } M = \sqrt{\frac{[pv^2]}{(n-1)[p]}}.$$

Известно, что величины весового среднего L и его средней квадратической погрешности M с увеличением или уменьшением весов не меняются. Средняя квадратическая погрешность единицы веса с изменением весов изменяется. С уменьшением или увеличением весов в c раз средняя квадратическая погрешность единицы веса соответственно уменьшится или увеличится в \sqrt{c} раз. Это видно из первой приведенной в данном параграфе формулы для μ .

§ 87. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ВЕЛИЧИНЫ

Обработку рядов неравноточных измерений одной и той же величины проводят в такой последовательности.

1. Находят веса результатов измерений. Если известны средние квадратические погрешности результатов измерений m , то веса p вычисляют по формуле

$$p = c : m^2.$$

Если средние квадратические погрешности результатов не известны, то веса находят по правилам, указанным в § 85.

2. Находят наиболее надежное значение измеряемой величины, т. е. весовое среднее L . Весовое среднее можно вычислять, пользуясь известной формулой $L = [l_p] : [p]$. Однако для облегчения вычислений лучше пользоваться формулой

$$L = L_0 + \frac{[p\varepsilon]}{[p]},$$

где ε — разность между результатами каждого измерения и выбранной величиной L_0 , т. е. $\varepsilon_i = l_i - L_0$.

В качестве L_0 удобнее всего принимать наименьший результат из ряда измерений l_1, l_2, \dots, l_n . Тогда разности будут всегда положительными или равными нулю.

3. Вычисляют вероятнейшие погрешности

$$v_i = l_i - L.$$

Значения вероятнейших погрешностей v вычисляют с одним и тем же числом десятичных знаков.

4. Найденные значения вероятнейших погрешностей v и общей арифметической середины L контролируют равенством

$$[pv] = 0.$$

При вычислении весового среднего L при делении $[p\varepsilon]$ на $[p]$ часто приходится делать округление. В случае округления указанное равенство точно не удовлетворяется. Если поправка округления будет допущена равной δ , то для контроля вычисленных значений v и L используют равенство

$$[pv] = [p] \delta.$$

5. Вычисляют и контролируют величину $[pv^2]$.

Контролируют правильность вычислений $[pv^2]$ по формуле

$$[pv^2] = [p\varepsilon^2] - \frac{[p\varepsilon]^2}{[p]}.$$

6. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность единицы веса и ее надежность

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}}; \quad m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

7. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность весового среднего и ее надежность

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}; \quad m_M = \frac{m_\mu}{\sqrt{[p]}}.$$

8. Если не даны средние квадратические погрешности отдельных результатов измерений, то их вычисляют по формуле

$$m_i = \mu / \sqrt{p_i}.$$

В случае обработки ходов нивелирования и полигонометрии, когда при определении весов за c принимались произвольно удобные числа, вычисляют средние квадратические погрешности интересующих нас размерностей, например одной станции нивелирования или 1 км хода, по формуле $m = \mu : \sqrt{c}$.

Пример. Один и тот же угол измерен различным числом приемов шесть раз. Известны средние арифметические L каждого ряда измерений, число приемов n и средние квадратические погрешности одного приема каждого ряда. По этим данным, приведенным в табл. 43, найти

Таблица 43

Схема вычисления средневесового значения угла

№ п/п	Среднее арифметическое углов	Число приемов n	Средняя квадратическая погрешность приема m	$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$	$\rho = \frac{c}{M^2},$ $c = 0,5$	e	ρe	ρe^2	v	ρv	ρv^2
1	55° 40' 35"	2	±3,9"	±2,76	0,07	+8"	+0,56	4,48	+5,6	+0,39	2,18
2	29	6	±1,4	±0,57	1,54	+2	+3,08	6,16	-0,4	-0,62	0,25
3	27	7	±1,8	±0,68	1,09	0	0	0	-2,4	-2,62	6,29
4	30	10	±1,7	±0,54	1,72	+3	+5,16	15,48	+0,6	+1,03	0,62
5	31	8	±2,3	±0,81	0,76	+4	+3,04	12,16	+1,6	+1,22	1,95
6	36	3	±3,4	±1,97	0,13	+9	+1,17	10,53	+6,6	+0,86	5,68
L_0	55° 40' 27"			Σ	5,31		+13,01	48,81		+3,50	16,97
$\frac{[\rho e]}{[p]}$	= +2,4"									-3,24	
$L =$	55° 40' 29,4"									+0,26	

$$\frac{[\rho e]}{[p]} = \frac{+13,01}{5,31} = +2,45''; \delta = L_{\text{точное}} - L_{\text{получ.}} = +0,05''$$

Контроль:

$$[\rho v^2] = [\rho e^2] - \frac{[\rho e]^2}{[p]} = 48,81 - \frac{169,25}{5,31} = 16,94; [\rho v] = [p] \delta + 5,31 (+0,05) = +0,27.$$

Средняя квадратическая погрешность единицы веса и ее погрешность:

$$\mu = \sqrt{\frac{[\rho v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{16,97}{5}} = \pm 1,84''; m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{1,84}{\sqrt{10}} = \pm 0,58''.$$

Средняя квадратическая погрешность весового среднего и ее погрешность:

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{1,84}{2,30} = 0,80''; m_M = \frac{m_{\mu}}{\sqrt{[p]}} = \frac{0,58}{2,30} = \pm 0,25'';$$

Ответ: 55° 40' 29,4" ± 0,8"

наиболее надежное значение угла из всех измерений, средние квадратические погрешности единицы веса и общей арифметической середины и их надежность.

§ 88. ВЕСА ФУНКЦИЙ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

На практике, как уже известно, нередко случаи, когда искомая величина не может быть получена непосредственно, а ее вычисляют через измеренные величины, т. е. она является функцией измеренных величин. При оценке точности функций возникает задача вычисления их весов. Веса функций и веса независимо измеренных величин связаны формулами, вывод которых излагать не будем. Приведем формулы простых, но часто встречающихся на практике функций и общую формулу веса любой функции (табл. 44). Отметим, что число $\frac{1}{p_i}$, обратное значению веса, называется *о б р а т н ы м* весом.

Из функции алгебраической суммы, когда веса аргументов равны, можно вывести, что вес функции $p_u = p : n$, т. е. *вес алгебраической суммы n равноточных независимо измеренных величин в n раз меньше веса одной такой величины (одного слагаемого).*

§ 89. ДВОЙНЫЕ РАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В практике геодезических работ каждую величину измеряют независимо не менее двух раз. Бесконтрольные измерения, т. е. измерения величин только один раз, не допускаются.

Часто приходится иметь дело только с двумя независимыми и равноточными измерениями каждой из многих определяемых величин. Например, длины линий теодолитных ходов измеряют в прямом и обратном направлениях, углы измеряют двумя полуприемами при круге право и круге лево в теодолитных ходах или двумя полными приемами при привязке опознаков и т. д. Такие измерения называют *д в о й н ы м и*.

По результатам двойных измерений можно проводить оценку точности этих измерений.

Имеем ряд результатов двойных равноточных измерений одних и тех же величин: l_1 и l'_1 , l_2 и l'_2 , ..., l_n и l'_n . Составим их разности: $d_1 = l_1 - l'_1$; $d_2 = l_2 - l'_2$, ...; $d_n = l_n - l'_n$. Если бы измерения были выполнены безошибочно, то каждая разность d равнялась бы нулю.

Таблица 44
Функции и их веса

№ п/п	Название функции	Вид функции	Формула обратного веса функций	Обратный вес функции равен
1	Произведение постоянной величины на аргумент	$u = kx$	$\frac{1}{p_u} = k^2 \frac{1}{p_x}$	произведению квадрата коэффициента на обратный вес аргумента
2	Сумма или разность двух независимо измеренных величин	$u = x \pm y$	$\frac{1}{p_u} = \frac{1}{p_x} + \frac{1}{p_y}$	сумме обратных весов аргументов
3	Сумма или разность n измеренных величин (алгебраическая сумма)	$u = x \pm y \pm \dots \pm z$	$\frac{1}{p_u} = \frac{1}{p_x} + \frac{1}{p_y} + \dots + \frac{1}{p_z}$	сумме обратных весов аргументов
4	Линейная функция	$u = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \dots \pm k_n x_n$	$\frac{1}{p_u} = k_1^2 \frac{1}{p_{x_1}} + k_2^2 \frac{1}{p_{x_2}} + \dots + k_n^2 \frac{1}{p_{x_n}}$ <p>При $k_1 = k_2 = \dots = k_n = k$ и при $p_{x_1} = p_{x_2} = \dots = p_{x_n} = p$</p> $\frac{1}{p_u} = k^2 n \cdot \frac{1}{p}$	сумме произведений квадратов постоянных на обратные веса соответствующих аргументов
5	Произведение двух независимо измеренных величин	$u = xy$	$\frac{1}{p_u} = x^2 \frac{1}{p_x} + y^2 \frac{1}{p_y}$	сумме произведений квадратов аргументов на обратные веса этих же аргументов
6	Функция общего вида	$u = f(x, y, \dots, z)$	$\frac{1}{p_u} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \frac{1}{p_x} + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \frac{1}{p_y} + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \frac{1}{p_z}$	сумме произведений квадратов частных производных по каждому аргументу на обратный вес того же аргумента

Следовательно, истинное значение каждой разности двойных измерений — нуль. Поэтому величины d_1, d_2, \dots, d_n можно рассматривать как истинные погрешности двойных измерений. А значит, по ним можно вычислить среднюю квадратическую погрешность одной (любой) разности m_d . Применим формулу, предложенную Гауссом:

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}},$$

тогда:

1) средняя квадратическая погрешность отдельного результата измерений

$$m_l = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}};$$

2) средняя квадратическая погрешность результатов двойных измерений

$$m_{l_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{[d^2]}{4n}};$$

3) надежность определения m_l и $m_{l_{\text{ср}}}$ определяется по формулам

$$m_{m_l} = \frac{m_l}{\sqrt{2n}}; \quad m_{m_{l_{\text{ср}}}} = \frac{m_{l_{\text{ср}}}}{\sqrt{2n}}.$$

Необходимо отметить, что средние квадратические погрешности, вычисленные по разностям двойных измерений, бывают, как правило, несколько приуменьшенными. Дело в том, что в разностях двойных измерений d обычно участвуют не все источники погрешностей, которые действовали в момент измерений. Ряд источников погрешностей не окажут на разности влияния, например: углы наклона при измерении линий, погрешности центрирования прибора над вершиной угла, погрешности установки визирных целей (редукции) и т. д.

Все приведенные формулы средних квадратических погрешностей двойных измерений m_d, m_l и $m_{l_{\text{ср}}}$ применяются только тогда, когда данный ряд результатов двойных измерений не содержит систематических погрешностей. Присутствие систематических погрешностей в ряде двойных измерений легко обнаруживается нарушением свойства компенсации случайных погрешностей, при их наличии

$$[d] : n \neq 0,$$

если n достаточно велико или если $[d] : n$ значительно отличается от нуля.

Если систематические погрешности обнаружены, то для обработки ряда двойных измерений их необходимо определить и из разностей исключить.

Приняв, что систематические погрешности во всех разностях постоянны или изменяются незначительно и что $[d]$ — сумма только систематических погрешностей (по свойству компенсации случайных погрешностей), можно получить среднее значение систематической погрешности одной разности:

$$\sigma = [d] : n.$$

Если разности двойных измерений содержат кроме случайной еще и систематическую погрешность, то теперь σ из каждой разности можно исключить по формуле $d_i = d_i - \sigma$. Полученные значения d_1, d_2, \dots, d_n — случайные погрешности разностей.

Величины d_1, d_2, \dots, d_n получены как разности измеренных значений d и арифметической середины из них σ , а сумма их величин $[\partial] = 0$, поэтому их следует рассматривать как вероятнейшие погрешности.

Практически при вычислении σ приходится делать округления. В этом случае $[\partial] = n\delta$, где δ — поправка округления:

$$\delta = \sigma_{\text{точное}} - \sigma_{\text{принятое}}.$$

Значит, оценку точности равноточных двойных измерений нужно проводить по формуле Бесселя и контролировать по формуле Петерса, т. е.

$$m_d = \sqrt{\frac{[\partial^2]}{n-1}}; \quad m_d = 1,253 \frac{[|\partial|]}{\sqrt{n(n-1)}};$$

$$m_l = \sqrt{\frac{[\partial^2]}{2(n-1)}}; \quad m_{l_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{[\partial^2]}{4(n-1)}},$$

А формулы надежности m_l и $m_{l_{\text{ср}}}$ примут вид

$$m_{m_l} = \frac{m_l}{\sqrt{2(n-1)}}; \quad m_{m_{l_{\text{ср}}}} = \frac{m_{l_{\text{ср}}}}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

§ 90. ФОРМУЛА ФЕРРЕРА

Невязки треугольников W — результат наличия случайных погрешностей в углах. Их можно рассматривать как истинные случайные погрешности суммы трех углов, измеренных равноточно.

Отсюда средняя квадратическая погрешность суммы углов треугольника может быть определена по формуле, предложенной Гауссом:

$$m_{\text{сум}} = \sqrt{\frac{|W^2|}{n}},$$

где n — число треугольников.

Тогда средняя квадратическая погрешность измерения одного угла по невязкам треугольников W_1, W_2, \dots, W_n будет

$$m = \frac{m_{\text{сум}}}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{|W^2|}{3n}}.$$

Формула определения средней квадратической погрешности угла по невязкам треугольников называется формулой Феррера по имени итальянского геодезиста, предложившего ее. Формула Феррера является международной для оценки точности измерения углов в триангуляции.

Таблица 45

Номер тре- угольника	Невяз- ка W	W^2	Номер тре- угольника	Невяз- ка W	W^2	Номер тре- угольника	Невяз- ка W	W^2
1	+1,00"	1,00"	6	-1,50"	2,25"	11	-0,33"	0,11"
2	+1,50"	2,25"	7	-0,81"	0,66"	12	-0,25"	0,06"
3	+0,92"	0,85"	8	+1,75"	3,06"	13	+0,10"	0,01"
4	-1,64"	2,69"	9	-1,01"	1,02"	14	+0,19"	0,04"
5	-1,23"	1,51"	10	+1,30"	1,69"	$\Sigma = 17,20"$		

$$m = \sqrt{\frac{[w^2]}{3n}} = \sqrt{\frac{17,20}{42}} = \pm 0,64"$$

$$m_n = \frac{m}{\sqrt{2n}} = \frac{0,64}{\sqrt{28}} = \pm 0,12"$$

Пример. Получены невязки треугольников. Определить среднюю квадратическую погрешность измерения одного угла и ее надежность по данным, приведенным в табл. 45.

Практические занятия. Решение задач по разделам.

Глава 12

ПОЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА АЭРОФОТОСНИМКОВ

I. ПРИВЯЗКА ПЛАНОВЫХ ОПОЗНАКОВ

§ 91. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ПЛАНОВОЙ ПРИВЯЗКИ ОПОЗНАКОВ

Основные методы топографических съемок — аэрофототопографические. При этих методах съемки съемочным обоснованием служат опознаки. Съемочным плановым обоснованием служат плановые опознаки (ОП), высотным обоснованием — высотные опознаки (ОВ).

Все аэрофотоснимки необходимо трансформировать, что освобождает их от перспективных искажений и приводит к масштабу создаваемого фотоплана. Фотоплан монтируется из полезных площадей трансформированных аэрофотоснимков.

Для трансформирования каждый аэрофотоснимок нужно обеспечить четырьмя плановыми точками с известными координатами, расположенными по углам его рабочей площади. Эти плановые точки получают камеральным путем, развитием плоских фототриангуляционных сетей.

Для редуцирования фототриангуляционных сетей (приведения к заданному масштабу) и ориентирования в них должны быть включены контурные точки аэрофотоснимков, координаты которых определены измерениями на местности. Эти точки, исходные для развития и построения фототриангуляционных сетей, называют **п л а н о в ы м и о п о з н а к а м и**, а комплекс работ на местности по определению координат этих опознаков — **п р и в я з к о й п л а н о в ы х о п о з н а к о в**.

Работы по привязке ОП следующие:

1) составление проекта размещения ОП; 2) маркировка на местности точек для последующего их опознавания на аэрофотоснимках. Маркировка проводится в тех районах, где отсутствуют на местности контуры, которые

можно надежно опознать на аэрофотоснимках; 3) опознание ОП на местности и на аэрофотоснимках, накалывание и оформление их на аэрофотоснимках и закрепление, если это требуется, на местности; 4) проведение геодезических измерений на местности для определения планового положения опознаков; 5) вычисление координат опознаков и составление каталога; 6) оформление материалов привязки опознаков.

§ 92. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА РАЗМЕЩЕНИЯ ОПОЗНАКОВ

Проект размещения опознаков составляется в случае, когда не требуется маркировки ОП, по накладному монтажу аэрофотоснимков с использованием топографических карт и оформляется на репродукциях накладного монтажа. В районах, где необходима маркировка ОП, проект размещения опознаков составляется и оформляется на топографических картах одновременно с проектированием маршрутов предстоящего залета.

В качестве опознаков в первую очередь должны быть использованы все пункты геодезического обоснования и сетей сгущения. Геодезическое обоснование и сети сгущения только дополняют точками съёмочного обоснования — опознаками — для обеспечения последующего фотограмметрического сгущения.

На аэрофотоснимках намеченные зоны для выбора опознаков отмечают мягким карандашом в виде четырехугольника. В такой зоне, отмеченной четырехугольником, должно быть не менее двух-трех контуров, пригодных к опознаванию. На репродукции накладного монтажа намеченные опознаки отмечают черной тушью: пункты обоснования — равносторонними треугольниками со сторонами 5 мм, опознаки — двойными кружками диаметром 3 мм.

Составление проекта размещения ОП начинается работой с картой.

На картах показывают:

1) границу участка работы; 2) все пункты главного геодезического обоснования и сетей сгущения; 3) оси запроектированных аэрофотосъёмочных маршрутов. Маршруты прокладывают, как правило, в направлении восток—запад. Маршруты должны продолжаться за границы съёмочного участка не менее чем на один базис фотографирования и на половину маршрута за границу участка, параллельную направлению маршрутов; 4) зоны

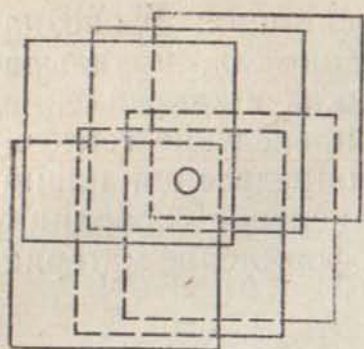


Рис. 109. Схема положения опознака на аэрофотоснимках

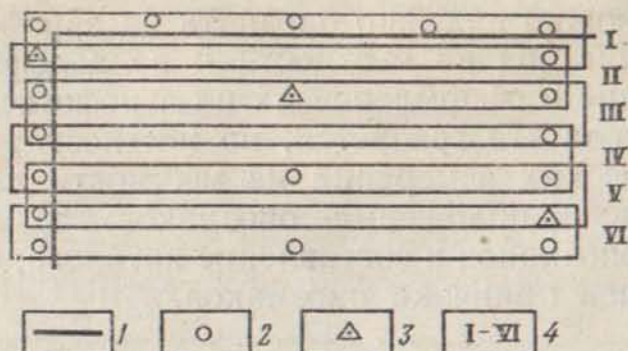


Рис. 110. Схема размещения опознаков:
1 — граница съемки; 2 — опознак; 3 — пункт сети; 4 — номера маршрутов

размещения опознаков и урезов воды; 5) типы маркированных знаков.

Пункты 3 и 5 выполняют в тех случаях, когда требуется маркировка точек.

На границах съемочного участка опознаки проектируют за рамками этих границ.

Опознаки размещают по возможности в зонах тройного продольного перекрытия аэрофотоснимков (продольное перекрытие бывает 60 и 80 %) и одновременно в местах поперечного перекрытия смежных маршрутов (рис. 109). При таком расположении опознаки включаются в фотограмметрическую сеть наиболее надежно и обеспечивают наибольшее число аэрофотоснимков. Однако необходимо помнить, что опознаки должны располагаться не менее 1 см от краев аэрофотоснимков и не менее 2 см от линий центров (прямой линии, соединяющей западную и восточную координатные метки аэрофотоснимков).

Густота размещения ОП зависит от метода фотограмметрической обработки залета и от масштаба проводимой топографической съемки. ОП размещают рядами поперек аэрофотосъемочных маршрутов. При аэрофотосъемке в двух масштабах опознаками обеспечивают те аэрофотоснимки, по которым затем будет выполняться фотограмметрическое сгущение.

Начало и конец каждого маршрута обеспечиваются двумя плановыми опознаками. Затем через определенные расстояния, зависящие от масштаба создаваемой карты, намечают такие же ряды ОП. Расстояние на местности вдоль маршрута между рядами ОП должно быть не более указанного ниже:

Масштаб топографической съемки · Расстояние между рядами опозна-
ков на местности, км

1 : 25 000	40—50
1 : 10 000	16—20
1 : 5 000	8—10
1 : 2 000	3—4
1 : 1 000	1,5—2

По этим рядам каждый маршрут обеспечивается двумя ОП. Образуются как бы секции, в углах которых размещены ОП.

Кроме того, даются обязательно дополнительные опознаки: 1) один в середине каждой секции, т. е. через вдвое меньшее расстояние. Таким образом каждая плановая секция обеспечивается пятью ОП. Эти ОП также даются рядами поперек аэрофотосъемочных маршрутов; 2) на границах участка съемки, совпадающих с направлениями маршрутов аэрофотосъемки, через расстояния, вчетверо меньшие указанных выше расстояний (рис. 110).

Дополнительные опознаки приходится проектировать еще в местах разрывов фотограмметрических сетей: при пересечении маршрутами аэрофотосъемки широких водных пространств (водохранилищ, широких рек, больших озер и т. д.) и на стыках различных маршрутов, если по каким-либо причинам маршрут не был непрерывным.

При составлении проекта размещения ОП необходимо учитывать методы их привязки к пунктам государственной геодезической сети. Эти методы должны быть наиболее простыми и экономичными как по производству геодезических измерений, так и последующих вычислений координат.

Все точки планового обоснования (ОП) вне зависимости от масштаба топографической съемки должны иметь отметки высот. Определение высот ОП обязательно.

§ 93. МАРКИРОВКА ОПОЗНАКОВ

Форма маркировочного знака должна быть симметричной, а его размеры минимальными, но не менее установленных.

При маркировке используют дерн, песок, бревна, камыш, миткаль, бязь, марлю, полиэтиленовую пленку, рубероид, толь, различные красители и т. п.

В открытых районах, в редколесье и в районах, покрытых кустарником или камышом, для маркировки выкладывают на земной поверхности четырехлучевой знак

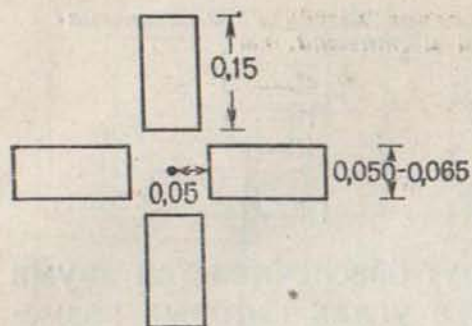


Рис. 111. Маркировочный знак

(крест). Длина каждого луча такого знака (рис. 111) должна быть 0,15 мм в масштабе аэрофотоснимка, ширина для знака белого цвета 0,05 мм, для знака черного цвета — 0,065 мм, расстояние каждого луча от центра — 0,05 мм.

На твердых грунтах и вблизи населенных пунктов маркировочные знаки обычно выполняют красителями. На задернованных почвах маркировку знака можно сделать вспашкой плугом. Маркировка знаков в лесу путем вырубki площадок запрещается. Сооружение шатров и туров на маркировочных знаках не рекомендуется.

§ 94. ОПОЗНАВАНИЕ, ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОЗНАКОВ

Опознавание заключается в выборе четкого, резко выраженного контура (точки) в отмеченной зоне на аэрофотоснимке и нахождении тождественного четкого контура (точки) на местности. При этом должны быть соблюдены следующие обязательные требования:

1. Точка, выбранная в качестве ОП, должна быть настолько четко и отчетливо изображена на аэрофотоснимке, чтобы была возможность ее накола с точностью 0,1 мм.

2. Точка, выбранная в качестве ОП, должна так же четко и отчетливо изображаться на всех перекрывающих аэрофотоснимках как этого, так и соседнего маршрута.

3. На местности идентичная ОП точка должна уверенно опознаваться с точностью масштаба создаваемой карты (1 м при масштабе топографической съемки 1 : 10 000; 0,5 м при масштабе 1 : 5000 и т. д.).

В связи с указанными требованиями нельзя для опознаков выбирать округлые или расплывчатые на местности контуры. Нельзя опознавать вершины слишком тупых или острых углов. Их вершины «теряются» на местности и аэрофотоснимках и не могут быть уверенно с нужной точностью опознаны. Нельзя использовать для опознавания контуры на крутых склонах и обрывах, тени и закрытые тенью контуры. Особенно осторожно

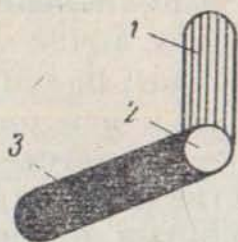


Рис. 112. Изображение на аэрофотоснимке телеграфного столба:

1 — перспективное смещение объекта; 2 — объект; 3 — тень от объекта

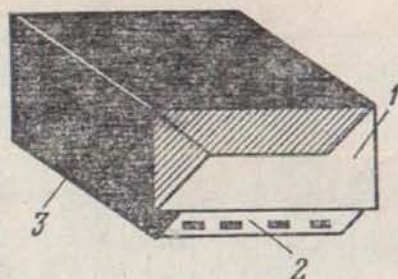


Рис. 113. Изображение на аэрофотоснимке строения (см. легенду к рис. 112)

необходимо относиться к опознаванию высоких объектов. Их можно опознавать только в том случае, если на аэрофотоснимках отчетливо просматриваются изображение предмета, его тень и перспективное смещение объекта (например, столбы или крыши здания). Так, можно опознавать столбы телеграфные и электропередач (рис. 112) или углы строения (рис. 113), когда отчетливо просматривается на аэрофотоснимке угол его основания (но не крыши, которая иногда только одна и изображается на аэрофотоснимке).

Опознаками могут быть:

1. Отдельно расположенные предметы ситуации (кусты, небольшие деревья, столбы телеграфные и электропередач, центры окопок межевых столбов и реперов, отдельно расположенные камни и т. д.).

2. Углы участков, занятых различными сельскохозяйственными культурами, образованных дорогами, канавами, межами, тропинками.

3. Углы канав и ям или их валиков, изгородей, зданий, мостов, пересечений борозд, образованных при вспашке тракторами незасеянных участков. При опознавании углов канав необходимо внимательно разобраться, где канава, где валик и где от них тени и что конкретно опознается (рис. 114). При опознавании углов изгородей и заборов необходимо прежде установить, где забор или изгородь и где тень от них.

4. Характерные выступы или углы участков песка, закрепленных травянистой растительностью, солончаковых плешин среди луговой растительности.

Правильность опознавания и накола имеет важное значение. Если контур опознан неверно или наколот неточно, то все последующие работы (геодезические

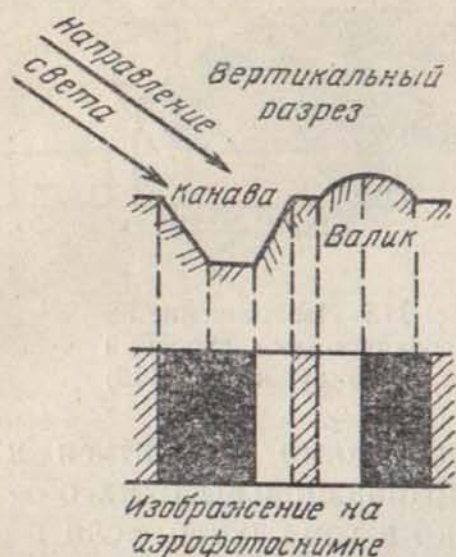


Рис. 114. Схема изображения канавы

на одном из аэрофотоснимков (любом) тонкой иглой. Отверстие накола должно быть не более 0,2 мм; при этом накол должен просматриваться на просвет. Для выполнения этого требования, перед тем как сделать накол, под аэрофотоснимок нужно подложить металлическую или пластмассовую пластинку. Накол производят так: острие иглы под лупой точно совмещают на аэрофотоснимке с опознаваемым контуром; иголку при этом удерживают под углом 45—50° к поверхности аэрофотоснимка; затем, не отрывая острия иглы от аэрофотоснимка, переводят иглу в отвесное положение и делают нажим.

На лицевой стороне аэрофотоснимков опознаки оформляют красной тушью:

ОП — окружность радиусом 0,5 см, справа от которой той же тушью подписывают в числителе номер опознака, в знаменателе — отметку земли (рис. 115);

пункты триангуляции и полигонометрии — равносторонний треугольник со стороной 1 см, слева подписывают название пункта, справа в числителе — отметку центра, в знаменателе — отметку поверхности земли (см. рис. 115);

реперы и марки нивелирования — окружность радиусом 0,5 см, слева подписывают тип знака и его номер, справа в числителе — отметку знака, в знаменателе — отметку поверхности земли (см. рис. 115).

Отметки высот пунктов и нивелирных знаков подписывают на аэрофотоснимках с округлением до 0,01 м, отметки земли — до 0,1 м.

измерения и вычисления координат), как бы точно они ни были выполнены, не могут быть использованы и вся работа на данной точке окажется браком.

В качестве опознака нужно выбирать контур (если, конечно, выбор возможен), привязка которого может быть осуществлена легко, просто и надежно.

При опознании и проверке контура на перекрывающих снимках, а также при последующей его наколке необходимо пользоваться лупой. Опознанную точку (контур) накалывают







Что опознано	Виды оформления			Цвет
	слева от знака	услов- ный знак	справа от знака	
Пункты триангуляции и полигонометрии	Дубки		$\frac{215.42}{263.1}$	Красный
Марки и реперы	Реп. 98		$\frac{193.57}{193.2}$	Красный
оп			$\frac{оп\ 27}{205.4}$	Красный
ОВ			$\frac{ОВ\ 48}{215.3}$	Черный
Урез воды			$\frac{УВ\ 12}{189,3:4/\text{VI}}$	Зеленый
Характерные точки местности			$\frac{25}{227.6}$	Черный

Рис. 115. Условные знаки для аэрофотоснимков

Кружки нельзя делать на аэрофотоснимках кронциркулем. Нужно пользоваться специальной палеткой из целлулоида или пластмассы с заранее вырезанным кружком нужного радиуса.

ОП присваивают номера, соответствующие номерам аэрофотоснимков, на которых сделаны наколы. Если на аэрофотоснимке располагается несколько опознаков, то для их различия кроме номера им присваивают литеры, например ОП 215-А и ОП 215-Б.

На оборотной стороне аэрофотоснимка след от накола обводят кружком диаметром около 3 мм. Рядом с кружком делают надпись: «накол ОП 20». Вся оборотная сторона аэрофотоснимка оформляется простым мягким карандашом. На лицевой стороне аэрофотоснимков не должно быть следов продавливания.

В стороне от накола, на свободном месте, составляют абрис. Назначение абриса — правильный последующий перенос накола на другие аэрофотоснимки и негативы, поэтому абрис составляют в масштабе более крупном, чем масштаб аэрофотоснимка. Абрис не ограничивают какими-либо размерами или рамками, местность на нем изображают путем растушевки в тех же тонах и подобии,



Рис. 116. Абрис планового опознака

какие получились на аэрофотоснимке; особенно тщательно должны быть воспроизведены детали ситуации, расположенные вблизи накола, а сам абрис должен быть ориентирован. На абрисе опознак обводится окружностью диаметром около 3 мм. От накола на опознак вычерчивается стрелка (рис. 116). Вблизи абриса дается краткое описание опознака, указывается точность опознавания его на местности, дата опознавания, фамилия и подпись исполнителя (см. рис. 116).

Ряд точек съемочного обоснования (ОП) закрепляют на местности долговременными знаками. Их координаты используют в последующих работах как исходные.

При масштабах съемки 1 : 10 000 и 1 : 25 000 долговременными знаками закрепляют почти все точки съемочного обоснования. Не закрепляют только точки, расположенные на пахотных землях и болотах. На этих угодьях закрепление знаков производить запрещается.

При масштабе съемки 1 : 5000 долговременные знаки закрепляют с таким расчетом, чтобы на каждом съемочном планшете их было не менее трех, включая пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения; при съемке в масштабе 1 : 2000 — не менее одной точки.

Вопросы закрепления на местности точек плановой съемочной сети см. в § 19.

§ 95. МЕТОДЫ И ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНОВЫХ ОПЗНАКОВ

Координаты ОП определяют: проложением теодолитных ходов, простейшими триангуляционными построениями, угловыми засечками, полярным способом, снесе-

нием координат, параллактическим методом, задачей Ганзена, четырехугольниками без диагоналей и различными сочетаниями указанных методов.

Метод триангуляционных построений и угловых засечек применяется в первую очередь в открытых, полузакрытых и предгорных и горных районах. Задачу Ганзена используют преимущественно в поймах рек и горных районах. Четырехугольниками без диагоналей нашли широкое применение преимущественно в районах лесных массивов, на территориях населенных пунктов с прямоугольной системой застройки и на строительных площадках. Теодолитные ходы в основном применяют в равнинных заселенных районах и населенных пунктах при крупномасштабных съемках.

Точность получения координат ОП (съемочного обоснования) зависит от масштаба создаваемой топографической карты.

Координаты каждого ОП для контроля получают из двух различных определений. Расхождения координат x и y , полученных для данного ОП из различных комбинаций, не должны превышать:

0,4 м	—	при	съемке	в	масштабе	1 : 1 000,
0,8 м	—	»	»	»	»	1 : 2 000,
1,7 м	—	»	»	»	»	1 : 5 000,
2,0 м	—	»	»	»	»	1 : 10 000,
5,0 м	—	»	»	»	»	1 : 25 000.

§ 96. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ ТЕОДОЛИТНЫМИ ХОДАМИ

Остановимся только на некоторых особенностях теодолитных ходов при привязке опознаков.

Теодолитные ходы * всех видов должны включать в себя максимальное число ОП.

В практике могут быть случаи (при измерении длин линий хода мерными 20-метровыми лентами), когда ряд последовательных линий хода не могут быть измерены непосредственно и не могут быть определены как неприступные расстояния (нет места для базисов). Такие случаи встречаются на засеянных и нескошенных участках (поля с рожью, пшеницей, кукурузой и пр.).

В этих случаях для определения длин линий используют видимость с точек хода на какой-либо местный предмет, например столб электропередачи. Если такого пред-

* О теодолитных ходах см. § 26—38.

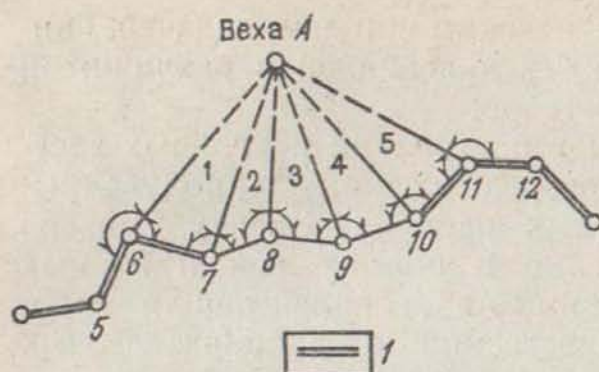


Рис. 117. Особый случай теодолитного хода:

1 — измеренные линии

создаваемой системы (рис. 117). Углы на точках хода в этом случае измеряют двумя круговыми приемами. Углы при местном предмете или вехе получают из треугольников как дополнение до 180° . Желательно, чтобы они были не менее 20° . Контролем полевых

мета нет, то устанавливают специальную веху. Этот местный предмет или веху засекают при измерении углов с точек хода. При этом местный предмет или веха должны быть для контроля засечены и с концов двух непосредственно измеренных линий хода, расположенных в начале и конце

Таблица 46

Вычисление длин линий теодолитного хода

Номер треугольника	Вершина	Угол, градус	К и синус угла	Длина стороны, м	Примечание
1	Веха А	(22,624) *	560,67 0,38468	215,68	Непосредственно измеренная сторона
	7	94,318	0,99716	559,08	
	6	63,058	0,89147	499,82	
		180,000			
...
5	Веха А	(19,966) *	575,45 0,92907	534,63	Непосредственное измерение
	11	68,290	0,34146	196,49	
	10	91,744	0,99954	575,19	
		180,000		196,36	

Абсолютная погрешность 0,13 м.
Относительная погрешность 1:1500.

* Углы получены как дополнение до 180° .

измерений и вычислений служит сходимость стороны последнего треугольника с результатом ее непосредственного измерения.

Решение примера, изображенного на рис. 117, приведено в табл. 46. При этом решение промежуточных треугольников 2, 3 и 4 опущено (см. § 36).

В каждом треугольнике первой выписывают вершину, лежащую против известной стороны, последней — вершину, расположенную против стороны, которая будет исходной при решении следующего треугольника.

При больших расстояниях между ОП (масштабы съемки 1 : 5000 и мельче) допускается вместо проложения теодолитных ходов координаты ОП определять методом полигонометрии с использованием светодальномеров и радиодальномеров. Могут применяться светодальномеры 2СМ-2 и ЕОК 2000; радиодальномеры РДГВ и им равноценные.

При измерении линий нужно руководствоваться инструкциями по эксплуатации свето- и радиодальномеров.

Углы в таких ходах полигонометрии измеряют теодолитами Т5 и Т15 способом приемов (§ 33) двумя приемами.

§ 97. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ МЕТОДОМ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ ПОСТРОЕНИЙ

Определение координат опознаков из триангуляционных построений выполняют путем развития несложных систем и цепочек треугольников. Исходными служат пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения. Углы в треугольниках должны быть не менее 20° , длины сторон — 0,5—5,0 км, но не должны быть

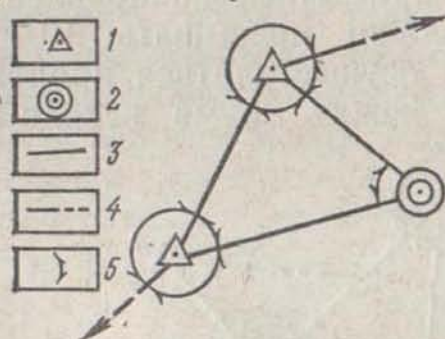


Рис. 118. Схема привязки треугольником:

1 — исходные пункты; 2 — опознаки; 3 — двустороннее направление; 4 — одностороннее направление; 5 — измеряемый угол

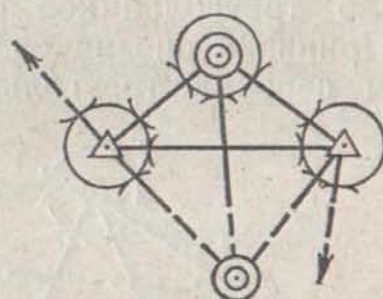


Рис. 119. Схема привязки геодезическим четырехугольником (см. легенду к рис. 118)

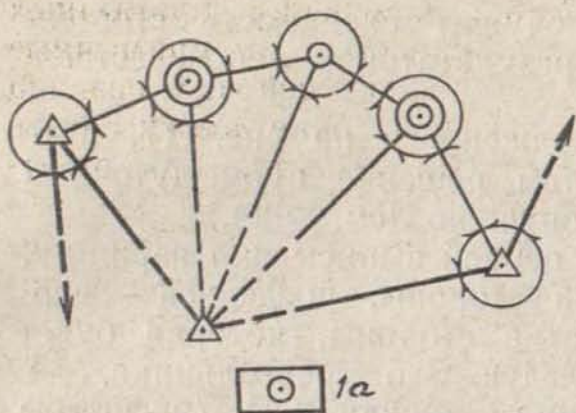


Рис. 120. Схема привязки вставкой в угол:

1a — вспомогательная точка (см. легенду к рис. 118)

короче 150 м. Висячие цепочки, опирающиеся только на одну сторону, не допускаются.

Простейшее из триангуляционных построений — треугольник, две вершины которого являются исходными пунктами (рис. 118). В таком треугольнике измеряют все углы.

Опознаки могут располагаться в двух вершинах геодезического

четырёхугольника (вместо одного из опознаков может быть использована вспомогательная геодезическая точка), а вершинами двух других углов четырёхугольника будут исходные пункты (рис. 119). Углы при одном из опознаков можно не измерять, а получить их как дополнение до 180° суммы измеренных углов.

Опознак или опознаки можно определить вставкой системы треугольников в угол (рис. 120). Углы на среднем пункте можно не измерять. Их получают в каждом треугольнике как дополнение к сумме двух измеренных углов до 180° .

Опознаки могут определяться как вершины треугольников, входящих в цепочки треугольников между двумя исходными сторонами или между исходной стороной и исходным пунктом. Все углы в треугольниках должны быть измерены, а также и примычные направления. Число треугольников не должно превышать 10—15.

Привязка опознаков может осуществляться проложением цепочки треугольников между двумя исходными

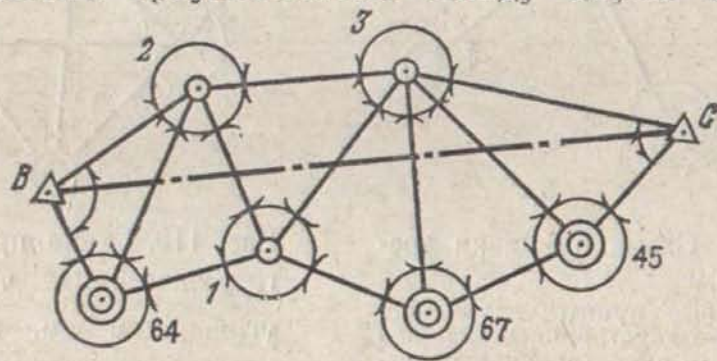


Рис. 121. Схема привязки цепочкой Экгардтера

пунктами (рис. 121) В, С без измерения примычных направлений (если есть возможность, то примычные направления лучше измерять). Такая цепочка названа цепочкой Экгардтера. Все углы в цепочке должны быть измерены. Цепочка Экгардтера применяется при отсутствии видимости примычных направлений. В цепочке (см. рис. 121) точки 1, 2, 3 вспомогательные. При привязке опознаков триангуляционными построениями горизонтальные углы измеряют двумя круговыми приемами. При измерении углов применяют теодолиты Т5, Т15 и Т30 и им равноценные. В первом приеме лимб теодолита ориентируют по магнитному азимуту. Между приемами лимб переставляют на 90° .

Предельно допустимые погрешности при измерении углов указаны в табл. 12.

Невязки в треугольниках не должны превышать $1'$ при измерении углов теодолитом Т5 и $1,5'$ при измерении углов теодолитами Т15 и Т30.

Вычисление координат опознаков, определенных триангуляционными построениями, начинают с подсчета в каждом треугольнике невязок и с распределения невязки поровну между всеми углами треугольников.

Координаты вычисляют по формулам котангенсов углов треугольников (формулам Юнга):

$$x_3 = \frac{x_1 \operatorname{ctg} 2 + x_2 \operatorname{ctg} 1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2};$$

$$y_3 = \frac{y_1 \operatorname{ctg} 2 + y_2 \operatorname{ctg} 1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 2}.$$

При использовании формул Юнга надо правильно нумеровать углы в треугольниках. При неправильной нумерации вычисленные координаты будут неверны. При нумерации углов необходимо пользоваться правилом: угол у пункта, координаты которого вычисляют, в треугольнике должен иметь номер три. Нумерацию углов всегда проводят против часовой стрелки.

Форма и пример вычислений по формулам Юнга приведены в Руководстве [1, с. 159].

В случае геодезического четырехугольника (см. рис. 119) сначала по этим формулам вычисляют координаты одного опознака, а потом дважды — второго. При допустимом расхождении в координатах второго опознака берут среднее значение.

Таблица 47

Распределение невязок

Пункт	Абсциссы x , м			Ординаты y , м		
	вычисленные	поправки	исправленные и исходные	вычисленные	поправки	исправленные и исходные
А			519 289,1			340 014,2
ОП 80	519 756,0	+0,4	519 756,4	344 528,6	—0,2	344 528,4
ОП 156	519 912,7	+0,8	519 913,5	347 926,8	—0,4	347 926,4
С	518 023,8	+1,2	518 025,0	351 443,5	—0,6	351 442,9
	$f_x = -1,2$			$f_y = +0,6$		

Примечание. Координаты исходных пунктов подчеркнуты. Координаты вычисляют до 0,1 м.

При привязке опознаков вставкой в угол (см. рис. 120) и цепочкой треугольников полученные при вычислении невязки координат разбрасывают с обратным знаком нарастающим итогом (пропорционально числу треугольников). Поправки вводят в вычисленные координаты пунктов. Пример (табл. 47) приведен для случая, когда между двумя исходными пунктами А и С проложена цепочка из трех треугольников, вершины которых ОП 80 и 156.

При привязке опознаков методом треугольника (см. рис. 118) и цепочкой Экгардтера (см. рис. 121) все вычисления обязательно проводят в две руки. Иначе вследствие бесконтрольности могут быть грубые просчеты.

§ 98. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ МЕТОДАМИ УГЛОВЫХ ЗАСЕЧЕК

Координаты плановых опознаков очень часто определяют угловыми засечками (прямыми, обратными и комбинированными). Их применяют в любых районах, но преимущественно в открытых, полузакрытых, всхолмленных и горных районах.

Углы при привязке опознаков угловыми засечками измеряют теми же теодолитами по той же программе и с теми же предельно допустимыми погрешностями, что и при привязке опознаков методами триангуляционных построений.

1. *Прямая засечка.* Применяется для определения координат местных предметов с целью сгущения геодезиче-

ского обоснования (получения вспомогательных точек), а значит, и для облегчения привязки опознаков, а также для определения координат вех в закрытых районах. Желательно, чтобы вехи совпадали с опознаками.

Прямая засечка производится не менее чем с трех исходных пунктов (рис. 122). Точность засечки зависит от величин

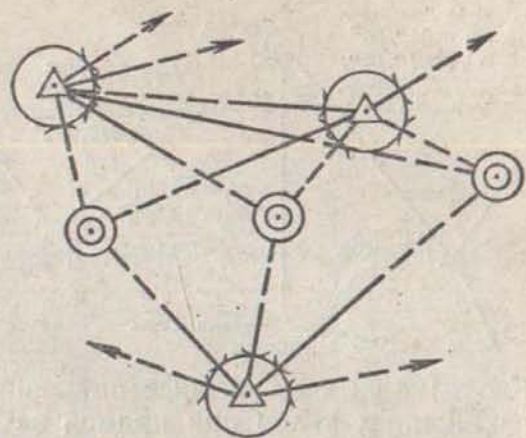


Рис. 122. Схема прямых засечек (см. легенду к рис. 118)

углов, под которыми пересекаются засекаемые направления на определяемой точке, и от расстояний между исходными пунктами с определяемой точкой. Наилучший угол засечки 110° . Засечки под углами менее 30° и более 150° запрещаются. Нежелательны засечки под углами, близкими к 30° .

Для вычисления координат нужны два угла. При этом (это нужно ясно представлять) рассматриваются не углы между смежными направлениями на определяемой точке (они могут быть меньше 30°), а углы, образованные одним направлением (любым) с двумя другими, т. е. углы засечки.

Координаты начинают вычислять с определения дирекционных углов направлений на определяемую точку. Каждый такой дирекционный угол вычисляют дважды от двух разных исходных дирекционных углов примычных направлений и через разные примычные углы. Расхождение между двумя значениями дирекционных углов не должно превышать $0,8'$ ($0,013^\circ$).

За окончательное значение дирекционных углов на определяемую точку берут среднее из полученных двух значений.

Все эти вычисления ведутся на схеме привязки.

Затем выбирают для вычисления координат две наилучшие комбинации засечки. О качестве комбинаций судят по углам засечки, которые получают как разность только что вычисленных дирекционных углов. Величину углов засечек для выбора комбинаций достаточно знать с точностью $\pm 1^\circ$.



Рис. 123. Схема вычисления дирекционных углов при прямой засечке

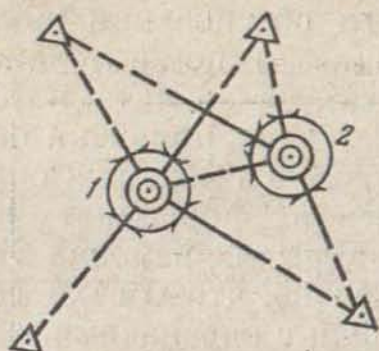


Рис. 124. Схема обратных засечек (см. легенду к рис. 118)

Координаты засекаемой точки вычисляют по формулам тангенсов:

$$x_3 = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + x_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - y_1 + y_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2};$$

$$y_3 = (x_3 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_1 + y_1 = (x_3 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_2 + y_2$$

или котангенсов:

$$y_3 = \frac{y_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 + y_2 \operatorname{ctg} \alpha_2 - x_1 + x_2}{\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2};$$

$$x_3 = (y_3 - y_1) \operatorname{ctg} \alpha_1 + x_1 = (y_3 - y_2) \operatorname{ctg} \alpha_2 + x_2.$$

Если один из дирекционных углов в комбинации (α_1 или α_2) лежит в пределах 345—15 и 165—195°, то следует принимать формулы тангенсов. Если один из дирекционных углов комбинации (α_1 или α_2) лежит в пределах 75—105 и 255—285°, то следует применять формулы котангенсов. Во всех остальных случаях можно вычисления координат выполнять как по формулам тангенсов, так и по формулам котангенсов.

На схеме (рис. 123) два соседних угла между смежными направлениями равны (по разности дирекционных углов) 38 и 50°. Очевидно, что лучшие две комбинации будут под углами 88° (Кашира — Веселый) и 50° (Борода — Веселый). В данном случае координаты можно вычислять по любым формулам. Используем, например, формулы тангенсов (табл. 48).

Средние окончательные координаты выписывают красной тушью. Контрольные значения координат y определяемой точки 3,9 и 3,7 (при решении по формулам котангенсов контрольное значение будет у координат x) могут отличаться от основного значения не более 0,2 м. Кон-

Т а б л и ц а 48

Вычисление координат ОП 62

Название пункта	Дирекцион- ный угол α_1 α_2	x_1 , м x_2 , м x_3 , м	$\operatorname{tg} \alpha_1$ $\operatorname{tg} \alpha_2$ $\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2$	y_1 , м y_2 , м y_3 , м
1. Кашира	61,760°	686 010,6	+1,86187	676 701,4
2. Веселый	333,520°	681 399,0	-0,49815	698 585,6
3. ОП 62		694 310,1	+2,36002	692 154,0
				3,9
1. Борода	23,497°	680 498,5	+0,43475	686 149,0
2. Веселый	333,520°	681 399,0	-0,49815	698 585,6
3. ОП 62		694 310,5	+0,93290	692 153,8
				3,7
Среднее		694 310,3		692 153,9

контрольное значение координат (выписывают только метры и десятые доли их) в выводе средних координат не участвует.

2. *Обратная засечка.* При обратной засечке требуется измерить углы только на определяемой точке (1, 2) (рис. 124). Благодаря этому обратная засечка — наиболее быстрый и самый экономичный метод привязки.

Однако применение обратной засечки возможно лишь тогда, когда с определяемой точки видны четыре исходных пункта, расположение которых отвечает определенным условиям. Три из этих пунктов должны быть пунктами геодезического обоснования, четвертый — контрольный. В качестве последнего можно использовать ранее определенные опознаки и местные предметы. Допускается определение обратной засечки по трем геодезическим пунктам при условии измерения истинного азимута одного из направлений.

Точность определения точки обратной засечкой в большой степени зависит от ее расположения относительно исходных пунктов. Желательно, чтобы определяемая точка лежала внутри треугольника, образованного тремя основными исходными пунктами, или вне треугольника, но против одной из его вершин. Если определяемая точка лежит на окружности, проходящей через основные исходные пункты или вблизи нее, то, как и при решении задачи Потенота в мензуральной съемке, решение задачи становится

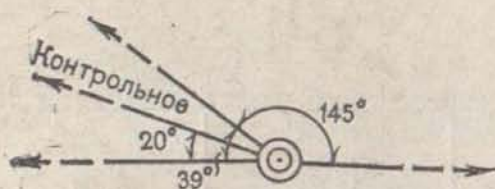


Рис. 125. Схема некачественной обратной засечки

неопределенным. Два соседних угла между смежными направлениями должны быть не менее 30° и не более 150° . Четвертое, контрольное направление особыми угловыми допусками и расположением не обуславливается, но оно

обязательно должно хотя бы с одним из основных направлений образовывать угол засечки в пределах 30° — 150° . Привязка опознака, изображенного на рис. 125, не удовлетворяет этому условию: контрольное направление образует с основными направлениями углы засечки 20° , 19° и 164° . Так привязывать нельзя.

Кроме того, все исходные пункты должны быть достаточно удалены от определяемой точки, независимо от того, наблюдаете ли вы их с определяемой точки или нет.

Начинают вычисления координат определяемого опознака или точки с выбора наилучшей комбинации из трех направлений (это и будут основные направления). На рис. 126 это либо комбинация Веселый—Машки—Стояново или Машки—Стояново—Чаево. Остановимся на первой комбинации, при которой п. Чаево будет контрольным.

Для вычисления координат точки, определяемой обратной засечкой, имеется ряд формул. Наиболее простой и удобный способ вычисления обратной засечки — способ, при котором по формуле Деламбра вычисляют дирекционный угол α одного (первого) направления, а затем по формулам Гаусса получают координаты точки. Хотя бы в одну комбинацию для вычисления координат по формулам Гаусса должно быть включено четвертое, контрольное



Рис. 126. Схема для решения обратной засечки

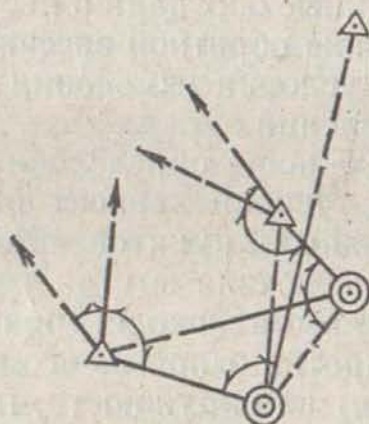


Рис. 127. Схема комбинированных засечек

Таблица 49

Вычисление дирекционного угла α

Номер и название исходного пункта	y_2 , м	β	x_2 , м
	y_1 , м	γ	x_1 , м
	y_3 , м	$\text{ctg } \beta$	x_3 , м
		$\text{ctg } \gamma$	
2. Машки	299 817,1	113,394	165 107,8
1. Веселый	297 048,7	212,347	166 120,0
3. Стояново	298 533,0	-0,43261	163 176,3
Числитель	-5 472,80	+1,57897	
Знаменатель	+6 370,00	$\text{tg } \alpha'_1$	-0,85915
		α'_1	40,668
		α_1	139,332

ное направление. В нашем примере в одну из засечек включен п. Чаево. Это требование обязательное. Иначе отсутствует контроль как полевых измерений, так и вычислений.

Формула Делаμβра

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{(y_2 - y_1) \text{ctg } \beta + (y_1 - y_3) \text{ctg } \gamma + (x_3 - x_2)}{(x_2 - x_1) \text{ctg } \beta + (x_1 - x_3) \text{ctg } \gamma + (y_2 - y_3)}.$$

В выбранной комбинации в вычислениях будут участвовать пункты Веселый (1), Машки (2) и Стояново (3) и два соседних угла $113,394^\circ$ и $98,953^\circ$. За начальное (первое) направление при вычислении по формуле Делаμβра берут левое из трех направлений, в нашем примере направление на п. Веселый. Сам пункт нумеруют первым, а остальные пункты — по ходу часовой стрелки.

Углы обозначают так: угол между 1-м и 2-м пунктом β (в нашем примере он равен $113,394^\circ$), угол между 1-м и 3-м пунктом γ (у нас он равен $212,347^\circ$). И приступают к вычислению дирекционного угла (табл. 49).

Вычисление координат по формулам Гаусса приведено ранее в табл. 48.

3. Комбинированная засечка. Сочетание обратной и прямой засечек называют комбинированной или боковой засечкой (рис. 127).

Этот метод привязки применяют в тех случаях, когда расположение исходных пунктов не удовлетворяет условиям, необходимым для привязки опознаков методом обратной засечки (см. рис. 125), или когда с определяемой точки вообще нет четвертого направления и когда один

из трех исходных пунктов расположен достаточно близко от определяемой точки (не более 1,5—2,0 км).

Третье направление с определяемой точки контрольное. В качестве такового может быть использовано направление на другой опознак или местный предмет.

Два угла при определяемой точке (углы засечки, а не углы между смежными направлениями) должны быть не менее 30° и не более 150° .

Вычисление координат начинают на схеме. По измеренным примычным углам на исходном пункте, с которого выполнена засечка определяемой точки, дважды (как в прямой засечке) вычисляют дирекционные углы на определяемую точку. Расхождения между двумя полученными значениями дирекционного угла не должны превышать $0,8'$ ($0,013^\circ$). По среднему значению дирекционного угла на точку и по измеренным на ней углам вычисляют дирекционные углы двух остальных направлений с определяемой точки. Пользуясь дирекционными углами, выбирают две наилучшие комбинации засечек для вычисления координат.

Координаты вычисляют по формулам Гаусса аналогично вычислениям, приведенным в табл. 48.

4. *Линейная засечка.* При использовании свето- и радиодальномеров можно осуществлять привязку опознаков линейными засечками. Для этого с определяемой точки измеряют расстояния до трех исходных пунктов геодезической сети. Углы при определяемой точке желательно иметь по величине близкие 90° (см. [4]).

§ 99. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ ПОЛЯРНЫМ МЕТОДОМ.

Этот метод привязки опознаков применяют, если опознак расположен на близком расстоянии (обычно не превышающем 200—250 м) от пункта геодезического обоснования или от самостоятельно определенной точки ВТ (рис. 128).

Случай, показанный на рис. 128, а, применяют тогда, когда угол, измеренный на опознаке, по величине находится в пределах 60° — 120° и второй пункт, видимый с опознака, определен уверенно.

Вычисление начинают на схеме (рис. 129). Дважды от разных исходных дирекционных углов и через разные примычные углы вычисляют дирекционный угол измеряемой линии и берут его среднее значение (расхождение

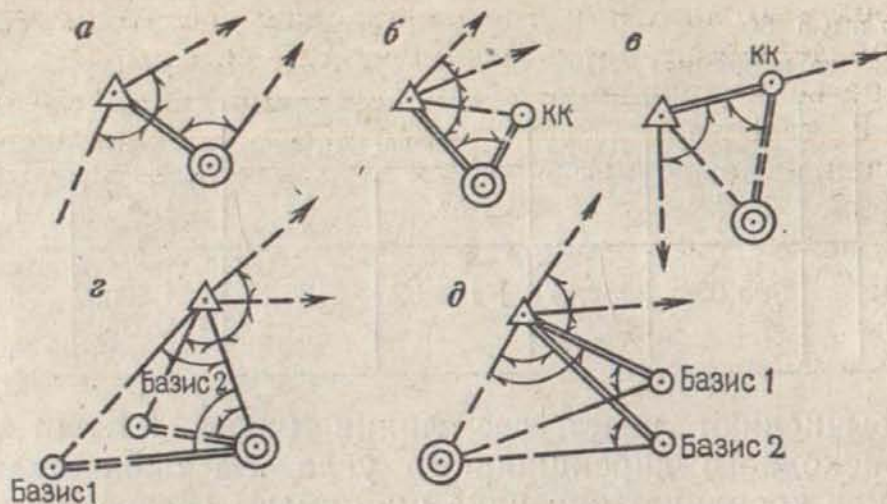


Рис. 128. Схема полярного метода привязки

между двумя значениями не более $0,8'$). Далее через угол на опознаке получают дирекционный угол со второго исходного пункта на опознак.

Решением прямой задачи вычисляют координаты опознака. Вычисление координат для случаев, приведенных на рис. 128, а приведено в табл. 50. Для контроля (см. рис. 128, а) вторично координаты опознака вычисляют по формулам Гаусса, используя направление с опознака на исходный пункт (см. табл. 48).

В случаях, показанных на рис. 128, б, в, надо стремиться к равнобедренным треугольникам и не допускать углов менее 30° . Контрольный кол (КК) рекомендуется выставлять в створе одного из примычных направлений, если это, конечно, возможно (это сокращает объем работ).

Вычисление этих случаев привязки начинают с решения треугольника по форме, приведенной в табл. 17. Не измеренную в треугольнике сторону вычисляют независимо дважды, каждый раз от разных измеренных сторон для контроля полевых измерений и вычислений. Предельная относительная погрешность должна быть не более $1 : 1000$.

Далее дважды независимо вычисляют координаты опознака (см. табл. 50). Один раз их вычисляют через одну линию от одного исходного дирекционного угла, второй



Рис. 129. Схема для вычисления привязки «усом»

Т а б л и ц а 50

Вычисление координат ОП

Пункт	Угол β	Дирекционный угол α	Длина линий s , м	Приращение координат, м		Координаты	
				Δx	Δy	x , м	y , м
ВТ ОП		305,624°	232,32	+135,32	-188,84	164 490,6	295 130,8
ОП						164 625,9	294 942,0

раз вычисляют через две линии (через КК) от другого исходного дирекционного угла. За окончательное значение координат опознака принимают среднее из двух полученных значений.

В случаях, показанных на рис. 128, *г*, *д*, базисы должны быть самостоятельные. Противобазисные углы в треугольниках должны быть не менее 20°, когда они непосредственно измеряются (см. рис. 128, *г*) и не менее 30°, когда их непосредственно не измеряют (см. рис. 129, *д*).

Вычисление этих случаев начинают с решения треугольников по форме, приведенной в табл. 17.

Затем дважды независимо (как точки теодолитного хода) по форме, приведенной в табл. 50, вычисляют координаты опознака. Один раз — через одну линию, полученную как среднюю из решений треугольников, от одного из исходных дирекционных углов примычных направлений, второй раз — через одну из базисных точек (любую из двух) от другого исходного дирекционного угла. За окончательные значения координат опознака принимают среднее из двух полученных.

§ 100. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ МЕТОДОМ СНЕСЕНИЯ КООРДИНАТ

В этом методе привязки с определяемой точки кроме наблюдения на исходный пункт, с которого проводят снесение координат, необходимо видеть и наблюдать еще два пункта (рис. 130). Одно из этих двух направлений контрольное, для него может быть использована видимость на имеющий координаты опознак или местный предмет. Три направления с определяемой точки по этому методу никакими условиями не связаны, а углы между ними могут быть любой величины.

Этот метод привязки применяют тогда, когда определяемая точка расположена вблизи исходного пункта (см.

§ 99), но на пункте нельзя установить теодолит (пункт — местный предмет, вежа на дереве и т. п.) или когда углы между направлениями не позволяют выполнить ни одну из угловых засечек, или когда доступ к пункту затруднителен (пункт расположен на другом берегу реки).

Лимитируют применение этого метода величина базисов и наличие мест для их разбивки. Расстояние от определяемой точки до пункта, с которого проводят снесение, определяют как неприступное. Для этого от определяемой точки разбивают два базиса (см. рис. 130). Базисы должны быть самостоятельными и различаться по величине. Кроме того, они должны быть такой величины, чтобы меньший из них обеспечивал величину угла при пункте не менее 25° . При расстоянии до пункта 300 м требуются базисы уже достаточно большие (порядка 130—140 м). Прибазисные углы в треугольниках должны быть не менее 50° .

Расстояние от ОП 71 до п. Дубок (см. рис. 130) определяют из двух треугольников как неприступное (см. табл. 17). Относительная погрешность определения расстояния должна быть не более 1 : 1000.

Затем необходимо вычислить дирекционный угол этого расстояния. Для этого надо решить две обратные геодезические задачи. Из их решения (см. табл. 15) находим стороны и дирекционные углы между исходными пунктами Дубок—Машки и Дубок—Новое. В каждой задаче обязательно участвует пункт, с которого выполняют снесение координат.

Затем решают два треугольника: п. Дубок — ОП 71 — п. Машки и п. Дубок — ОП 71 — п. Новое. В каждом из них известны две стороны (обе вычислены) и один угол (измерен). Из решения этих треугольников находим углы при пунктах Машки и Новое. Эти углы обычно малые. Как дополнение до 180° находим в этих треугольниках углы при п. Дубок. Используя углы при п. Дубок, дважды

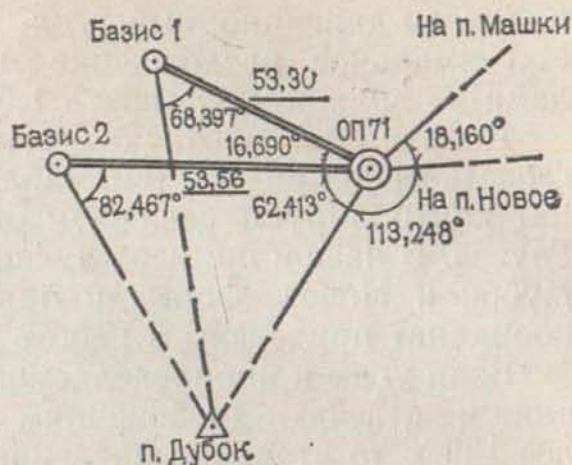


Рис. 130. Схема метода снесения координат

получаем дирекционный угол стороны п. Дубок — ОП 71. Максимальное расхождение между дирекционными углами не должно превышать $1,5'$ ($0,025^\circ$).

Координаты опознака вычисляют решением прямой геодезической задачи (см. табл. 50). Вычисление координат контролируют решением одной засечки по формулам Гаусса. В нашем примере лучшая засечка будет с пунктов Дубок и Новое. Форма и пример вычислений снесения координат приведены в работе [1, с. 155].

Если углы при определяемой точке (опознаке) по величине не отвечают требованиям засечки (менее 30° или более 150°), то второе вычисление координат опознака проводят методом теодолитного хода через одну (любую) из базисных точек.

§ 101. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сущность метода заключается в совместном построении, измерении и вычислении двух неприступных расстояний с использованием в треугольниках малых углов (рис. 131). Этот метод привязки применим даже тогда, когда с опознака не видно ни одного исходного пункта. В отдельных случаях параллактический метод незаменим.

Базисы разбивают по возможности на одинаковых расстояниях от пункта и опознака. Базисы должны быть самостоятельны и различны по длине. Величина меньшего базиса должна обеспечивать параллактические (малые) углы на пункте и опознаке не менее 15° при измерении их теодолитом Т30, 12° — теодолитом Т15 и 8° — теодолитом Т5.

Базисные углы должны быть не менее 50° .

Параллактические углы измеряют четырьмя приемами, остальные, как обычно, — двумя.

Вычисление координат опознака начинают с решения всех четырех треугольников. Форма решения приведена в табл. 17. Относительная погрешность дважды вычисленных сторон должна быть не более $1 : 1000$. Затем вычисляют два теодолитных хода (по форме, приведенной в табл. 50) от двух различных примычных дирекционных углов: один — через общую точку базисов, второй — через одну (любую) базисную точку. За окончательные значения координат опознака принимают среднее из двух полученных.

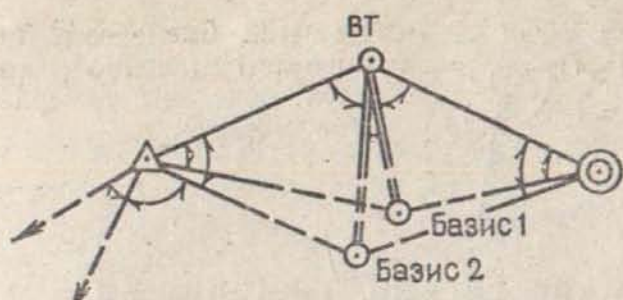


Рис. 131. Схема параллактического метода привязки

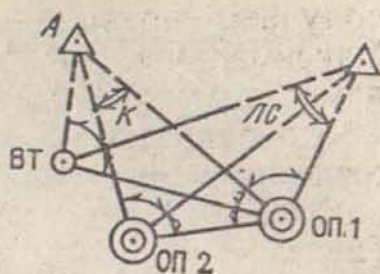


Рис. 132. Схема привязки методом задачи Ганзена

§ 102. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ ЗАДАЧЕЙ ГАНЗЕНА

В данном методе углы измеряют только на опознаках и вспомогательных (контрольных) точках. Линейных измерений нет. Метод нетрудоемкий и выгодный. Лимитирует его применение наличие видимостей между опознаками.

Стороны между опознаками по величине должны стремиться к расстоянию между исходными пунктами A и B (рис. 132) и должны составлять не менее половины этого расстояния.

Этот метод привязки нашел широкое применение в поймах рек и в горных районах.

Точность определения координат зависит в основном от углов K и $ЛС$ (см. рис. 132), под которыми образуемые стороны (ОП 1—ОП 2 и ОП 1—ВТ) видны с исходных пунктов A и B . Эти углы должны быть не менее 30° при привязке опознаков для съемки масштаба $1 : 10\,000$, не менее 37° — для масштаба $1 : 5000$ и не менее 45° — для масштаба $1 : 2000$.

Определяемые точки (опознаки) и вспомогательные (контрольные) надлежит располагать так, чтобы во всех шести треугольниках, образованных наблюдаемыми направлениями и исходной стороной AB , не было углов менее 20° .

Вспомогательную точку (ВТ) нужно располагать от определяемой (ОП 2) не ближе 40—50 м.

Уверенность в правильности определения исходных пунктов в этом методе должно быть абсолютной, так как задача графически не проверяется.

Решение задачи Ганзена подробно приведено в работе [1, с. 158].

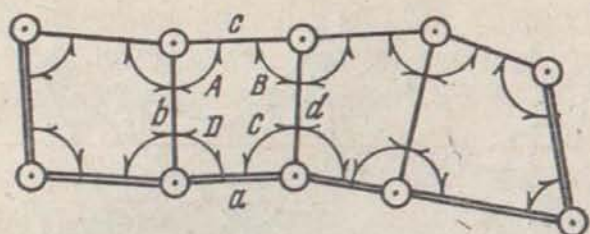


Рис. 133. Схема сети Зубрицкого (двойной линией показаны измеряемые стороны)

§ 103. ПРИВЯЗКА ОПОЗНАКОВ СЕТЯМИ, СОСТОЯЩИМИ ИЗ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКОВ БЕЗ ДИАГОНАЛЕЙ (СЕТИ ЗУБРИЦКОГО)

Сущность метода заключается в построении четырехугольников, примыкающих один к другому, в которых измеряют все четыре угла и одну из сторон. Для решения и контроля в первом и последнем четырехугольниках сети измеряют длины не одной, а двух смежных сторон (рис. 133).

Очевидно, что в такую сеть должны быть включены исходные пункты или должна быть выполнена специальная привязка к ним (например, теодолитным ходом).

Этот метод привязки удобен в закрытых лесоустроенных районах и в населенных пунктах, особенно когда для измерения линий используют свето- и радиодальномеры.

Наибольшая точность сторон получается в четырехугольниках, близких по форме к квадрату.

Вычисление сети производят в такой последовательности. Сначала вычисляют стороны четырехугольников, входящих в сеть. Распределив угловую невязку каждого четырехугольника поровну между всеми четырьмя углами, стороны c и d (см. рис. 133) вычисляют по формулам

$$c = [a \sin C + b \sin (A + B)] \operatorname{cosec} B;$$

$$d = [b \sin A + a \sin (B + C)] \operatorname{cosec} B.$$

Невязки в четырехугольниках не должны превышать $1,7'$ ($0,028^\circ$).

Пример вычисления сторон сети четырехугольников помещен в Руководстве [1, с. 159—160].

Координаты вычисляют методом теодолитного хода.

§ 104. СОЧЕТАНИЕ МЕТОДОВ

Довольно часто в практике привязки опознаков применяют не один какой-либо метод, а комбинации и сочетания рассмотренных нами методов (рис. 134). Особенно часто комбинируют различные способы привязки опознаков с полярным методом. С полярным методом можно со-

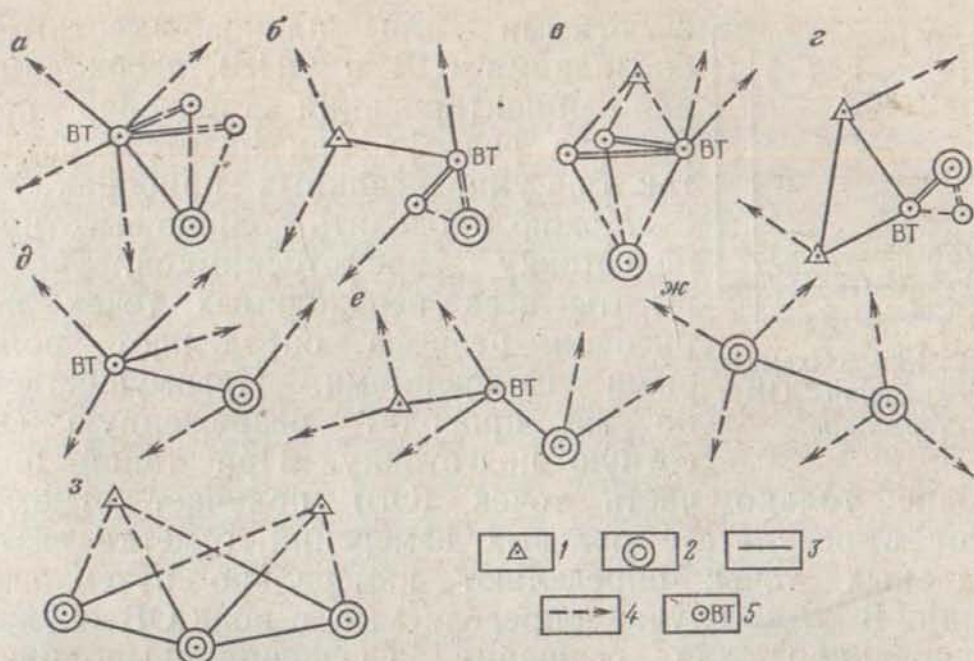


Рис. 134. Схемы сочетания различных методов привязки опознаков:

1 — исходный пункт; 2 — опознак; 3 — двустороннее направление; 4 — одностороннее направление; 5 — вспомогательная точка

четать любую засечку (рис. 134, а, б), снесение координат (рис. 134, в), любой из методов триангуляционных построений (рис. 134, г) и т. д.

Можно сочетать обратную и боковую засечки (рис. 134, д), боковые засечки (рис. 134, е), обратные засечки (рис. 134, ж). В случае комбинации обратных засечек расстояние между определяемыми точками должно быть достаточно большим (не менее 0,5—1,0 км).

Можно комбинировать и с задачей Ганзена. На рис. 134, з показана так называемая двойная задача Ганзена. При ее применении вспомогательная (контрольная) точка не нужна.

II. ПРИВЯЗКА ВЫСОТНЫХ ОПОЗНАКОВ

§ 105. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ВЫСОТНОЙ ПРИВЯЗКИ ОПОЗНАКОВ

Для обеспечения высотной основы при создании карты камеральным путем (при стереотопографическом методе топографической съемки) аэрофотоснимки должны иметь определенное число точек, высоты которых определяют полевыми измерениями. Эти точки, называемые

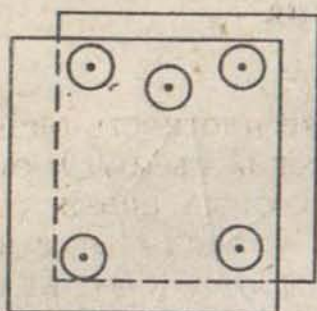


Рис. 135. Схема расположения ОВ на стереопаре

высотными или планово-высотными опознаками (ОВ и ОПВ), необходимы для ориентирования стереопар при рисовке рельефа как на стереометре, так и на универсальных приборах.

Можно проводить полную высотную подготовку аэрофотоснимков, когда высоты всех необходимых точек для рисовки рельефа определяют полевыми измерениями. Преимущественно же проводят разреженную высотную подготовку. При такой подготовке только часть точек (ОВ) получает отметки высот в результате полевых измерений, отметки высот остальных точек определяют камерально путем сгущения. В этом случае определяемые в поле ОВ служат обоснованием для сгущения. Сгущение выполняют методом пространственного фототриангулирования на универсальных приборах или аналитически при помощи ЭВМ. Выбор варианта полной или разреженной подготовки по определению высот опознаков зависит от масштаба фотографирования, высоты сечения рельефа и характера участка съемки.

При топографических съемках с высотой сечения рельефа 0,25 м всегда, а при высоте сечения рельефа 0,5 и 1,0 м в ряде случаев выполняют полную высотную подготовку. Для этого каждая стереопара должна иметь пять высотных опознаков (рис. 135). При топографической съемке в масштабе 1 : 10 000 на каждую стереопару необходимо четыре ОВ.

Точки высотного обоснования, где это возможно, совмещаются с точками планового обоснования. При этом может возникнуть необходимость определения координат высотных опознаков для вычисления расстояний, а по ним превышений.

Работы по привязке (получению высот) высотных опознаков при разреженной подготовке выполняют в той же последовательности, что и плановых опознаков: 1) составляют проект размещения ОВ; 2) маркируют ОВ, если это необходимо; 3) проводят опознавание ОВ, оформление их на аэрофотоснимках и закрепление на местности, если последнее требуется; 4) выполняют геодезические измерения на местности; 4) вычисляют высоты опознаков и составляют каталоги; 6) оформляют материалы привязки.

§ 106. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА РАЗМЕЩЕНИЯ И МАРКИРОВКА ОБ

При разреженной высотной подготовке плотность опознаков зависит от масштаба топографической съемки и от принятой высоты сечения рельефа. Высотные опознаки должны располагаться попарно, по обе стороны от оси маршрута, в зонах поперечного перекрытия соседних маршрутов.

При топографических съемках в масштабе 1 : 25 000 с высотой сечения рельефа 10 м, в масштабе 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа 5 м и при съемках в масштабе 1 : 5000 и крупнее с высотой сечения рельефа 2 и 5 м высотные опознаки совмещают с плановыми и дополнительные высотные опознаки не определяют.

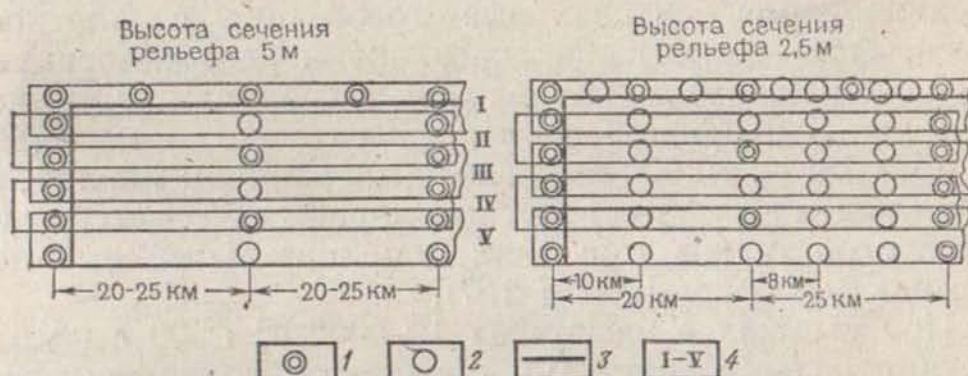


Рис. 136. Схема расположения высотных опознаков при съемке в масштабе 1 : 25 000:

1 — планово-высотный опознак (ОПВ); 2 — высотный опознак (ОВ); 3 — граница съемки; 4 — номера маршрутов

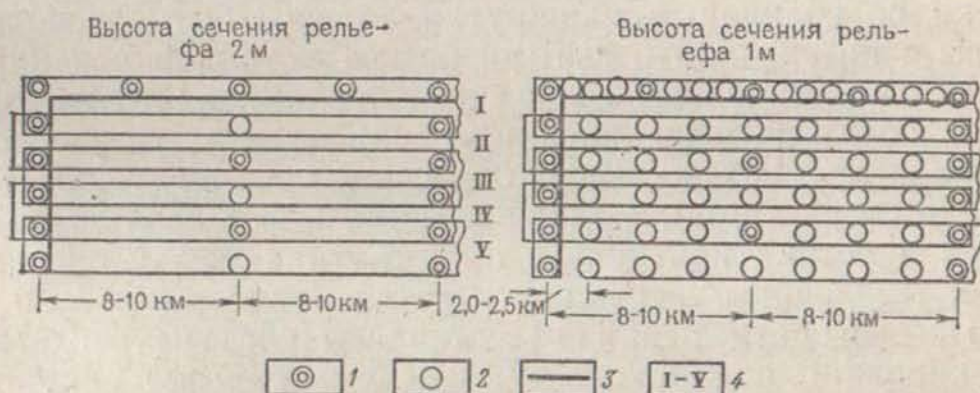


Рис. 137. Схема расположения высотных опознаков при съемке в масштабе 1 : 10 000:

1 — планово-высотный опознак (ОПВ); 2 — высотный опознак (ОВ); 3 — граница съемки; 4 — номера маршрутов



Рис. 138. Схема расположения высотных опознаков при съемке в масштабах 1 : 5000—1 : 500 (ОПВ и ОВ показаны одним условным знаком)

Расстояние между рядами высотных опознаков в направлении маршрутов предусмотрено:

при съемке в масштабе 1 : 25 000 с высотой сечения рельефа 5 м — 20—25 км; с высотой сечения рельефа 2,5 м — 8—10 км (рис. 136);

при съемке в масштабе 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа 2 м — 8—10 км; с высотой сечения 1 м — 2,0—2,5 км (рис. 137);

при съемках в масштабах 1 : 5000—1 : 500 с высотой сечения рельефа 0,5 и 1 м — 2,0—2,5 км (рис. 138).

Кроме того, в случаях разреженной высотной подготовки предъявляются специальные требования к плотности обеспечения высотными опознаками аэрофотоснимков крайних маршрутов, параллельных границам снимаемого участка. Так, при топографических съемках в масштабах 1 : 25 000 и 1 : 10 000 по свободным границам участка, параллельным аэрофотосъемочным маршрутам, дается между рядами опознаков еще один дополнительный высотный опознак (см. рис. 136 и 137).

При съемках в масштабах 1 : 5000—1 : 500 с высотой сечения рельефа 0,5 и 1 м проводится полная высотная подготовка аэрофотоснимков граничных маршрутов (каждая стереопара обеспечивается пятью высотными опознаками); с высотой сечения рельефа 2 м каждую стереопару по наружному краю обеспечивают двумя высотными опознаками; с высотой сечения рельефа 5 м высотные опознаки по граничным маршрутам должны быть расположены с интервалом в два-три базиса фотографирования.

При высотной подготовке аэрофотоснимков (что должно быть предусмотрено проектом) определяют урезы вод в реках, ручьях и водоемах (вдоль рек через каждые 10—15 см на карте), а также отметки высот характерных точек и четких контуров в промежутках между опознаками (седловины, вершины, пересечения дорог и т. п.).

Проекты размещения ОВ составляют (когда не требуется маркировка) по накидному монтажу аэрофотоснимков с использованием топографических карт и оформляют на репродукциях накидного монтажа.

В качестве высотных опознаков в первую очередь должны быть использованы пункты планового геодезиче-

ского обоснования, пункты сетей сгущения, реперы нивелирования всех классов и плановые опознаки.

На аэрофотоснимках намеченные зоны для выбора опознаков отмечают мягким черным карандашом (в виде эллипса). На репродукции накидного монтажа намеченные опознаки отмечают черной тушью; пункты планового обоснования — равносторонними треугольниками со стороной 5 мм, нивелирные знаки — квадратами со стороной 5 мм, высотные опознаки — одинарными окружностями диаметром 3 мм.

Маркируются высотные опознаки так же, как и плановые (см. § 93).

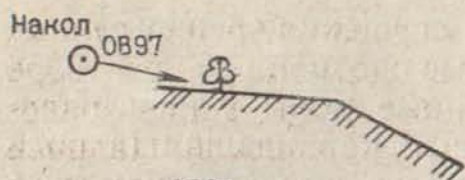
§ 107. ОПОЗНАВАНИЕ, ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ОПОЗНАКОВ

Опознавание высотных опознаков заключается, как и опознавание плановых опознаков, в выборе четко изобразившейся на аэрофотоснимке точки (контура) и в нахождении на местности идентичной точки (контура). В качестве ОВ, как и ОП, используют только такие точки (контуры) на аэрофотоснимках, которые отчетливо изобразились на всех перекрывающихся снимках как данного, так и соседнего маршрута.

Для плановых опознаков большое значение имеет плановая точность опознавания и накола. Для высотных опознаков решающим при опознавании точек на местности и их отождествлении на снимках является погрешность последующего определения высоты. Опознавание высотных опознаков не должно приводить к погрешности в высоте более 0,1 высоты сечения рельефа, поэтому высотные опознаки рекомендуется выбирать на равнинных участках и запрещается их выбор на крутых склонах.

В качестве высотных опознаков могут быть использованы точки и контуры, пригодные в качестве плановых опознаков, а также объекты, не пригодные в качестве ОП: разъезженные на местности углы сельскохозяйственных угодий, углы закругленные, острые и тупые, отдельные деревья и большие кусты, и, наконец, характерные точки рельефа, просматриваемые на аэрофотоснимке стереоскопически (вершины отдельных возвышенностей, слияние оврагов, седловины и т. д.).

Опознанную точку на аэрофотоснимке накалывают тонкой иглой, на обороте аэрофотоснимка накол обводят



Опознана западная сторона
отдельного куста на пашне.
Высота куста 2,5 м, диаметр
5 м. Высота посева 0,4 м

Опознал 16.06.82 г.

Тумаков

Рис. 139. Профиль высотного
опознака

составляют абрис в тонах, соответствующих тонам аэрофотоснимка. Профиль составляют по направлению склона (рис. 139). На свободном месте дают краткое описание опознанной точки и указывают высоту окружающей ее растительности (см. рис. 139).

На лицевой стороне аэрофотоснимков высотные точки оформляют так:

а) высотные опознаки (ОВ) — кружками черной тушью радиусом 0,5 см, справа от которых той же тушью пишут в числителе номер опознака, в знаменателе — отметку земли (см. рис. 115);

б) урезы вод (УВ) — кружками зеленой тушью радиусом 0,5 см, справа от которых той же тушью подписывают в числителе порядковый номер, в знаменателе — отметку уреза воды и дату его определения (см. рис. 115);

в) характерные точки местности — кружками черной тушью радиусом 0,3 см, справа от которых той же тушью пишут в числителе порядковый номер, в знаменателе — отметку земли (см. рис. 115).

Отметки земли округляют до 0,1 м. Оформление других точек см. в § 94.

На репродукциях накидного монтажа опознаки оформляют теми же условными знаками, но уменьшенными вдвое. Подписывают на них только номера опознаков, реперов и названия пунктов. Для большей наглядности условные знаки на репродукциях рекомендуется заливать тушью.

Высотные опознаки закрепляют такими же долговременными знаками, как и плановые (см. § 19). Кроме того, для закрепления высотных опознаков целесообразно использовать выступы крупных камней, фундаменты опор

кружком мягким карандашом. Рядом с кружком подписывают номер опознака (см. § 94).

Недалеко от накола на обратной стороне аэрофотоснимка показывают профиль местности и на нем опознанную точку. В случае необходимости (если нахождение опознанной точки на аэрофотоснимке вызывает затруднение) дополнительно

линий электропередач, устой мостов и т. п. В этих случаях точка фиксируется закладкой на цементном растворе металлических стержней, болтов, костылей. Такие долговременные знаки подписывают масляной краской. Надпись состоит из начальных букв организации, выполняющей работы, и номера точки, например ГУГК. Вр. рп. 14.

§ 108. МЕТОДЫ И ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ОПОЗНАКОВ. НИВЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ЛУЧОМ

Предельная погрешность в определении высот опознаков не должна превышать 0,3 принятой высоты сечения рельефа. Методы определения высот зависят от принятой высоты сечения рельефа.

Высоты опознаков при съемках с высотой сечения 0,25; 0,5; 1 м, а в равнинных районах с высотой сечения 2 м определяют геометрическим нивелированием; при съемках всхолмленных, предгорных и горных районов с высотами сечения рельефа 2,5 и 10 м — тригонометрическим нивелированием.

Высоты опознаков определяют преимущественно продолжением ходов нивелирования: геометрического (техническое нивелирование) при помощи нивелира, нивелированием горизонтальным лучом при помощи теодолита, тахеометра и кипрегеля и тригонометрического (наклонным лучом) при помощи теодолита. В районах, где для продолжения ходов требуется рубка большого числа просек или где высотная подготовка ограничивается определением высот плановых опознаков, высоты допускается определять по сторонам триангуляционных построений и засечек.

Нивелирование горизонтальным лучом при помощи теодолита и кипрегеля применяют в плоскоравнинных и равнинно-пересеченных районах при съемке с высотой сечения рельефа 2 м.

Методика технического нивелирования подробно изложена в § 49.

Методика геометрического нивелирования горизонтальным лучом с помощью теодолита и кипрегеля мало чем отличается от методики технического нивелирования.

Это нивелирование выполняют теодолитом или кипрегелем с уравнивателями на зрительной трубе. Ходы прокладывают между пунктами геодезического обоснования точками съемочной сети и вспомогательными точками, высота которых определена геометрическим нивелированием.

Длина ходов допускается не свыше 16 км, длина луча не должна превышать 250 м. Прибор должен быть удален от реек по возможности на равные расстояния. Расстояния измеряют нитяным дальномером и записывают в журнал (без записи отсчетов). Рейки применяют шашечные двухсторонние. Допускается использование и односторонних реек. Последовательность работы на станциях и допуски в расхождении двух значений превышений те же, что и при выполнении технического нивелирования. Журнал обычной формы Н-3.

Невязки в ходах не должны превышать $\pm 100 \text{ м } \sqrt{L}$, где L — длина хода в километрах.

§ 109. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОПОЗНАКОВ МЕТОДОМ ПРОЛОЖЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ХОДОВ

Если привязка опознаков осуществляется теодолитными ходами, то высоты на них передают измерением вертикальных углов по линиям хода.

Методика работ, допуски и формы вычислений и уравнивания превышений и высот по определению высот опознаков при проложении теодолитных ходов подробно изложены в гл. 6.

Здесь рассмотрим методику проложения высотных ходов. Высотные ходы, прокладываемые методом тригонометрического нивелирования, выполняют обычными теодолитами Т5, Т15 и Т30 и номограммными тахеометрами и кипрегелями ТА-2, КА-2, КН. Вертикальные углы измеряют одним приемом при двух положениях вертикального круга. При работе с номограммными приборами превышения определяют дважды по двум сторонам реек. При этом для определения превышений разрешается пользоваться только кривой с самым малым коэффициентом (± 10).

Рейки применяют, как правило, шашечные, двухсторонние, трехметровые. Рейки устанавливают на костыли, башмаки или на вбитые вровень с поверхностью земли деревянные колышки (диаметром 2—3 см, длиной 8—10 см). Если в ходах углы наклона более 5° , то рейки должны иметь уровень для их установки.

Предельные длины высотных ходов приведены ниже:

<i>Высота сечения рельефа, м</i>	<i>Допустимая длина хода, км</i>
2,0	9
5,0 и 10,0	30

При проложении системы ходов с узловыми точками длина хода должна быть сокращена. Предельная длина хода от исходного пункта до узловой точки меньше на 25 %, а между узловыми точками — на 50 %.

Расстояние между точками, как правило, определяют нитяным дальномером, используя крайние (дальномерные) штрихи сетки нитей. Расстояние между точками хода не должно быть более 250 м при съемке с высотой сечения рельефа 2,0 (2,5) м и при съемке с высотой сечения рельефа 5 м и более.

В горных и высокогорных районах работ следует линии хода измерять по горизонтальной рейке при помощи дальномерных насадок двойного изображения или применять радио- и светодальноммеры. В этих случаях стороны хода могут быть увеличены до 700 м.

На участках с углами наклона линий не более 3° и при хорошей видимости длины линий могут быть увеличены до 1000 м.

Высотные ходы можно прокладывать с установкой прибора в каждой точке и через точку хода.

Установка прибора через точку разрешается, если углы наклона линий меньше 5° , а в горных и высокогорных районах — если углы наклона линий хода менее 10° . Каждое превышение в таких ходах определяют дважды в одном направлении при наведении основного горизонтального штриха сетки нитей прибора на два различных деления рейки. Деления при этом должны отстоять одно от другого не менее чем 1 м.

Если в ходе, прокладываемом через точку, встречаются стороны с углами наклона более 5° или стороны, по длине близкие к предельной, или луч зрения проходит вблизи поверхности земли, то превышения по таким сторонам определяют в прямом и обратном направлениях с установкой прибора в каждой точке хода. (Допустимое колебание места нуля см. в § 33.)

Расхождение между двумя значениями превышения, измеренными в одном направлении (в ходах, прокладываемых через точку) и между прямым и обратным превышением (в ходах с установкой прибора в каждой точке), должно быть не более 10 см при длинах сторон до 250 м и 4 см на каждые 100 м при длинах сторон, больших 250 м.

Запись в журнале при проложении высотного хода через точку с измерением вертикальных углов теодолитом Т15 приведена в табл. 51.

№ ст. № нб.	15 14	H_n H		№ ст. № нб.	15 ОВ 48.	H_n H	
D	194	$h_{ср}$	+3,64	D	172	$h_{ср}$	-4,34
v	+1° 23,0'		+1° 39,2'	v	-1° 06,4'		-0° 47,0'
КП	178° 37,5'		178° 21,4'	КП	181° 07,0'		180° 47,5'
МО	0° 00,5'		0° 00,6'	МО	0° 00,6'		0° 00,5'
КЛ	1° 23,5'		1° 39,8'	КЛ	358° 54,2'		359° 13,5'
	—	i	—		—	i	—
	+4,68	h'	+5,59		-3,32	h'	-2,35
	-1,00	v	-2,00		-1,00	v	-2,00
	+3,68	h	+3,59		-4,32	h	-4,35

Если прокладывается высотный ход с установкой прибора в каждой точке или если возникает необходимость определения прямого и обратного превышений по стороне или сторонам высотного хода, прокладываемого через точку, то форма журнала и записи остаются те же. Прибавляются только измерение и запись высоты прибора (i). Среднее превышение выводят в этом случае из прямого и обратного превышений и записывают там, где должна быть запись прямого превышения.

Формулы превышений, определяемых способом тригонометрического нивелирования, приведены в § 33.

При вычислении превышений на микрокалькуляторе рекомендуется пользоваться формулой

$$h' = s \operatorname{tg} v,$$

при этом наклонное расстояние $D = Kl$ нужно предварительно привести к горизонту по формуле

$$s = D \cos^2 v.$$

Уравнивание превышений и вычисление высот опознаков проводят в ведомостях вычисления высот точек высотного хода, помещенных в тех же журналах. Длины сторон выписывают с округлением до 0,01 км.

Пример вычисления высот опознаков, определенных высотными ходами, приведен в Руководстве [1, с. 176].

§ 110. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОПОЗНАКОВ ПО СТОРОНАМ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ ПОСТРОЕНИЙ И ЗАСЕЧЕК

Для измерения вертикальных углов (или зенитных расстояний) при передаче высот на опознаки по сторонам триангуляционных построений или засечек применяют

Таблица 52

Элементы измерений	Допуск при работе теодолитом		
	T5	T15	T30
Число приемов	2	2	2
Колебание места нуля	0,35'	0,5'	1,5'
Расхождение значения угла из разных приемов	0,35'	0,5'	1,5'

Таблица 53

Вычисление превышений

Направление	u , м	v	s , м	$s \operatorname{tg} v$, м	$(t-u)$, м	$+f$, м	h , м
-------------	---------	-----	---------	-----------------------------	-------------	----------	---------

$$BT \ 1 \ i = 1,53 \text{ м}$$

П. Мешки	26,93	$+1,500^\circ$	1666	$+43,63$	$-25,40$	$+0,19$	$+18,42$
ОП 71	5,96	$+0,280^\circ$	1442	$+7,05$	$-4,43$	$+0,14$	$+2,16$
ОП 94	7,18	$+0,287^\circ$	1985	$+9,94$	$-5,65$	$+0,26$	$+4,55$
П. Розово	16,12	$+1,550^\circ$	618	$+16,72$	$-14,59$	$+0,03$	$+2,16$

Примечание. $s \operatorname{tg} v$ вычислены на микрокалькуляторе.

те же теодолиты, что и при определении координат (T5, T15 и T30). Стороны при измерении вертикальных углов не должны превышать 12 км. Число приемов и допуски при измерениях приведены в табл. 52.

Вертикальные углы измеряют в периоды достаточно четких изображений, исключая время, близкое к восходу и заходу солнца (в пределах двух часов).

При определении высот опознаков по сторонам триангуляционных построений вертикальные углы измеряют в прямом и обратном направлениях. Между прямыми и обратными превышениями допускается расхождение до 4 см на каждые 100 м расстояния, но во всех случаях не более 2,5 м.

Высоту прибора i и высоты точек наведения u (на пунктах над маркой центра, на опознаках и вспомогательных точках над поверхностью земли) берут из каталога или дважды измеряют рулеткой с точностью до 0,01 м.

Поправку за кривизну Земли и рефракцию f выбирают из таблиц по расстоянию s (она всегда положительна) или

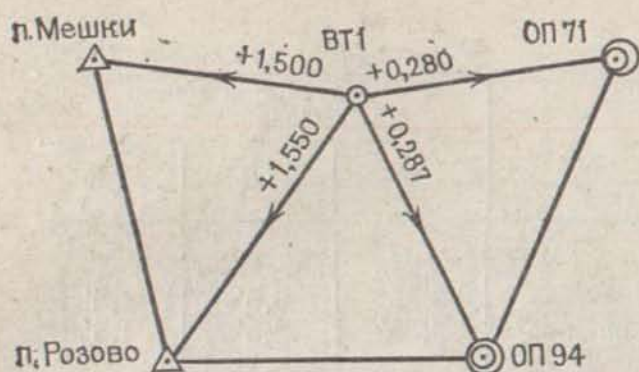


Рис. 140. Схема определения высоты пункта цепочки треугольников

подсчитывают по формуле $f = 0,42 (s^2 : R)$, где R — средний радиус Земли, равный 6300 км.

Пример. Расстояние между пунктами сети $s = 2500$ м,

$$f = 0,42 \frac{(2500)^2}{6\,300\,000} \approx 0,42 \text{ м.}$$

Пример вычисления превышений с ВТ1 в сети (рис. 140) приведен в табл. 53.

Уравнивание превышений и вычисление высот опознаков изложено в гл. 15.

При определении высот опознаков по сторонам засечек превышения нужно определять не менее чем по двум двухсторонним или трем односторонним направлениям.

Расхождения высот точек, полученных из разных определений, не должны превышать:

0,8 м —	при съемке с высотой сечения рельефа	2,0 м;
1,0 м —	» » » » » »	2,5 м;
2,0 м —	» » » » » »	5,0 м;
4,0 м —	» » » » » »	10,0 м.

Практические занятия. Накол и оформление планового опознака, вычисление прямой, комбинированной и обратной засечек, а также методом снесения координат и полярным.

Глава 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА

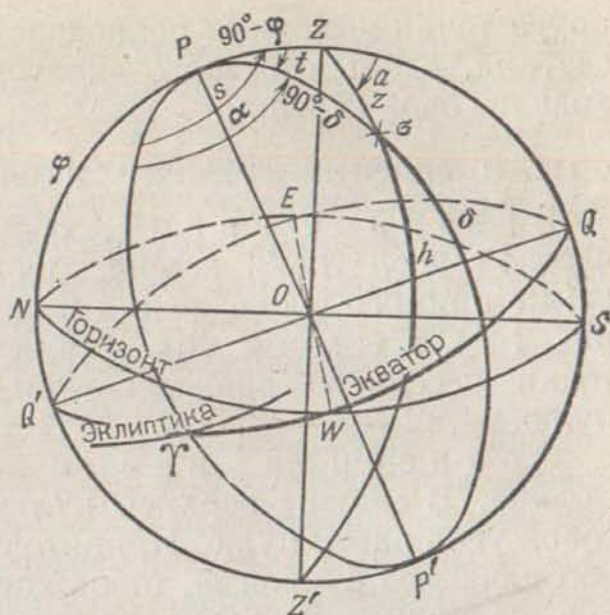
§ 111. НЕБЕСНАЯ СФЕРА И КООРДИНАТЫ СВЕТИЛ

Положение светила на небесной сфере определяется его координатами (рис. 141), отнесенными к определенному физическому моменту и отсчитанными от принятых для каждой координатной системы начал.

В практической астрономии используются горизонтальная (горизонтная) и экваториальная системы координат.

Рис. 141. Небесная сфера:

P — полюс мира; Z — зенит;
 PP' — ось мира; O — точка на-
 блюдения; $PZQSP'QN$ — небес-
 ный меридиан точки наблюде-
 ния; Z' — надир; $NWSE$ — го-
 ризонт небесной сферы;
 $QWQ'E$ — небесный экватор,
 эклиптика — орбита движения
 истинного Солнца; Υ — точка
 весеннего равноденствия; z —
 зенитное расстояние светила σ ;
 h — высота светила σ над го-
 ризонтом; a — азимут светила σ ;
 α — прямое восхождение све-
 тила



*Горизонтальная си-
 стема координат* состо-
 ит из двух координат:
 h — высоты светила σ и
 a — азимута светила σ .

В ы с о т ы светила считаются положительными и
 отсчитываются от 0° в горизонте до 90° в зените. Вместо
 высоты светила может измеряться или указываться зенит-
 ное расстояние z светила. Сумма высоты и зенитного
 расстояния светила всегда равна 90° , т. е. $h + z =$
 $= 90^\circ$.

А з и м у т светила a — это сферический угол при
 зените, между небесным меридианом данного пункта и
 вертикалом светила. Азимуты светила отсчитываются от
 точки юга S по ходу часовой стрелки от 0 до 360° . В геоде-
 зической астрономии по практическим соображениям
 азимуты светила принято отсчитывать от точки севера
 N и обозначать буквой a .

Экваториальная система координат состоит из скло-
 нения δ , часового угла t и прямого восхождения α све-
 тила. Склонение светила отсчитывается от небесного эква-
 тора, по кругу склонений, до светила. Вместо склонения
 δ можно пользоваться полярным расстоянием $\Delta = 90^\circ -$
 $- \delta$. Ч а с о в о й у г о л t светила — это сферический
 угол при полюсе P , между небесным меридианом данного
 пункта и кругом склонения светила. Отсчитывается по
 ходу часовой стрелки от меридиана до круга склонения
 светила от 0 до 24 ч. Может также выражаться в градус-
 ной мере от 0 до 360° .

П р я м о е в о с х о ж д е н и е α светила есть сфе-
 рический угол между кругом склонения светила и боль-
 шим кругом, проходящим через точку весеннего равно-
 денствия Υ (см. рис. 141). Отсчитывается от большого

круга точки весеннего равноденствия до круга склонения светила, вдоль небесного экватора от 0 до 24 ч, против хода часовой стрелки.

§ 112. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ И СВЯЗЬ ВРЕМЕН

Звездное время, обозначаемое буквой s , есть часовой угол точки весеннего равноденствия Υ , равный сумме прямого восхождения и часового угла светила (см. рис. 141), т. е. $s = \alpha + t$. В момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия звездное время равно нулю.

Солнечное время — это часовой угол t Солнца. В момент верхней кульминации Солнца его часовой угол равен нулю. Принято считать солнечное время, обозначаемое буквой m , от нижней кульминации Солнца, т. е. от полуночи. Таким образом, истинное солнечное время будет $m_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$, где t_{\odot} — часовой угол центра истинного Солнца, движущегося по эклиптике (см. рис. 141). Среднее солнечное время будет $m = t_m + 12^h$, где t_m — часовой угол среднего экваториального Солнца (фиктивного Солнца с равномерным его движением по небесному экватору).

Для перехода от истинного солнечного времени к среднему и обратно пользуются уравнением времени $\eta = m_{\odot} - m$, т. е. уравнение времени есть разность между истинным и средним солнечным временем в любой момент. В практике пользуются не истинным солнечным временем m_{\odot} , а часовым углом Солнца, и так как $m_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$, то $t_{\odot} = m + \eta - 12^h$.

Уравнение времени дается в таблице «Солнце» Астрономического ежегодника в виде $E = \eta + 12^h$, тогда $t_{\odot} = m + E$.

Понятие времени. Мерой времени служит часовой угол. Отсчитанные в один и тот же момент часовые углы от меридианов различных пунктов будут различны по величине. Значит, на каждом меридиане будет свое звездное, свое истинное и свое среднее солнечное время. Таким образом, разность времени на разных меридианах в один и тот же физический момент будет разностью долгот.

Местным временем называется время в данном пункте. На гринвичском меридиане местное гринвичское время обозначается большой буквой: звездное время — буквой S , истинное солнечное время — T_{\odot} , среднее солнечное время — T . Гринвичское среднее время

T называют в с е м и р н ы м временем. Звездное время в гринвичскую полночь обозначают буквой S_0 . Оно дается в таблице «Звездное время» Астрономического ежегодника на начало каждых суток по всемирному времени.

П о я с н ы м в р е м е н е м называется время в данном поясе. Границы поясов устанавливают с учетом удобств народнохозяйственной деятельности республики, края, области. В пределах каждого часового пояса время везде одинаково. Поясное время обозначается буквой T_n , где n — номер пояса.

Д е к р е т н о е в р е м я устанавливается декретом или законом правительства СССР и обозначается буквой D . Декретное время в период с 1 октября по 1 апреля будет на один час вперед (зимнее время), а в период с 1 апреля по 1 октября на два часа вперед поясного времени (летнее время).

§ 113. ПЕРЕХОД ОТ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ К ДРУГОЙ

Переход от декретного времени к среднему

1. От декретного времени D переходят ко всемирному времени $T = D - (n + d)^h$, где n — номер пояса, d — число часов, установленных декретом относительно поясного времени.

2. От всемирного времени T переходят к местному среднему времени $t = T + \lambda$.

Пример. На пункте, расположенном во втором поясе с долготой $\lambda = 2^h 29^m 39^s$, средний момент наблюдения Солнца составил $D_M = 8^h 37^m 15^s$. Наблюдения выполняли 11 мая 1983 г. Определить момент наблюдений в среднем времени

1.	D_M	$8^h 37^m 15^s$	2.	T	$4^h 37^m 15^s$
	$(n + d)^h$	4		λ	2 29 39
	T	$4^h 37^m 15^s$		t	$7^h 06^m 54^s$

Переход от декретного времени к звездному времени

Связь между средними солнечными и звездными единицами времени осуществляется через коэффициенты $\mu = 9,856^s$ и $\nu = 9,830^s$. Коэффициент μ применяется при переходе от декретного (среднего) времени к звездному, коэффициент ν — при переходе от звездного к среднему (декретному) времени. В приближенных астрономических определениях коэффициенты μ и ν принимаются равными 10^s , а T — в часах.

При переходе от декретного времени к звездному необходимо:

1) от декретного времени перейти к всемирному времени

$$T = D - (n + d)^h;$$

2) по значению T вычислить звездное гринвичское время

$$S = S_0 + T + \mu(T)^h,$$

где S_0 — звездное время в гринвичскую полночь;

3) от звездного гринвичского времени S перейти к местному звездному времени $s = S + \lambda^*$.

Пример. Определение азимута по Полярной выполнено в средний момент по декретному времени $D = 20^h 23^m 42^s$. Наблюдения выполнены 21 мая 1983 г. Определить средний момент наблюдений в местном звездном времени. Долгота пункта наблюдения $\lambda = 2^h 29^m 39^s$.

1.	D	$20^h 23^m 43^s$	2.	S_0	$15^h 52^m 17^s$
	$(n + d)^h$	4		T	16 23 43
	T	$16^h 23^m 43^s$		$\mu(T)^h$	+ 14
				S	$8^h 18^m 44^s$
			3.	S	$8^h 18^m 44^s$
				λ	2 29 39
				s	$10^h 48^m 23^s$

Переход от декретного времени к истинному солнечному времени

1. От декретного времени D переходят к всемирному времени $T = D - (n + d)^h$.

2. Находят средний момент наблюдений в местном среднем времени $m = T + \lambda$.

3. Вычисляют уравнение времени на средний момент наблюдений $E = E_0 + v(T)^h$, где E_0 и v — соответственно уравнение времени на дату наблюдений и его часовое изменение (выбираются из таблицы «Солнце» Астрономического ежегодника).

4. Вычисляют часовой угол Солнца в средний момент наблюдений $t_\odot = m + E$.

* Если D меньше $(n + d)$, тогда D увеличивают на 24 ч, а S_0 берут на предшествующую дату.

Пример. На пункте, расположенном во втором поясе, выполнено определение азимута по часовому углу Солнца. Долгота пункта $\lambda = 2^{\text{h}}29^{\text{m}}39^{\text{s}}$. Дата определения 17 мая 1983 года. Вычислить часовой угол Солнца в средний момент наблюдений $D = 20^{\text{h}}11^{\text{m}}27^{\text{s}}$.

1.	D	$20^{\text{h}}11^{\text{m}}27^{\text{s}}$	2.	T	$16^{\text{h}}11^{\text{m}}27^{\text{s}}$
	$(n+d)^{\text{h}}$	4		λ	2 29 39
	T	$16^{\text{h}}11^{\text{m}}27^{\text{s}}$		m	$18^{\text{h}}41^{\text{m}}06^{\text{s}}$
3.	E_0	$12^{\text{h}}03^{\text{m}}41^{\text{s}}$	4.	m	$18^{\text{h}}41^{\text{m}}06^{\text{s}}$
	$v(T)^{\text{h}}$	— 01		E	12 03 40
	E	$12^{\text{h}}03^{\text{m}}40^{\text{s}}$		t_{\odot}	$6^{\text{h}}44^{\text{m}}46^{\text{s}}$

§ 114. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА НАПРАВЛЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПРЕДМЕТ

Астрономическим азимутом направления на земной предмет называют двухгранный угол между плоскостью меридиана и плоскостью вертикала земного предмета, отсчитываемый от северной части меридиана по ходу часовой стрелки.

На рис. 142 показано расположение земного предмета ЗП и светила σ относительно северного направления меридиана, когда горизонтальный круг теодолита совмещен с плоскостью горизонта, а центр круга — с проекцией зенита. При такой ориентировке лимба: 0 — нулевой диаметр лимба, M_N — место севера, т. е. отсчет на лимбе, соответствующий направлению на север, M_S — место юга: $M_S = M_N \pm 180^\circ$, C_i — отсчет на лимбе направления на светило, M_i — отсчет на лимбе направления на

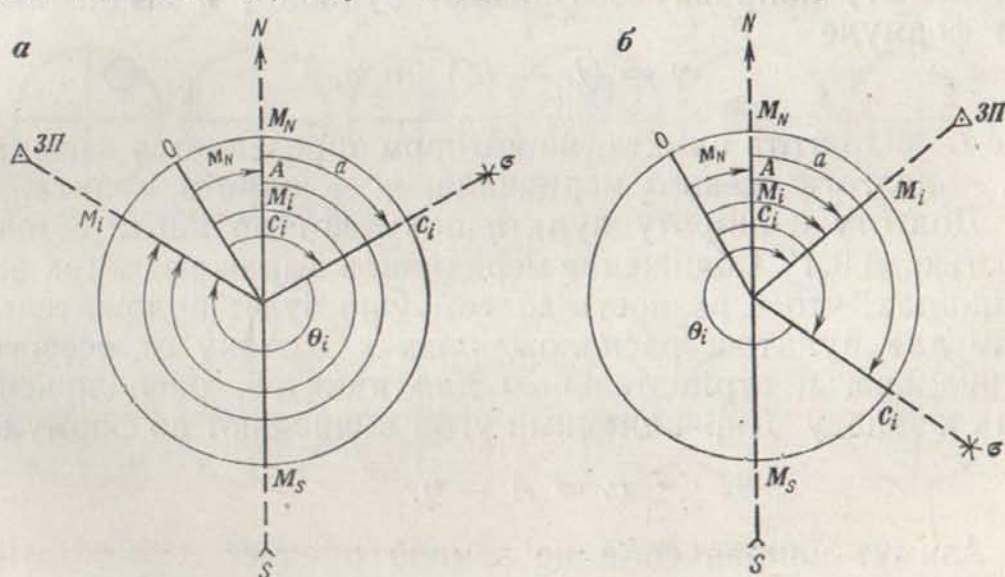


Рис. 142. Схема ориентирования лимба

земной предмет, Q_i — горизонтальный угол между вертикалом светила и земным предметом, NS — меридиан пункта наблюдения. Из рис. 142 имеем $A = a + Q_i$. Угол Q_i независимо от взаимного расположения светила и земного предмета (рис. 142, а, б) вычисляют по формуле $Q_i = M_i - C_i$. Таким образом, определение азимута направления на земной предмет состоит из определения азимута а светила в определенный физический момент и измерения в этот же момент угла Q_i между земным предметом и светилом. Следует иметь в виду, что азимут а светила всегда возрастает, а горизонтальный угол Q_i всегда убывает.

Необходимость определения астрономических азимутов возникает при ориентировании вновь создаваемых геодезических построений, когда их азимутальная привязка к ранее исполненным геодезическим сетям оказывается невозможной, и в других работах по геодезии, требующих ориентирования в пространстве.

Астрономические азимуты имеют свое значение на сфере, всегда положительны и могут находиться в пределах от 0 до 360° . Азимуты определяют числом приемов, зависящим от требуемой точности определения азимута и от типа применяемого теодолита, но не менее как тремя приемами. На учебной практике, учитывая неопытность наблюдателей, азимут определяют шестью приемами.

Переход от астрономического азимута к дирекционному углу осуществляется введением в значение азимута поправки, называемой сближением меридианов. Эту поправку обозначают буквой γ и вычисляют по формуле

$$\gamma = (L - L_0) \sin \varphi,$$

где L — долгота пункта, на котором определяется азимут; L_0 — долгота осевого меридиана; φ — широта пункта.

Долготу и широту пункта получают по карте с точностью до $0,1'$. Сближение меридианов выражают в тех же единицах, что и разность долгот. Оно будет положительным для пунктов, расположенных к востоку от осевого меридиана, и отрицательным для пунктов, расположенных к западу. Дирекционный угол вычисляют по формуле

$$\alpha = A - \gamma.$$

Азимут направления на земной предмет может быть получен по высоте светила или его часовому углу.

§ 115. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ПО ВЫСОТЕ СОЛНЦА

Азимут по высоте Солнца определяют в часы, когда Солнце находится вблизи первого вертикала. В этом случае его азимут равен утром 90° и вечером 270° . При этом высота Солнца над горизонтом должна быть не менее 10° и не более 50° . Солнце наблюдают утром спустя полчаса после его восхода и заканчивают наблюдения не позже 9 ч утра. Вечером наблюдения выполняют с 15 ч и заканчивают за полчаса до захода Солнца. Перед наблюдением азимута теодолит должен быть тщательно выверен. Солнце наблюдают через темное стекло, надеваемое на окуляр трубы теодолита. При больших высотах Солнца используется окулярная призма. Стрелки часов, используемых при наблюдении азимута, до начала наблюдений устанавливают на согласованное показание (начало минуты в 00 секунд). Перед наблюдениями принимают сигналы точного времени и определяют поправку часов (§ 116).

Горизонтальный и вертикальный штрихи сетки зрительной трубы теодолита в полуприемах наводят на противоположные края Солнца (рис. 143). Точное наведение вертикального штриха сетки на край Солнца осуществляют наводящим устройством алидады. Для этого выполняют следующие действия.

1. Вращая алидаду по азимуту и трубу теодолита по высоте, наводят трубу на Солнце и устанавливают вертикальный штрих сетки вблизи левого (правого) края Солнца.

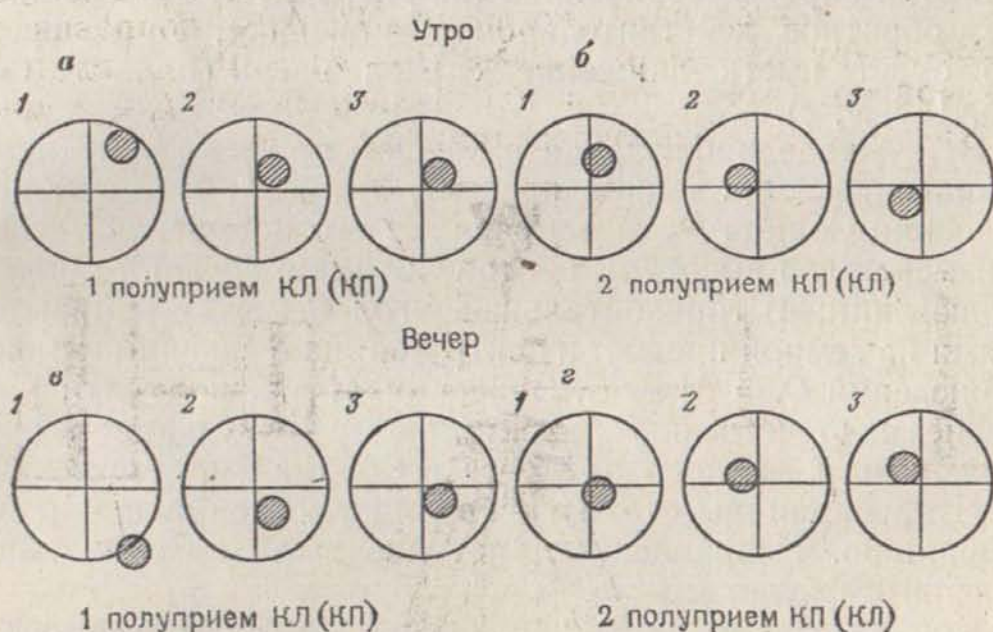


Рис. 143. Схема наблюдений Солнца

Закрепляют алидаду и трубу. Уровень при вертикальном круге приводят на средину (рис. 143, *а*, положение 1).

2. Наводящим устройством алидады наводят вертикальный штрих сетки на левый (правый) край Солнца, а наводящим устройством трубы горизонтальный штрих сетки устанавливают вблизи нижнего (верхнего) края Солнца (рис. 143, *а*, положение 2).

3. Наводящим устройством алидады вертикальный штрих сетки удерживают на левом (правом) крае Солнца до тех пор, пока нижний (верхний) его край коснется горизонтального штриха сетки (рис. 143, *а*, положение 3). Момент касания нижнего (верхнего) края Солнца горизонтального штриха сетки фиксируют по часам с погрешностью не более 1^м. Записывают в журнал наблюдений часы и минуты момента касания. Снимают с вертикального и горизонтального кругов отсчеты и записывают их в журнал наблюдений.

4. Трубу теодолита переводят через зенит и, работая при другом круге (второй полуприем), выполняют те же действия по наблюдению Солнца, что и при предыдущем круге, но при этом наблюдают правый (левый) и верхний (нижний) края Солнца (рис. 143, *б*, положения 1, 2, 3).

Приведенная последовательность действий относится к утренним и вечерним наблюдениям Солнца. Разница в наблюдениях утро—вечер состоит только в видимом в трубу направлении движения Солнца: если утром оно движется справа сверху вниз (на рис. 143, *а*, *б* изображение, обратное действительному движению), то вечером оно будет иметь движение справа вверх налево (см. рис. 143, *в*, *г*).

В журнале наблюдений в каждом приеме вычисляют: 1) значение $2c$ на земной предмет, 2) средний момент наблюдения Солнца D_m и исправляют его поправкой часов; 3) измеренную высоту h_0 центра Солнца в средний момент наблюдений; 4) горизонтальный угол Q между направлениями на земной предмет и центр Солнца в средний момент наблюдений $Q = M - C$. Значения M и C получают как среднее из отсчетов по горизонтальному кругу в приеме при наблюдениях земного предмета и Солнца соответственно.

Измеренная высота h_0 исправляется поправкой ρ за рефракцию. Исправленное значение высоты Солнца над горизонтом будет $h = h_0 - \rho$.

Кроме того в журнале наблюдений (табл. 54) указывают температуру воздуха t и атмосферное давление B в начале

Таблица 54

Журнал определения азимута по высоте Солнца

(один прием)

Направление с пункта 11 на пункт 7. Теодолит ТТ-4 № 69711

Дата 14 мая 1983 г. Широта $\varphi = 54^\circ 42,6'$. Долгота $\lambda = 37^\circ 24,8'$

Определение поправки часов (время московское)

 $D_3 \ 16^h 00^m \ D_1 \ 15^h 59^m 56^s \ u_1 = +4^s$ Температура воздуха $t = +17^\circ \text{C}$ $D_3 \ 20^h 00^m \ D_2 \ 19^h 59^m 50^s \ u_2 = +10^s$ Давление $B = 758 \text{ мм}$ $u_{\text{ср}} = +7^s \quad \text{МО} = +10''$

Объект наблюдения	Время наблюдения D	Вертикальный круг	Горизонтальный круг	Примечание
Прием III				
Круг лево				
Пункт 7  Пункт 7	$17^h 52^m \ (2)$	$28^\circ 40' 44'' \ (3)$	$60^\circ 09' 18'' \ (1) *$ $243^\circ 25' 40'' \ (4)$	$M \ 60^\circ 09' 04'' \ (13)$ $C \ 243^\circ 55' 21'' \ (14)$ <hr/> $Q \ 176^\circ 13' 43'' \ (15)$
	$17^h 54^m \ (5)$	$151^\circ 36' 35'' \ (6)$	Круг право $64^\circ 25' 02'' \ (7)$ $240^\circ 08' 49'' \ (8)$ $2c + 29'' \ (9)$	$h_0 \ 28^\circ 32' 04'' \ (16)$ $\rho \ 1' 47'' \ (17)$ <hr/> $h \ 28^\circ 30' 17'' \ (18)$
D_M	$17^h 53^m \ (10)$	Высота h_0 Солнца вычисляется по формуле $h_0 = \frac{\text{КЛ} - \text{МО} + [\text{МО} - (\text{КП} + 180^\circ)]}{2} = 28^\circ 32' 04''$		
u	$0 \ (11)$			
D	$17^h 53^m \ (12)$			

* Цифры в скобках указывают на последовательность действий.

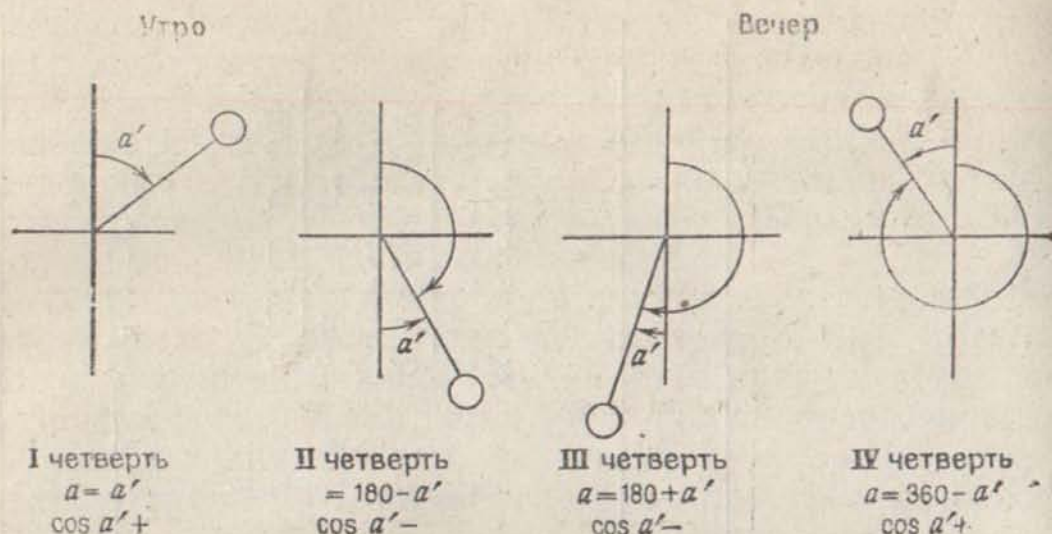


Рис. 144. Схема азимута Солнца

и конце определения азимута. Поправки за рефракцию, температуру воздуха и атмосферное давление выбирают из таблиц, помещаемых в Астрономическом ежегоднике. Поправка за рефракцию может быть вычислена по формуле $\rho'' = 60,4'' \operatorname{ctg} h_0$.

Качество выполненных наблюдений контролируют по изменениям между приемами в положении Солнца по высоте и азимуту за единицу времени. В первом вертикале эти изменения будут: по высоте $\Delta h = \Delta D 15 \cos \varphi$, по азимуту $\Delta Q = \Delta D 15 \sin \varphi$, выраженные в единицах дуги [1, с. 292].

Вычисление азимута. Азимут Солнца вычисляют по формуле

$$\cos a' = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h},$$

где h — высота Солнца, исправленная за рефракцию; δ — склонение Солнца на средний момент наблюдений; φ — широта места наблюдения, определенная на карте.

Склонение δ Солнца на средний момент наблюдений вычисляют по формуле

$$\delta = \delta_0 + v(T)^h,$$

где δ_0 — склонение Солнца, v — часовое изменение склонения, которое выбирают из таблицы «Солнце» Астрономического ежегодника на дату наблюдений: $T^h = D - (n + d)$ и вычисляют с точностью до 0,1 ч.

Величина a' , полученная по приведенной выше формуле, будет находиться в пределах от 0 до 90° относительно

Таблица 55

Вычисление азимута по высоте Солнца

Направление с пункта 11 на пункт 7. Дата наблюдений 14 мая 1983 г.

Номер действий	Обозначение	Прием		
		III	IV	V
(1)	h	$28^{\circ} 30' 17''$	$27^{\circ} 38' 42''$	$26^{\circ} 45' 11''$

Вычисление всемирного времени

(2)	D	$17^h 53^m$	$17^h 59^m$	$18^h 04^m$
(4)	$(n + d)^h$	4	4	4
(5)	T	$13^h 53^m$	$13^h 55^m$	$14^h 04^m$

Вычисление склонения Солнца

(6)	$(T)^h$	$13,9^h$	$14,0^h$	$14,1^h$
(8)	v	$+ 36,8''$	$+ 36,8''$	$+ 36,8''$
(7)	δ_0	$18^{\circ} 26' 06''$	$18^{\circ} 26' 06''$	$18^{\circ} 26' 06''$
(9)	$v(T)^h$	$+ 8' 32''$	$+ 8' 35''$	$+ 8' 38''$
(10)	δ	$18^{\circ} 34' 38''$	$18^{\circ} 34' 41''$	$18^{\circ} 34' 44''$

Вычисление азимута Солнца

(11)	$\sin \varphi$	0,81 624	0,81 624	0,81 624
(13)	$\sin h$	0,47 723	0,46 399	0,45 015
(16)	$\sin \varphi \sin h$	0,38 953	0,37 873	0,36 743
(15)	$\sin \delta$	0,31 858	0,31 860	0,31 861
(17)	$\sin \delta -$	-0,07 095	-0,06 013	-0,04 882
	$\sin \varphi \sin h$			
(12)	$\cos \varphi$	0,57 772	0,57 772	0,57 772
(14)	$\cos h$	0,87 878	0,88 584	0,89 296
(18)	$\cos \varphi \cos h$	0,50 769	0,51 177	0,51 588
(19)	$\cos a'$	-0,13 975	-0,11 749	-0,09 463
(20)	a'	$81^{\circ} 58' 00''$	$83^{\circ} 15' 10''$	$84^{\circ} 34' 12''$
(21)	Четверть	III	III	III

Вычисление азимута на земной предмет

(22)	a	$261^{\circ} 58' 00''$	$263^{\circ} 15' 10''$	$264^{\circ} 34' 12''$
(3)	Q	$176^{\circ} 13' 43''$	$174^{\circ} 57' 12''$	$173^{\circ} 37' 30''$
(23)	A	$78^{\circ} 11' 43''$	$78^{\circ} 12' 22''$	$78^{\circ} 11' 42''$
(24)	$A_{ср}$		$78^{\circ} 11' 57''$	

Дирекционный угол направления с пункта 11 на пункт 7

$$\alpha = 78^{\circ} 11' 57'' - (-1^{\circ} 17' 44'') = 79^{\circ} 29' 41''.$$

Вычислял Новиков С. И.

северного или южного направления меридиана, т. е. будет румбом направления на Солнце.

Для перехода к азимуту направления на Солнце, находящегося в пределах от 0 до 360° и отсчитываемого относительно северной части меридиана, нужно учитывать знак косинуса и время наблюдения азимута (рис. 144).

Основными погрешностями определения азимута по высоте Солнца будут: погрешности определения h и Q , связанные с наведением вертикального и горизонтального штрихов сетки на края Солнца, погрешности определения h из-за действия рефракции и погрешности определения φ по карте. Влияние указанных погрешностей тем меньше, чем Солнце будет ближе к первому вертикалу.

Последовательность вычисления азимута приведена в табл. 55.

§ 116. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ СОЛНЦА

Азимут по часовому углу Солнца определяют путем измерения горизонтального угла между направлением на земной предмет и центром Солнца с фиксацией по часам (с погрешностью 2—3^с времени) момента касания вертикальным штрихом сетки левого (правого) края Солнца. Требуется в связи с этим знать поправку и ход часов, с которыми выполняют наблюдения. Часы должны быть с центральной секундной стрелкой. До начала наблюдений минутную и секундную стрелки часов устанавливают на согласованные показания, т. е. чтобы начало минуты приходилось на 00^с. Поправка часов u , с погрешностью $\pm 1^s$, определяется до и после наблюдения азимута из приема сигналов точного времени. Шестой сигнал приходится на начало часа — 00^м, 00^с декретного времени. Момент совпадения шестого сигнала с показаниями часов фиксируется с погрешностью $\pm 1^s$ и записывается в журнал наблюдений (см. табл. 56). Допускается определение поправки часов из приема сигналов точного времени только до или только после окончания наблюдений. В этих случаях поправка часов также определяется дважды; с интервалом 1—2 ч между приемами сигналов точного времени.

Поправку часов вычисляют по формуле

$$u = D_0 - D_{\text{ш}}$$

где D_s — эталонное декретное время в момент передачи шестого сигнала, D_n — декретное время по показаниям часов, с которыми проводятся наблюдения, в момент приема шестого сигнала времени. Ход часов вычисляют по формуле

$$\omega = (u_2 - u_1) : h,$$

где h — интервал времени в часах между первым и вторым приемом сигналов точного времени.

Поправку часов на средний момент наблюдений Солнца вычисляют: 1) по приему сигналов до и после наблюдений $u = u_1 + \omega h$; 2) по приему сигналов (дважды) до начала наблюдений $u = u_2 + \omega h$; 3) по приему сигналов (дважды) после окончания наблюдений $u = u_1 - \omega h$, где $h = D_m - D_n$ — интервал времени в часах между средним моментом наблюдения азимута D_m и первым (вторым) приемом сигналов точного времени (для третьего случая $h = D_n - D_m$).

Исправленный за поправку и ход часов средний момент наблюдений азимута будет

$$D = D_m + u.$$

Азимут a' Солнца по его часовому углу вычисляют по формуле

$$\operatorname{ctg} a' = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \frac{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta}{\sin t}.$$

Широту φ и долготу λ места наблюдения определяют по крупномасштабной карте с погрешностью $\pm 0,1'$.

Наилучшее время для определения азимута по часовому углу Солнца будет время, когда Солнце находится вблизи первого вертикала. Наблюдения азимута по часовому углу Солнца проводят в той же последовательности, что и при определении азимута по высоте Солнца (см. § 115). Отличие состоит в том, что в этом способе измеряют только горизонтальный угол между центром Солнца и земным предметом. Поэтому при наблюдении Солнца фиксируют момент касания вертикальным штрихом сетки правого (левого) края Солнца, чему предшествует установка наводящим устройством алидады вертикального штриха сетки вблизи края Солнца. Горизонтальный штрих сетки при этом наводят и удерживают наводящим устройством трубы на середине Солнца.

В полевом журнале (табл. 56) вычисляют:

1) величину $2c$ и среднее значение направлений M на земной предмет;

Таблица 56

Журнал определения азимута по часовому углу Солнца

(один прием)

Направление с пункта 11 на пункт 4. Теодолит ТТ-4 № 70315

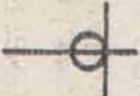
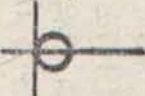
Дата 14 мая 1983 г. Широта $\varphi = 54^\circ 42,6'$. Долгота $\lambda = 37^\circ 24,8'$

Определение поправки и хода часов (время московское)

$$D_s = 17^h 00^m \quad D_1 = 17^h 02^m 17^s \quad u_1 = -2^m 17^s$$

$$D_s = 21^h 00^m \quad D_2 = 27^h 02^m 01^s \quad u_2 = -2^m 01^s$$

$$\text{Ход часов } \omega = \frac{-2^m 01^s + 2^m 17^s}{4} = +4 \text{ с/ч}$$

Объект наблюдения	Время наблюдения D	Горизонтальный круг	Примечание
Прием I Круг лево			
Пункт 4			$M \quad 0^\circ 02' 02'' (9)$ $C \quad 206^\circ 33' 18'' (10)$ <hr/> $Q \quad 153^\circ 28' 44'' (11)$
	$19^h 46^m 32^s (2)$	$0^\circ 02' 06'' (1) *$ $206^\circ 11' 46'' (3)$	
	$19^h 48^m 56^s (4)$	$26^\circ 54' 49'' (5)$ $180^\circ 01' 57'' (6)$	Поправка часов u на средний момент наблюдений **
Пункт 4			$u = u_1 + \omega (D_M - D_1)^h = -2^m 17^s +$ $+ 4^s (19,8^h - 17,0^h) = -2^m 06^s (12)$
D_M	$19^h 47^m 44^s (8)$ $- 2^m 06^s (13)$ <hr/> $19^h 45^m 38^s (14)$	$2c + 09'' (7)$	
D			

* Цифры в скобках указывают на последовательность действий.

** Допускается вычисление поправки часов u на средний момент наблюдения азимута из всех приемов, если изменение величины поправки за ход часов за время наблюдения всех приемов будет не более $\pm 1^s$, т. е. если $\omega h \leq 1^s$.

Таблица 57

Вычисление азимута направления на земной предмет
по часовому углу Солнца

Направление с пункта 11 на пункт 4. Дата наблюдений 14 мая 1983 г.
 $\varphi = 54^{\circ} 42,6'$. $\lambda = 37^{\circ} 24,8'$

Номер действий	Обозначение	Прием		
		I	II	III

Вычисление часового угла Солнца

(1)	D	$19^{\text{h}}45^{\text{m}}38^{\text{s}}$	$19^{\text{h}}49^{\text{m}}30^{\text{s}}$	$19^{\text{h}}53^{\text{m}}40^{\text{s}}$
(3)	$(n + d)^{\text{h}}$	4	4	4
(4)	T	$15^{\text{h}}45^{\text{m}}38^{\text{s}}$	$15^{\text{h}}49^{\text{m}}30^{\text{s}}$	$15^{\text{h}}53^{\text{m}}40^{\text{s}}$
(5)	$(T)^{\text{h}}$	15,8	15,8	15,9
(6)	E_0	$12^{\text{h}}03^{\text{m}}42^{\text{s}}$	$12^{\text{h}}03^{\text{m}}42^{\text{s}}$	$12^{\text{h}}03^{\text{m}}42^{\text{s}}$
(8)	$v(T)^{\text{h}}$	00	00	00
(10)	λ	$2^{\text{h}}29^{\text{m}}39^{\text{s}}$	$2^{\text{h}}29^{\text{m}}39^{\text{s}}$	$2^{\text{h}}29^{\text{m}}39^{\text{s}}$
(11)	t^{h}	$6^{\text{h}}18^{\text{m}}59^{\text{s}}$	$6^{\text{h}}22^{\text{m}}51^{\text{s}}$	$6^{\text{h}}27^{\text{m}}01^{\text{s}}$
(12)	t°	$94^{\circ} 44' 45''$	$95^{\circ} 42' 45''$	$96^{\circ} 45' 15''$

Вычисление склонения Солнца

(7)	δ_0	$18^{\circ} 26' 06''$	$18^{\circ} 26' 06''$	$18^{\circ} 26' 06''$
(9)	$v(T)^{\text{h}}$	$+ 9' 42''$	$+ 9' 42''$	$+ 9' 45''$
(13)	δ	$18^{\circ} 35' 48''$	$18^{\circ} 35' 48''$	$18^{\circ} 35' 51''$

Вычисление азимута Солнца

(14)	$\sin \varphi$	0,81 624	0,81 624	0,81 624
(16)	$\text{ctg } t$	-0,08 302	-0,10 003	-0,11 843
(19)	$\sin \varphi \text{ ctg } t$	-0,06 776	-0,08 165	-0,09 667
(15)	$\cos \varphi$	0,57 772	0,57 772	0,57 772
(20)	$\text{tg } \delta$	0,33 647	0,33 647	0,33 648
(20)	$\cos \varphi \text{ tg } \delta$	0,19 438	0,19 438	0,19 440
(17)	$\sin t$	0,99 657	0,99 503	0,99 306
(21)	$\cos \varphi \text{ tg } \delta$	0,19 505	0,19 535	0,19 576
(22)	$\sin t$	-0,26 281	-0,27 700	-0,29 243
(23)	$\text{ctg } a'$	$75^{\circ} 16' 30''$	$74^{\circ} 31' 02''$	$73^{\circ} 41' 58''$
(24)	a'	$284^{\circ} 43' 30''$	$285^{\circ} 28' 58''$	$286^{\circ} 18' 02''$
(2)	Q	$153^{\circ} 28' 44''$	$152^{\circ} 43' 21''$	$151^{\circ} 54' 00''$
(25)	A	$78^{\circ} 12' 14''$	$78^{\circ} 12' 19''$	$78^{\circ} 12' 02''$
(26)	$A_{\text{ср}}$		$78^{\circ} 12' 12''$	

Дирекционный угол направления с пункта 11 на пункт 4 $\alpha =$
 $= 78^{\circ} 12' 12'' - (-1^{\circ} 17' 44'') = 79^{\circ} 29' 56''$

Вычислял Новиков С. И.

- 2) средний момент наблюдения Солнца в приеме;
- 3) среднее значение направления S на Солнце в приеме;
- 4) горизонтальный угол Q между направлениями на земной предмет и на центр Солнца;

5) поправку часов u на средний момент наблюдения Солнца в приеме $u = u_1.2 \pm \omega h$ и исправленный поправкой часов средний момент наблюдения Солнца в приеме.

Основными источниками погрешностей при определении азимута по часовому углу Солнца будут: погрешности определения часового угла Солнца, складывающиеся из определения долготы пункта по карте, погрешности определения по часам момента касания края Солнца вертикальным штрихом сетки, погрешности определения поправки часов; погрешности определения широты пункта по карте, наклона вертикальной оси теодолита, неравенства подставок горизонтальной оси, коллимационной ошибки трубы теодолита.

Последовательность вычисления азимута приведена в табл. 57.

§ 117. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ ПОЛЯРНОЙ

Азимут направления на земной предмет по часовому углу Полярной можно определять в любое время суток, отвечающее по времени требованиям, предъявляемым к угловым измерениям. Имея в виду, что наведение на Полярную звезду зрительной трубы теодолита затруднительно, и особенно в светлое время суток, рекомендуется до начала наблюдений составить рабочие эфемериды Полярной, содержащие высоту и азимут Полярной на то время суток, когда будут проводиться наблюдения. Рабочие эфемериды Полярной составляют на основании таблицы «Высота и азимут Полярной», помещаемой в Астрономическом ежегоднике. Используя при наблюдении азимута рабочие эфемериды Полярной и буссоль, отыскать Полярную не представляет затруднений [4, с. 398].

Работа на пункте и вычисление азимута. Согласовывают показания стрелок часов, с которыми будут проводиться наблюдения (см. § 116). Принимают сигналы точного времени и определяют поправку и ход часов. Осуществляют тщательную поверку и юстировку теодолита.

Один прием определения азимута направления на земной предмет по Полярной звезде состоит из наблюдения при одном круге земного предмета и отсчета по горизон-

Таблица 58

Журнал определения азимута направления на земной предмет по Полярной звезде

Направление с пункта 11 на пункт 18. Теодолит ТТ-4 № 70315
Дата 17 мая 1983 г. Широта $\varphi = 54^\circ 42,6'$. Долгота $\lambda = 37^\circ 24,8'$
Определение поправки и хода часов (время московское)

$$D_9 \ 21^{\text{h}}00^{\text{m}} \quad D_1 \ 20^{\text{h}}58^{\text{m}}17^{\text{s}} \quad u_1 = +1^{\text{m}}43^{\text{s}}$$

$$D_9 \ 23^{\text{h}}00^{\text{m}} \quad D_2 \ 22^{\text{h}}58^{\text{m}}08^{\text{s}} \quad u_2 = +1^{\text{m}}52^{\text{s}}$$

$$\text{Ход часов } \omega = \frac{+1^{\text{m}}52^{\text{s}} - 1^{\text{m}}43^{\text{s}}}{2} = +4 \text{ с/ч}$$

Объект наведения	Время наблюдения	Горизонтальный круг	Примечание
------------------	------------------	---------------------	------------

Прием IV

Круг лево

Пункт 18		$90^\circ 13' 22'' (1) *$	$M \ 90^\circ 13' 29'' (8)$
Полярная	$22^{\text{h}}18^{\text{m}}30^{\text{s}} (2)$	$14^\circ 38' 06'' (3)$	$C \ 14^\circ 38' 47'' (9)$
			$Q \ 75^\circ 34' 42'' (10)$

Круг право

Полярная	$22^{\text{h}}20^{\text{m}}24^{\text{s}} (4)$	$194^\circ 39' 28'' (5)$	Вычисление поправки часов на средний момент наблюдений
Пункт 18		$270^\circ 13' 36'' (6)$	
D_M	$22^{\text{h}}19^{\text{m}}27^{\text{s}} (7)$	$2c = -14''$	$u = u_1 + \omega (D_M - D_1)^h = +1^{\text{m}}43^{\text{s}} + 4 \times 1 = +1^{\text{m}}47^{\text{s}} (11)$
u	$+ 1^{\text{m}}47^{\text{s}} (12)$		
D	$22^{\text{h}}21^{\text{m}}14^{\text{s}} (13)$		

* Цифры в скобках указывают на последовательность действий.

тальному кругу, наблюдения Полярной с фиксацией по часам момента наведения вертикального штриха сетки на Полярную, с погрешностью $\pm 2-3^{\text{s}}$, и отсчета по горизонтальному кругу (первый полуприем). Затем переводят трубу через зенит и наблюдают при другом круге Полярную и земной предмет (второй полуприем). Подробно методику наблюдений азимута по Полярной см. Руководство [1, с. 304].

Данные наблюдений записывают в журнал (табл. 58).

Основные источники погрешностей определения азимута по Полярной те же, что и при определении азимута

Таблица 59

Вычисление азимута направления на земной предмет,
определенного по часовому углу Полярной

Направление с пункта 11 на пункт 18. Дата наблюдений 17 мая 1983 г.
 $\varphi = 54^{\circ} 42,6'$. $\lambda = 37^{\circ} 24,8'$

Номер действия	Обозначение	Прием		
		IV	V	VI

Вычисление местного звездного времени

(1)	D	$22^{\text{h}} 21^{\text{m}} 14^{\text{s}}$	$22^{\text{h}} 27^{\text{m}} 36^{\text{s}}$	$22^{\text{h}} 35^{\text{m}} 37^{\text{s}}$
(8)	$n + d)^{\text{h}}$	4	4	4
(9)	T	$18^{\text{h}} 21^{\text{m}} 14^{\text{s}}$	$18^{\text{h}} 27^{\text{m}} 36^{\text{s}}$	$18^{\text{h}} 35^{\text{m}} 37^{\text{s}}$
(5)	s_0	$15^{\text{h}} 36^{\text{m}} 30^{\text{s}}$	$15^{\text{h}} 36^{\text{m}} 30^{\text{s}}$	$15^{\text{h}} 36^{\text{m}} 30^{\text{s}}$
(10)	$10^{\text{s}} (T)^{\text{h}}$	$3^{\text{m}} 03^{\text{s}}$	$3^{\text{m}} 04^{\text{s}}$	$3^{\text{m}} 06^{\text{s}}$
(4)	λ	$2^{\text{h}} 29^{\text{m}} 39^{\text{s}}$	$2^{\text{h}} 29^{\text{m}} 39^{\text{s}}$	$2^{\text{h}} 29^{\text{m}} 39^{\text{s}}$
(11)	s	$12^{\text{h}} 30^{\text{m}} 26^{\text{s}}$	$12^{\text{h}} 36^{\text{m}} 49^{\text{s}}$	$12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 52^{\text{s}}$

Вычисление часового угла Полярной

(6)	α	$2^{\text{h}} 13^{\text{m}} 06^{\text{s}}$	$2^{\text{h}} 13^{\text{m}} 06^{\text{s}}$	$2^{\text{h}} 13^{\text{m}} 06^{\text{s}}$
(12)	t^{h}	$10^{\text{h}} 17^{\text{m}} 20^{\text{s}}$	$10^{\text{h}} 23^{\text{m}} 43^{\text{s}}$	$10^{\text{h}} 31^{\text{m}} 46^{\text{s}}$
(13)	t°	$154^{\circ} 20' 00''$	$155^{\circ} 55' 45''$	$157^{\circ} 56' 30''$

Вычисление азимута Полярной

(17)	y	$-1270''$	$-1196''$	$-1101''$
(15)	$\sin t$	0,43 313	0,40 787	0,37 555
(7)	δ	$89^{\circ} 11' 07''$	$89^{\circ} 11' 07''$	$89^{\circ} 11' 07''$
(14)	$\Delta = 90 - \delta$	$2933''$	$2933''$	$2933''$
(16)	$\cos t$	0,90 133	0,91 304	0,92 680
(18)	x	$-2644''$	$-2678''$	$-2718''$
(3)	φ	$54^{\circ} 42' 36''$	$54^{\circ} 42' 36''$	$54^{\circ} 42' 36''$
(19)	$(\varphi + x)$	$53^{\circ} 58' 32''$	$53^{\circ} 57' 58''$	$53^{\circ} 57' 18''$
(20)	$\cos (\varphi + x)$	0,58 813	0,58 826	0,58 842
(21)	$-a'$	$2159''$	$2033''$	$1871''$

Вычисление азимута направления на земной предмет

(22)	a	$-35' 59''$	$-33' 53''$	$-31' 11''$
(2)	Q	$75^{\circ} 34' 42''$	$75^{\circ} 32' 37''$	$75^{\circ} 29' 48''$
(24)	A	$74^{\circ} 58' 43''$	$74^{\circ} 58' 44''$	$74^{\circ} 58' 37''$
(25)	$A_{\text{ср}}$		$74^{\circ} 58' 41''$	

Дирекционный угол направления с пункта 11 на пункт 18
 $\alpha = 74^{\circ} 58' 41'' - (-1^{\circ} 17' 44'') = 76^{\circ} 16' 25''$.

Вычислял Новиков С. И.

по часовому углу Солнца (см. § 116). Однако меньше на точность определения азимута будут влиять погрешности, связанные с определением момента наведения вертикального штриха сетки на Полярную, и больше — инструментальные погрешности (наклоны осей и коллимация).

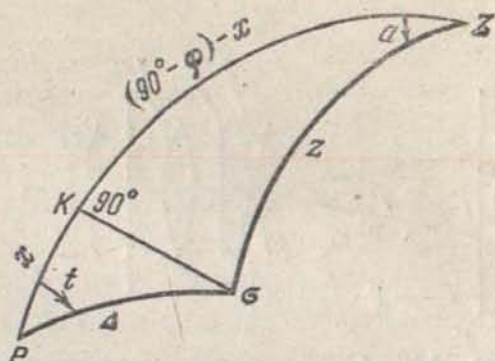


Рис. 145. Параллактический треугольник

Азимут Полярной звезды определяют из параллактического треугольника (рис. 145). и вычисляют по формуле

$$-a = \frac{\Delta'' \sin t}{\cos (\varphi + x)},$$

где Δ — полярное расстояние, $\Delta = 90 - \delta$, $x = \Delta'' \cos t$; $t = s - \alpha$, $s = S_0 + T + \mu (T)^h + \lambda$. Склонение δ и прямое восхождение α Полярной выбирают из Астрономического ежегодника на дату наблюдений из таблицы «Высота и азимут Полярной».

Последовательность вычислений азимута приведена в табл. 59.

Практические работы. 1. Определение поправки и хода часов из приема сигналов точного времени. 2. Вычисление поправки и хода часов, вычисление азимута и дирекционного угла направления на земной предмет по высоте и часовому углу Солнца и по часовому углу Полярной.

Глава 14

ОПТИЧЕСКИЕ ДАЛЬНОМЕРЫ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

§ 118. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА ДАЛЬНОМЕРОВ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМИ РАССТОЯНИЙ

Дальномеры двойного изображения изготавливают в виде самостоятельного прибора или в виде насадки на зрительную трубу теодолита. В производстве нашли применение в основном дальномеры в виде насадок.

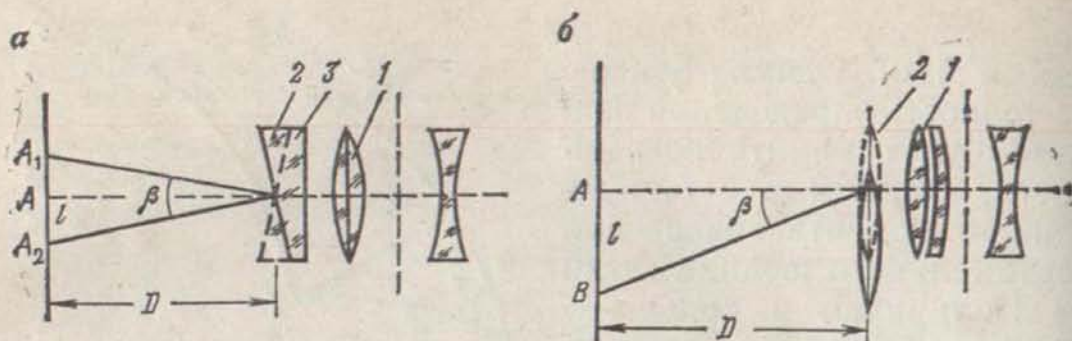


Рис. 146. Схема дальномера двойного изображения

Рассмотрим некоторые из насадок.

Дальномеры двойного изображения, как и все измерительные приборы, имеют рабочие эталоны для измерения расстояний. Линейным эталоном дальномеров служит дальномерная рейка или база, угловым — параллактический угол.

Дальномеры двойного изображения бывают двух типов: с постоянным параллактическим углом и переменной базой и с переменным параллактическим углом и постоянной базой.

В дальномерах первого типа в сочетании со зрительной трубой теодолита используют оптические клинья или линзы. Например, если перед объективом трубы 1 (рис. 146, а) поместить клин 2, то световой луч отклонится к основанию клина и точка A переместится в положение A_1 . Если поставить клин 3, то точка A переместится в положение A_2 . По величине смещения изображения одной и той же точки — базе l — можно определить величину измеряемого расстояния, так как параллактический угол β постоянен. Оптический клин, отклоняя световой луч, одновременно разлагает его на различные цвета спектра. Поэтому создают систему из двух клиньев, подбирая их так, чтобы показатели преломления были такими, которые не разлагали бы световой луч на различные цвета, а параллактический угол β был бы равен $34,38'$. Клинья или линзы в дальномере закрывают половину объектива. Таким образом, одно изображение получают через открытую часть объектива, а второе — через закрытую.

В поле зрения трубы получается двойное изображение и можно отсчитывать базу l . Клинья или линзы создают разности (дифференции) увеличений, с которыми наблюдаются два изображения рейки. Это позволяет с высокой точностью измерять l .

В дальномерах с постоянной базой для измерения параллактических углов используют линзовые компенсаторы. Так, если перед объективом трубы 1 расположить длиннофокусные линзы 2 с одинаковым фокусным расстоянием, то при совпадении оптических осей объектива и линз луч не будет отклоняться и в трубу мы увидим точку А (рис. 146, б). Если одну из линз 2 сместить, то луч отклонится на угол β , а изображение точки А сместится в точку В. Линзу 2 разрезают по диаметру на две половины. Одна половина остается неподвижной, а другая может перемещаться вдоль разреза. При смещении линз в поле зрения трубы будут видны два изображения. Смещение линзы, а значит, и параллактический угол, соответствующий этому смещению, можно измерить в линейной мере. Смещение линзы измеряют при помощи шкалы, которая скреплена с неподвижной половиной линзы и видна в поле зрения микроскопа.

Расстояния, измеренные дальномером, определяют по формулам:

для дальномеров с постоянным параллактическим углом

$$D = Kl + c;$$

для дальномеров с переменным параллактическим углом

$$D = K/\beta + c.$$

В этих формулах K — коэффициент дальномера; c — постоянное слагаемое дальномера

$$c = c_1 + c_2,$$

где c_1 — расстояние от вертикальной оси теодолита до вершины параллактического угла; c_2 — расстояние от плоскости штрихов рейки до ее оси или от плоскости марок (у ДН-8) до оси подставки рейки.

Горизонтальное проложение s расстояния получают введением в измеренное расстояние D поправки за угол наклона (за исключением редуccionной насадки ДНР-5). Поправки вводят по известным уже формулам:

при определении расстояний по вертикальной рейке

$$\Delta_v = D \sin^2 v;$$

по горизонтальной рейке

$$\Delta_\delta = 2D \sin^2 v/2.$$

Таблица 60

Основные технические характеристики дальномеров

Характеристика	Шифр дальномера			
	ДН-4	ДН-10	ДН-8	ДНР-5
Конструкция прибора	Насадка		Насадка	Насадка
Рейки	Горизонталь- ные	Вертикальные	Вертикальные	Горизонталь- ные
Пределы измеряемых расстояний, м	10—125	20—200	20—200	50—700
Относительная погрешность измеряемых расстояний	1 : 2500	1 : 1500	1 : 1000	1 : 1200— 1 : 1500
Коэффициент дальномера	100	200	~12 000, ~21 000	100
Цена деления реек, см	1 и 2	1 и 5	—	2
Пределы работы по углу наклона	$\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 20^\circ$
Посадочный диаметр насадки, мм	46	38	46	46
Предназначены для теодолитов	T2, T5, T15	T30	T2, T5, T15	T2, T5, T15
Масса насадки, кг	0,15	0,1	0,6	0,6
Масса рейки, кг	2	2,6	1,5	2

Кроме поправок за наклон в измеренное расстояние при работе с дальномерами с переменным параллактическим углом вводится поправка за температуру Δ_t . Поправку за температуру в расстояния, измеренные дальномерами с постоянным параллактическим углом, не вводят. Величины поправок Δ_t выбирают из таблиц, помещенных в паспорте дальномерного комплекта. Поправка Δ_t имеет знак разности $(t - t_0)$, где t_0 — температура, при которой был определен коэффициент дальномера K . Поправки за температуру вводят только тогда, когда разности $(t - t_0)$ более 10°C .

В дальномерных насадках ДН-4 и ДН-10 половина отверстия объектива с клиньями или линзами закрывается специальной шторкой 3 (см. рис. 147). Расстояния измеряют при открытой шторке, а горизонтальные и вертикальные углы — при закрытой шторке. Дальномерные насадки ДНР-5, ДН-8 перед измерениями горизонтальных и вертикальных углов необходимо снимать.

Для производства работ теодолит устанавливают над одной из точек хода, а рейки — на других точках, с ней смежных. Каждую сторону хода измеряют в прямом и обратном направлениях по двум сторонам реек, установленным числом приемов.

По сторонам хода, превышающим пределы измерения расстояний для данного типа дальномера, измерения выполняют по частям, разбивая линии на две части, а особенно длинные — на четыре. Уклонение от створа линии точек, на которых при делении измеряемой линии на части устанавливают рейки или теодолит, не должно превышать $0,01$ измеряемого расстояния.

Характеристики некоторых дальномеров приведены в табл. 60.

Дальномеры применяют в сильно пересеченной местности и поймах рек, где непосредственные измерения линий теодолитных ходов или базисов для определения неприступных расстояний практически невозможны.

§ 119. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКТ ДН-4

Дифференциальный дальномер состоит из дальномерной насадки, надетой на теодолит (рис. 147), противовеса и двух дальномерных реек — горизонтальных (рис. 148) или вертикальных (рис. 149).

При работе с вертикальной рейкой зажимной винт 1 (см. рис. 147) должен быть сбоку насадки, при работе с го-

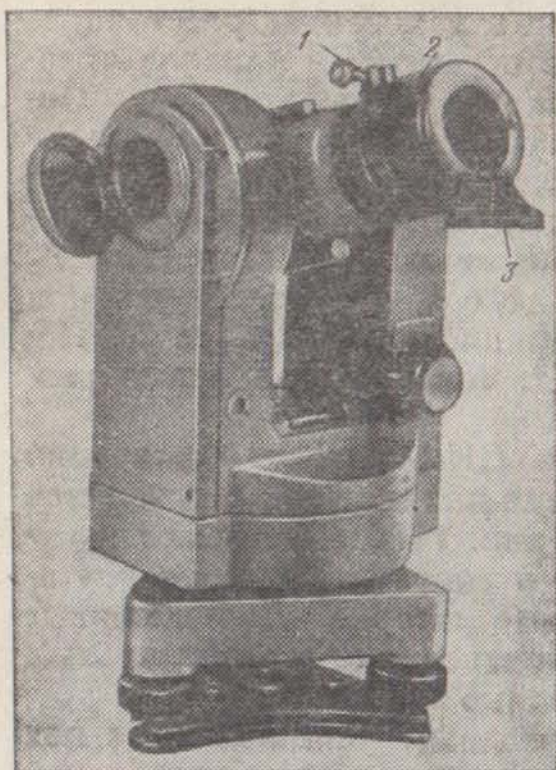


Рис. 147. Дальномерная насадка ДН-4 на теодолите:

1 — зажимной винт насадки; 2 — корпус насадки; 3 — шторка

горизонтальной рейкой насадку поворачивают на 90° .

Длина горизонтальных дальномерных реек 1,5 м. Рейки двухсторонние. Рейка имеет уровень 3 и визир 4. На одной стороне шкала 1 сантиметровая с одним нониусом, предназначена для измерения расстояний от 10 до 80 м, на другой — двухсантиметровая с двумя нониусами 2 (см. рис. 148), предназначена для измерения расстояний от 20 до 125 м. Один нониус размещен так, чтобы постоянное слагаемое дальномера $c = 0$, второй сдвинут на величину $c = 50$ м на местности. Им пользуются при измерении больших сторон.

Рейки крепятся в подставках 5, таких же, как подставки для теодолитов, установленных на обычных штативах. Вертикальная рейка (см. рис. 149) имеет нониус 1, накатки 2, при вращении которых длина подпора плавно меняется, съемные подпоры 3, съемную подставку 4 для

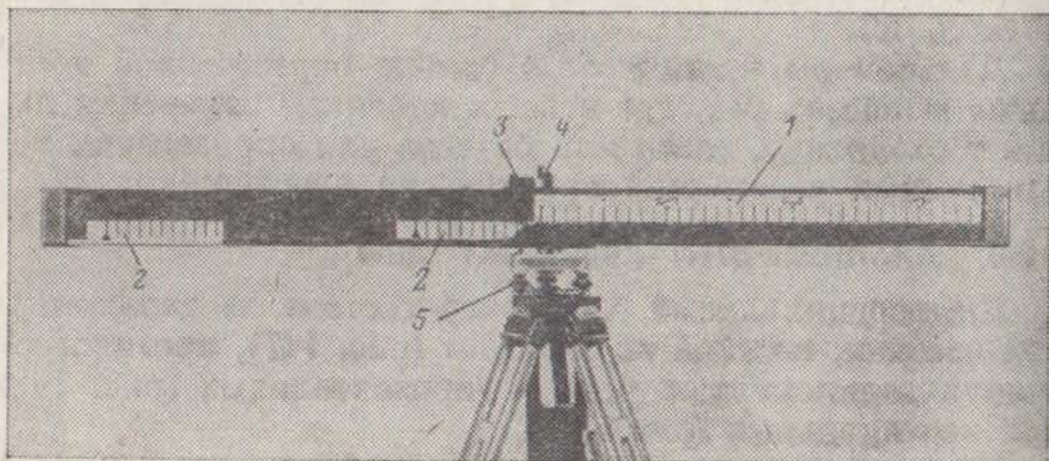


Рис. 148. Горизонтальная дальномерная рейка

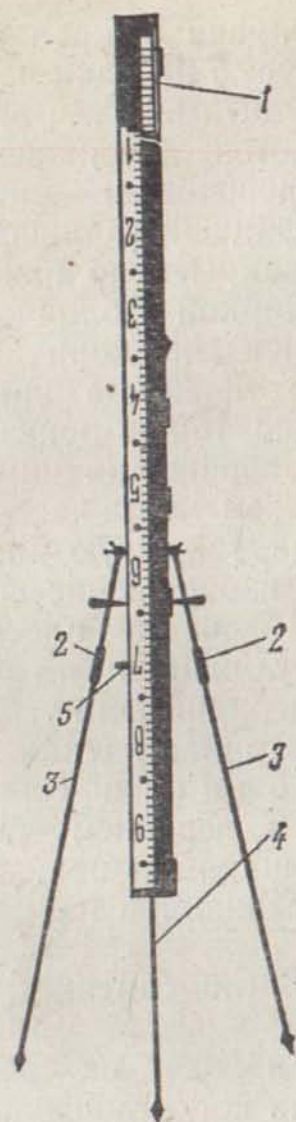
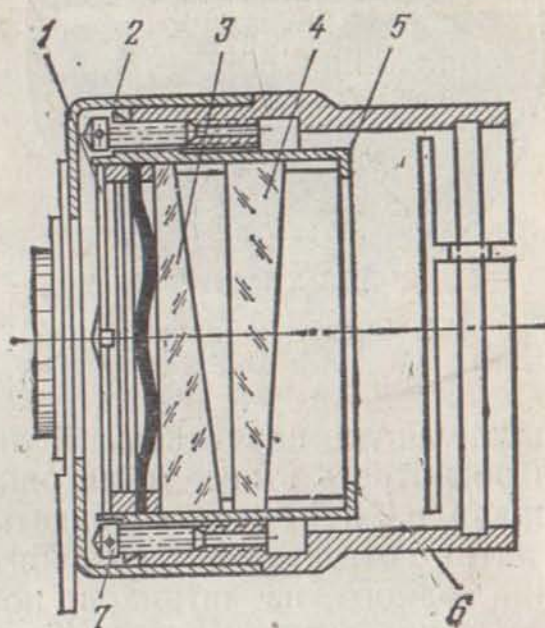


Рис. 149. Вертикальная дальномерная рейка

Рис. 150. Схема устройства дальномерной насадки ДН-4



двухсторонние. Вертикальные рейки в комплекте бывают двухметровые с двухсантиметровыми шкалами и трехметровые с пятисантиметровыми шкалами. На одной стороне рейки нониус прикреплен к шкале так, что $c = 0$, на второй — нониус сдвинут на величину $c = 111,11$ м на местности.

Все рейки изготовлены из дерева и имеют двутавровое сечение. Шкалы реек — штриховые нанесены на инварных полосах. Полосы шкал натянуты на деревянную основу. На шкалах подписано каждое десятое деление. Каждое пятое отмечено точкой или треугольником. Все нониусы имеют десять делений. Нулевые штрихи нониусов отмечены треугольником.

Насадка состоит из клиньев 3 и 4 (рис. 150) и плоскопараллельной пластинки 1, заключенных в общую оправу

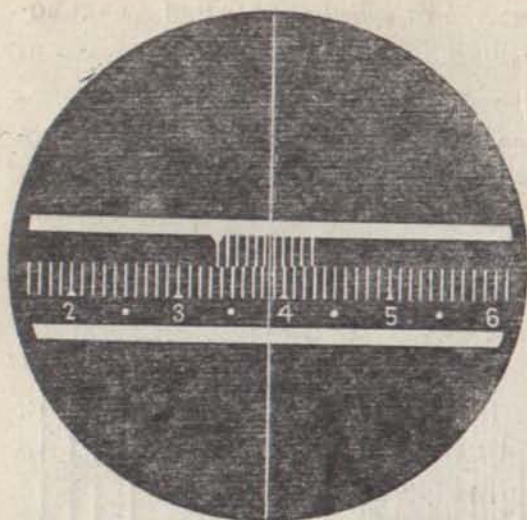


Рис. 151. Отсчет по дальномерной рейке

5. Оправа 5 крепится к корпусу 6 насадки четырьмя винтами 7. Винты 7 являются одновременно юстировочными винтами коэффициента дальномера. Они закрыты колпачком 2 со шторкой. Колпачок закреплен на корпусе насадки четырьмя винтами (на рис. 150 не показаны).

Изображения нониусов получаем через часть объектива, закрытую клиньями, а изображение шкалы рейки — через плоскопа-

раллельную пластинку. Если трубу навести на рейку и посмотреть в нее, то ни один из штрихов нониуса, как правило, не будет совпадать со штрихами шкалы. Для снятия отсчета нужно добиться точного совмещения одного из штрихов нониуса с делением рейки. Погрешность совмещения штрихов шкалы и нониуса — одна из наиболее существенных погрешностей измерения расстояний дальномером.

Отсчет по горизонтальной рейке (по сантиметровой шкале).

1. Горизонтальный штрих сетки наводят на середину рейки. При этом вертикальный штрих сетки должен располагаться вблизи нулевого или 10-го штриха нониуса (нулевой штрих нониуса на рейке отмечен треугольником).

2. Вращением алидады по азимуту наводящим устройством точно совмещают один из штрихов нониуса с делением рейки. При этом вертикальный штрих сетки не должен выйти за пределы нониуса.

3. Берут отсчет по рейке целого числа метров, равного числу делений рейки до нулевого штриха нониуса — 33 м (рис. 151).

4. Отсчитывают десятые доли, равные совмещенному штриху нониуса — 6.

5. Отсчитывают сотые доли, равные числу штрихов нониуса от его нулевого штриха до вертикального штриха сетки — 5.

6. Отсчитывают тысячные доли путем деления расстояния между штрихами нониуса на десять частей на глаз —

5. Полный отсчет равен 33,655. Такой отсчет по рейке составляет полуприем. Чтобы получить прием, нужно сделать второй отсчет. В целях уменьшения погрешности совмещения полуприемы надо выполнять с перемещением штриха сетки в разных направлениях относительно нониуса. Например, если в первом полуприеме вертикальный штрих сетки перемещали слева направо, то во втором полуприеме следует его перемещать справа налево. Расхождение между отсчетами по рейке (полуприемами) не должно превышать 1 : 800 (0,125 м на 100 м; 0,031 м на 25 м). При больших расстояниях выполняют дополнительное совмещение. За окончательное значение принимают среднее из всех, кроме явно ошибочных.

При использовании рейки с двухсантиметровой шкалой отсчеты проводятся аналогично, но отсчет из полуприема нужно удвоить. Обычно же отсчеты из полуприемов складывают. Пример: отсчет из первого полуприема 25,638, из второго — 25,646. Измеренное расстояние $D = 51,284$ м. Если отсчеты снимались по второму, сдвинутому нониусу, то измеренное расстояние D надо увеличить на 50 м.

Отсчет по вертикальным рейкам. При использовании вертикальных реек вертикальный штрих сетки выполняет то, что выполнял при использовании горизонтальных реек горизонтальный штрих, и наоборот. В первом полуприеме горизонтальный штрих сетки перемещают для совмещения штриха нониуса со штрихами шкалы рейки снизу вверх, а во втором полуприеме — сверху вниз. Отсчеты берутся так же. Когда делают отсчет по той стороне рейки, на которой нониус сдвинут на величину 111,11, то измеренное расстояние D увеличивают на 111,11 м.

При использовании реек с пятисантиметровыми шкалами отсчеты, полученные в полуприемах, нужно увеличить в пять раз (удобнее увеличить в десять раз переносом запятой и разделить на два).

Измерение сторон в теодолитных ходах. Стороны измеряют одним приемом по обеим сторонам рейки (во всех случаях, когда это возможно.). В тех случаях, когда это невозможно, стороны измеряют двумя приемами. Расхождение между значениями стороны, полученными по разным сторонам рейки (или между двумя приемами), не должно превышать 1 : 1000 (0,100 м на 100 м и 0,25 м на 25 м). Кроме того, стороны измеряют в прямом и обратном

направлениях. Расхождение между прямым и обратным средним значением сторон не должно превышать 1 : 2000 (0,050 м на 100 м).

Измерение угла наклона. Пользуясь вертикальным кругом теодолита, измеряют угол наклона v , при этом закрывают оптические клинья шторкой. Угол наклона визирной оси равен $v + \beta/2 = v + 17,2'$, где $\beta/2$ — половина постоянного параллактического угла. Для измерения угла наклона основной горизонтальный штрих сетки наводят на тот штрих нониуса, который был совмещен при взятии отсчета расстояния со штрихом рейки (совмещение при этом, конечно, будет нарушено). Величину $v + \beta/2$ используют как при вычислении поправки за наклон линии, так и для вычисления превышения.

Проверка реек

1. *На рейках проверяют уровни.* Цилиндрический уровень на горизонтальных рейках проверяют поворотом реек в подставках. Круглый уровень на вертикальных рейках проверяют отвесом. Можно проверять уровни на рейках хорошо поверенным и отъюстированным теодолитом.

2. *Коллимационная плоскость визира должна быть перпендикулярна к плоскости шкал реек (горизонтальных).* На местности при помощи теодолита строят прямой угол и по его сторонам в 40—50 м от теодолита устанавливают вешки. Теодолит вынимают из подставки и на его место помещают рейку. Плоскость рейки устанавливают в створе с одной из вешек. Если условие выполнено, то изображение второй вешки не должно выходить за пределы окружности визира. Если условие не выполнено, то, ослабив два винта, крепящих визир к рейке, разворачивают визир по азимуту до совмещения изображения вешки с вертикальным штрихом сетки визира.

Проверка насадки

1. *Отсчет по рейке должен быть неизменным при неоднократном закреплении насадки на трубе.* Устанавливают теодолит, надевают насадку и по рейке, расположенной в 30—50 м, берут восемь—десять отсчетов (полу-приемов). Расхождения в отсчетах не должны превышать 1 : 800. Насадку снимают, надевают снова и повторяют серию отсчетов. В каждой серии отсчетов вычисляют их среднее. Разность между средними отсчетами не должна

превышать 1 : 3000 (0,010 м на 30 м; 0,017 м на 50 м). Если средние отсчеты отличаются на большую величину, то при работе (после поверки коэффициента) насадку с трубы теодолита снимать нельзя.

2. Коэффициент дальномера должен быть равен 100. Перед поверкой коэффициента дальномера необходимо выполнить все поверки теодолита (особенно связанные с перестановкой штрихов сетки). Поверка и установка коэффициента дальномера K проводятся на эталонном базисе длиной обычно 144 м, расположенном на ровной местности. Базис разбивают на шесть интервалов (рис. 152). Общая длина базиса и его интервалов должна быть известна с точностью не ниже 1 : 10 000 и приведена к горизонту. На одном из концов базиса устанавливают теодолит, а на конце среднего интервала (72 м) — рейку. Это расстояние измеряют шестью приемами. Если горизонтальное проложение, вычисленное по результатам измерений, отличается от эталонного не более 1 : 1500 (0,048 м на 72 м), то юстировку коэффициента проводить не надо. Его проверяют на всех остальных интервалах базиса. Общее число интервалов должно быть не менее шести. Каждый интервал измеряют шестью приемами. Для горизонтальных реек число интервалов будет недостаточно. Недостающее число интервалов можно получить из обратного хода.

Если вычисленное расстояние отличается от эталонного на величину, большую 1 : 1500, то необходимо юстировать дальномер.

Пример. Горизонтальное проложение интервала базиса $s_0 = 72,084$ м. Этот интервал измерен шестью приемами по горизонтальной рейке с двухсантиметровыми делениями шкалы. Результаты измерений приведены ниже:

Приемы	I	II	III	IV	V	VI
Средние отсчеты из приемов	36,011	36,024	36,009	36,022	36,015	36,018
Среднее из приемов	36,016					

Измеренное расстояние $D = 2 \times 36,016 = 72,032$ м.

Измерен угол наклона $v = +0^\circ 27'$. Поправку за наклон интервала вычисляют по углу $v + \beta/2 = 0^\circ 27' + 0^\circ 17' = 0^\circ 44'$. Поправка

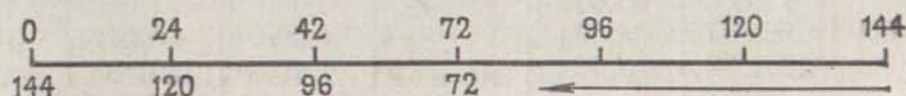


Рис. 152. Схема разбивки базиса

за наклон $\Delta_v = 0,006$ м. Горизонтальное проложение интервала $s = D - \Delta_v = 72,026$ м. Расхождение с эталонным значением интервала $\Delta_s = 0,058$ м. Относительная погрешность 1 : 1240, т. е. более допустимой. Требуется провести установку коэффициента дальномера. Для этого снимают колпачок 2 (см. рис. 150), слегка ослабляют горизонтальные винты 7 и при помощи вертикальных юстировочных винтов (на рис. 150 не видны) перемещают оправу 5 с клиньями (см. рис. 150) так, чтобы отсчет по рейке n соответствовал эталонному расстоянию. Завинчиванием верхнего винта 7 добиваются увеличения отсчета по рейке, завинчиванием нижнего — уменьшения. Для сантиметровой рейки отсчет $n = s_0 + \Delta_v$, для двухсантиметровой шкалы $n = 1/2 (s_0 + \Delta_v)$, где s_0 — эталонное значение интервала. Для нашего примера $n = 36,042 + 0,003 = 36,045$ м. После установки коэффициента дальномера интервал вновь измеряют шестью приемами. Горизонтальное проложение s , вычисленное по результатам этого повторного измерения, не должно отличаться от эталонного более 1 : 3000 (0,24 на 72 м). Только тогда установку коэффициента считают проведенной верно и проверяют измерением остальных интервалов базиса.

3. *Определение постоянного c .* Постоянное c дальномера должно быть известно для каждой стороны реек, входящих в комплект, с погрешностью ± 1 см.

Постоянное c вычисляют по формуле

$$c = s_0 - s \left(\frac{s_0^{k+1} - s_0^k}{s^{k+1} - s^k} \right),$$

где k — порядковый номер интервала. Получают пять значений c (табл. 61). За окончательное принимают среднее арифметическое.

Контроль величины c осуществляют непосредственным измерением контрольной линейкой (с точностью

Т а б л и ц а 61

Вычисление постоянного c

s_0	s	$s_0^{k+1} - s_0^k$	$s^{k+1} - s^k$	$\frac{s_0^{k+1} - s_0^k}{s^{k+1} - s^k}$	$\frac{s_0^{k+1} - s_0^k}{s}$	c
24,017	24,022	24,020	24,024	1,000	24,022	-0,005
48,037	48,046	24,047	24,022	1,001	48,094	-0,057
72,084	72,068	23,925	23,949	0,999	71,996	+0,088
96,009	96,017	24,054	24,063	1,000	96,017	-0,008
120,063	120,080	23,992	23,991	1,000	120,080	-0,017
144,055	144,071				Среднее	0,000

0,5 мм) расстояния A между серединами нулевого штриха нониуса и какого-либо штриха шкалы. Вычисляют по формуле

$$c = m + (A - A_0) 100,$$

где A_0 — номинальное значение между серединами этих же штрихов, m — расстояние торца насадки до оси вращения теодолита. Величины m для теодолитов следующие:

для теодолита	T2	$m = 72$ мм;
»	»	T5 $m = 61,5$ мм;
»	»	T15 $m = 84$ мм;
»	»	T30 $m = 84$ мм.

Поверку дальномера и установку коэффициента дальномера нужно выполнять при благоприятной погоде, хорошей видимости и спокойных изображениях. Поверку должен выполнять тот наблюдатель, который будет работать с этим дальномером.

Коэффициент дальномера K проверяют перед началом работ, через 3—7 дней после начала работ, чтобы убедиться, что K сохраняет свое значение, и затем ежемесячно.

§ 120. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКТ ДН-10

В отличие от дальномерной насадки ДН-04 насадка ДН-10 вместо клиньев имеет оптический линзовый компенсатор. Коэффициент ее дальномера $K = 200$. Параллактический угол $\beta = 17'$. Насадка имеет колпачок 1, шторку 2 и закрепительный винт 3, который располагается справа от наблюдателя (рис. 153). Дальномерные рейки вертикальные, двухсторонние, штриховые, длиной 1,6 м. Рейки снабжены нониусом 1, имеющим пять делений. Рейки без подпор, их удерживают руками при помощи ручек 3. На одной стороне деления шкалы 2 нанесены через 1 см, на другой — через 5 см. В продолжении шкал нониусов, вдоль краев реек, нанесены еще пять дополнительных делений 4 нониуса. Рейка имеет круглый уровень 5 и стойку 6 длиной 0,5 м (рис. 154).

Отсчет по рейке берут так же, как в комплекте ДН-04.

Для отсчитывания сотых и тысячных делений, когда сотых более 5, используют дополнительную шкалу нониуса. Так, на рис. 155 отсчет будет равен 20,357. Но отсчет по рейке еще не будет в этом дальномере расстоянием, во-первых, потому, что нониус имеет не десять, а пять делений и отсчитываемые доли не будут десятыми, сотыми и

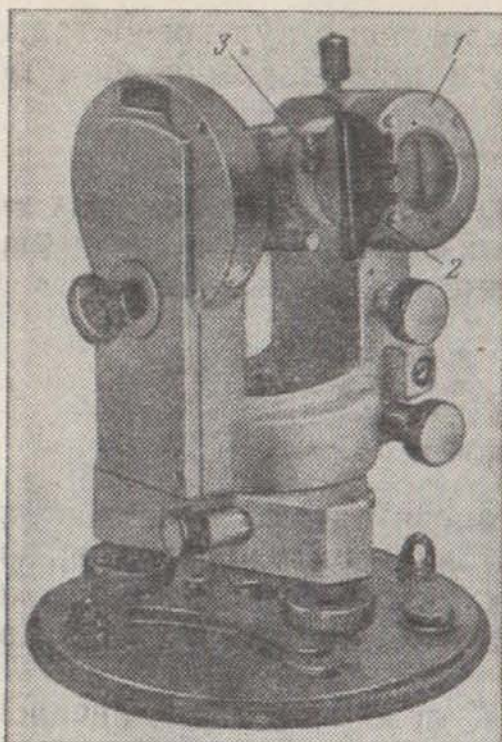
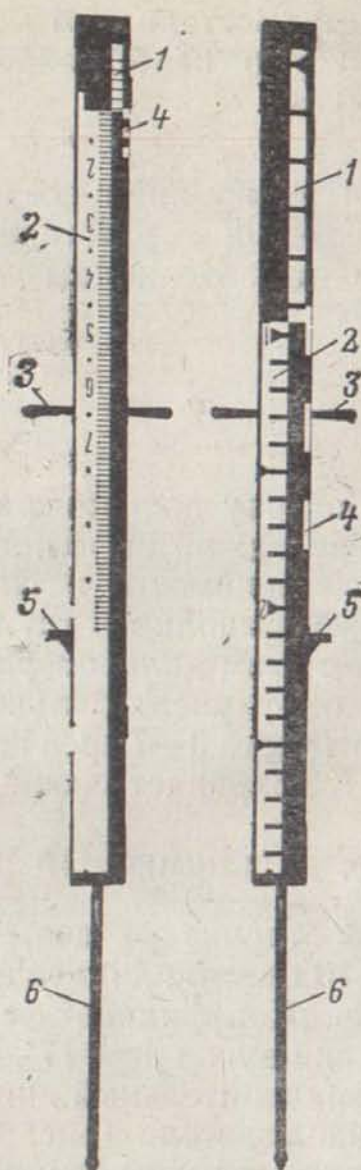


Рис. 153. Дальномерная насадка ДН-10 на теодолите

Рис. 154. Двухсторонняя вертикальная дальномерная рейка



тысячными, а пятыми, пятидесятыми и пятисотыми, и, во-вторых, $K = 200$. Чтобы сделанные по нониусу отсчеты не удваивать, отсчеты в каждом полуприеме складывают.

Например, в первом полуприеме получен отсчет 20,337 (при движении горизонтального штриха сетки сверху вниз), а во втором он равен 20,416 (при движении штриха сетки снизу вверх). Отсчет из первого приема будет равен 20,773 ($357 + 416$). Затем, так же как и первый, делают второй прием. Расстояние получают как сумму отсчетов из двух приемов. Если, например, во втором приеме сумма отсчетов получилась равной 20,730, то измеренное расстояние будет равно 41,503 м.

При работе по пятисантиметровой шкале порядок отсчетов будет тот же. Расстояния вычисляют иначе: из двух приемов берут среднее значение, а измеренное расстояние будет равно увеличенному в 10 раз среднему отсчету. Например, из первого приема отсчет равен 11,445, из вто-

рого — 11,417. Средний отсчет из двух приемов будет 11,431, а измеренное расстояние 114,31 м. Расхождение между полуприемами не должно превышать 1 : 400 (0,250 на 100 м). Расхождение между приемами не должно превышать 1 : 600 (0,167 на 100 м).

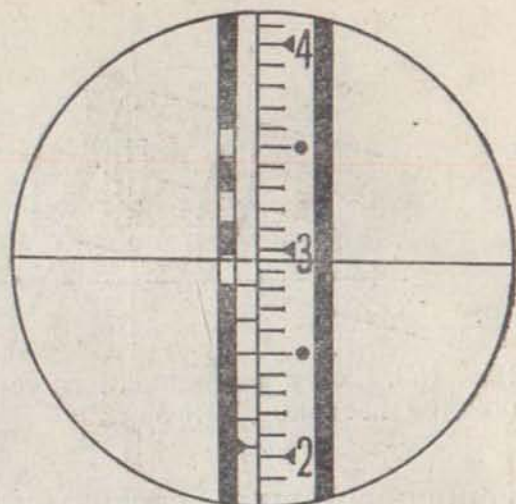


Рис. 155. Отсчет по дальномерной рейке

Стороны измеряют двумя приемами по обеим сторонам реек. Кроме того, каждую сторону измеряют в прямом и обратном направлениях. Расхождения в расстояниях, полученных по разным сторонам реек, а также между прямым и обратным результатами измерений, не должны превышать 1 : 800 (0,125 на 100 м).

Углы наклона ν измеряют наведением основного горизонтального штриха сетки на штрих нониуса, который был совмещен со штрихом рейки. Для вычисления поправки за наклон Δ_ν и определения превышения к углу наклона надо прибавить половину параллактического угла, т. е. $\nu + \beta/2 = \nu + 8,5'$.

Поверки и юстировки реек и насадки те же, что и у комплекта ДН-04. Выполняются они так же, как изложено в § 119. Другие требования по точности предъявляются только к базису. Его величина и число интервалов те же (см. рис. 152). Базис и его интервалы должны быть измерены с точностью не ниже 1 : 3000 и приведены к горизонту. Это значит, что базис и его интервалы можно измерять стальной мерной лентой с фиксацией концов ленты.

Коэффициент дальномеров проверяют на интервале 96 м. Если измеренное шестью приемами горизонтальное положение отличается от эталонного не более 1 : 700 (0,137 на 96 м), то установку коэффициента K не исправляют, а его проверяют шестью приемами на всех остальных интервалах базиса. Если расстояние отличается от эталонного на величину, большую 1 : 700, тогда коэффициент K юстируют. После юстировки K проверяют первоначально на том же интервале. Теперь среднее значение из шести

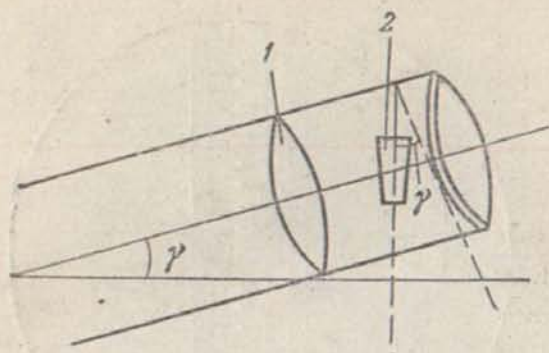


Рис. 156. Схема редукционного устройства насадки ДНР-5

приемов измеренного расстояния не должно отличаться от эталонного более чем на 1 : 3000.

§ 121. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКТ ДНР-5

Особенность дальномерной насадки ДНР-5 — наличие редукционного устройства, позволяющего по вертикальной рейке непосредственно отсчитывать горизонтальные проложения измеряемых линий. Редукционное устройство 1 со свободно висящим перед объективом зрительной трубы оптическим клином 2 (рис. 156), который во время наклона трубы, оставаясь в отвесном положении, изменяет отсчет по рейке. Показатель преломления и преломляющий угол клина подобраны так, что автоматически вводят в отсчет поправку за наклон. Оптический компенсатор перекрывает одну половину объектива. Вторую половину перекрывает микрометр — телескопическая линза, изменяющая увеличение. Насадка не имеет шторки, поэтому при измерении вертикальных и горизонтальных углов со зрительной трубы теодолита ее снимают. Конструкция закрепительного винта насадки обеспечивает стабильное ее соединение со зрительной трубой. Для повышения точности совмещения изображений штрихов нониуса и шкалы рейки в зрительной трубе теодолита устанавливают разделительное устройство, состоящее из бипризмы и щелевой диафрагмы. Бипризму устанавливают на место штрихов сетки (стекло со штрихами сетки вынимают), а щелевую диафрагму навинчивают на окуляр зрительной трубы. Щелевая диафрагма срезает нижнюю часть изображения с нониусом и верхнюю часть изображения со шкалой. Коэффициент дальномера $K = 100$. Редукционная система дальномера работает в диапазоне углов наклона $\pm 20^\circ$.

Д а л ь н о м е р н ы е р е й к и вертикальные, шкаловые, длина шкалы 1,5 м, двухсторонние. Рейки имеют съемные подпорки. Деления на обеих сторонах реек нанесены через 2 см. Подписано каждое десятое деление. Нониусы имеют десять делений. Нониусы обратные. Нулевые штрихи нониусов расположены сверху и отмечены треугольником. На одной стороне нониус скреплен

со шкалой так, что $c = 0$, на второй (ее края окрашены в желтый цвет) нониус сдвинут на величину, соответствующую 11,111 м на местности. Отсчеты по рейкам производятся так же, как и в комплекте ДН-4. Отсчет на рис. 157 равен 62,774. Для получения горизонтального проложения линии сумму двух отсчетов (полуприемов) складывают. Расхождение между полуприемами не должно превышать 1 : 600 (0,167 м на 100 м). Расхождение между приемами и расхождение между горизонтальными проложениями, измеренными по двум сторонам реек, не должны превышать 1 : 800 (0,125 м на 100 м). Расхождение между горизонтальными проложениями линии из ее прямого и обратного измерений не должно превышать 1 : 1500 (0,67 м на 100 м). Линии теодолитного хода измеряют двумя приемами по двум сторонам реек в прямом и обратном направлениях.

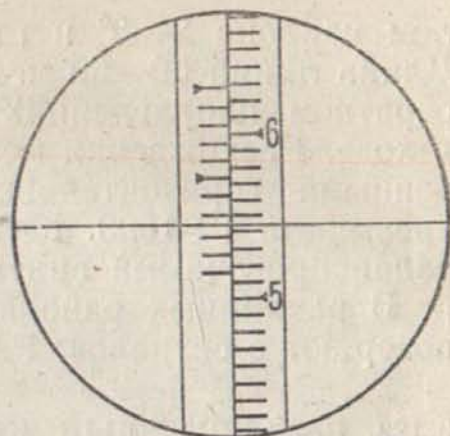


Рис. 157. Отсчет по дальномерной рейке

Поверки и юстировки реек и насадки и их выполнение такие же, как у комплекта ДН-4 (см. § 119). Рассмотрим их особенности и дополнительные поверки для комплекта ДНР-5.

Теодолит поверяют после установки бипризмы. Базис и его интервалы измеряют с точностью не ниже 1 : 7000 и приводят к горизонту. Установку K проводят в том случае, если длина интервала базиса (обычно 72 м), измеренного шестью приемами дальномером, отличается от эталонной длины более чем на 1 : 1000. Если потребовалось проводить установку K , то правильность установки первоначально поверяют на том же интервале базиса. В этом случае среднее значение базиса, измеренного шестью приемами дальномером, не должно отличаться от эталонного более чем на 1 : 5000 (0,14 м на 72 м).

Дополнительные поверки

1. Щель диафрагмы должна быть параллельна разделительному ребру бипризмы. Устанавливают поворотом щелевой диафрагмы.

2. Правильность работы редуционной системы. Измеряют горизонтальное проложение двух линий: одну с уг-

лом наклона $2-3^{\circ}$ и вторую с углом наклона $15-20^{\circ}$. Длина линий 50—60 м. Измерения проводят в прямом и обратном направлениях по методике измерения линий в ходе. Расхождения между прямыми и обратными измеренными горизонтальными проложениями не должны превышать 1 : 1500. Юстируют редукционное устройство балансировочными винтами в мастерской.

В равнинных районах работу редукционной системы проверяют с сигналов. Рейки и теодолит меняют местами.

§ 122. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКТ ДН-8

Дальномерный комплект ДН-8 представляет собой оптическую дальномерную насадку двойного изображения с постоянной базой и переменным параллактическим углом (рис. 158). Она имеет: кольцо 1 окуляра, целик 2, крышку 3, трубу микроскопа 4, мушку 5, маховичок 6 установочной части компенсатора, закрепительный винт 7 и маховичок 8 измерительной части компенсатора.

Перед объективом трубы 1 (рис. 159) помещен линзовый компенсатор, который состоит из двух пар полулинз: положительных 3 и 4 и отрицательных 2 и 5. Полулинзы в сочетании попарно закреплены в оправе. Оправа с полулинзами 2 и 3 перемещается установочным маховичком 6 (см. рис. 158), а с полулинзами 4 и 5 — измеритель-

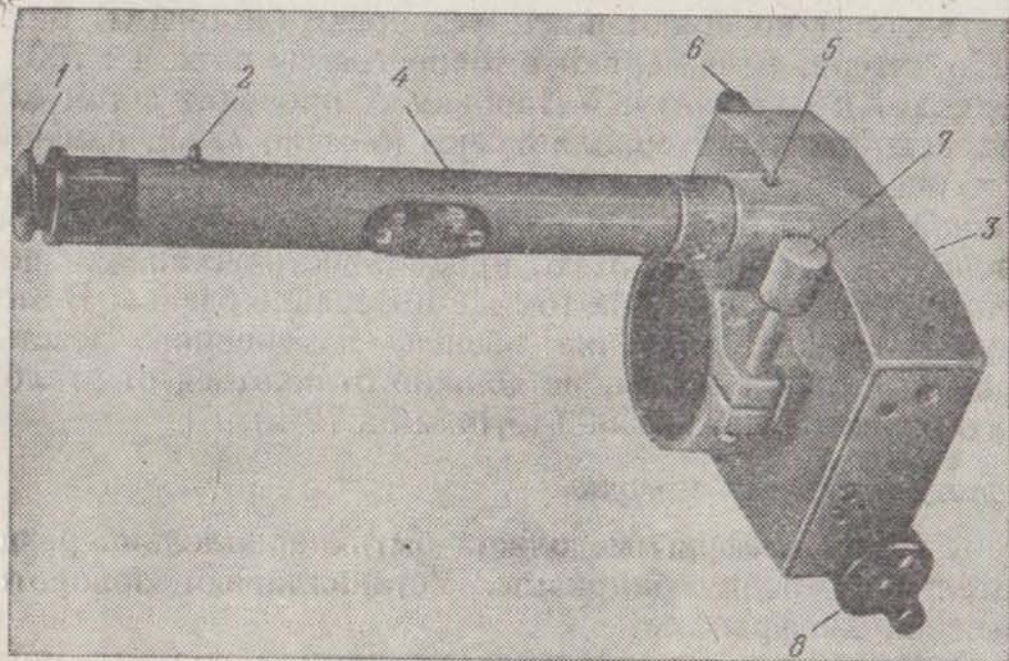


Рис. 158. Дальномерная насадка ДН-8

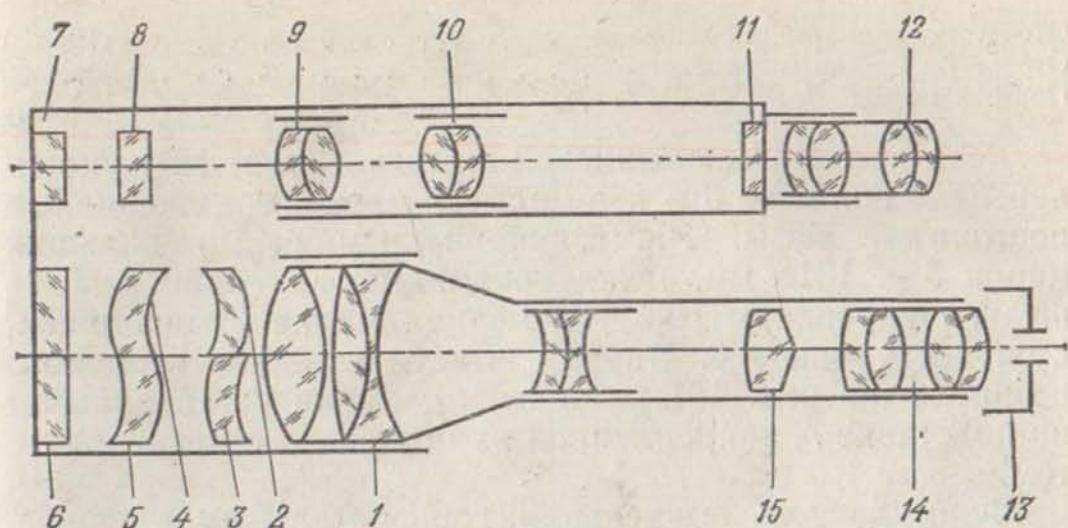


Рис. 159. Оптическая схема зрительной трубы теодолита с насадкой ДН-8

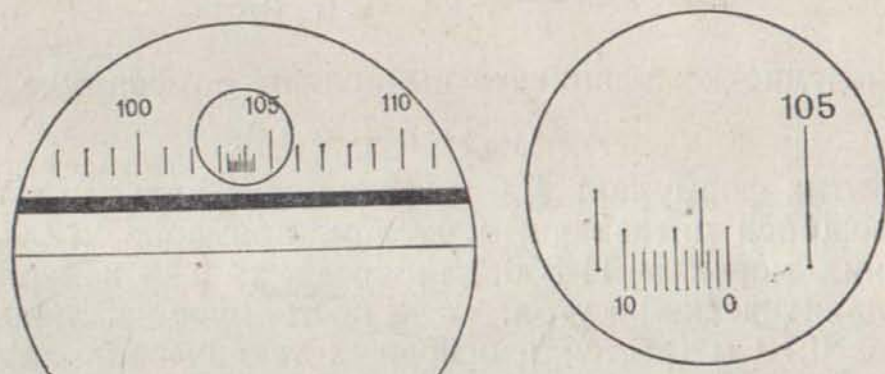


Рис. 160. Отсчеты по шкалам компенсатора и микроскопа дальномерной насадки ДН-8

ным маховичком 8 (см. рис. 158). К измерительному компенсатору прикреплена шкала 8 (см. рис. 159). Шкала компенсатора 8 имеет 120 делений. Оцифровано каждое пятое. Изображение шкалы компенсатора объективом микроскопа 9 и 10 передается на пластинку со шкалой микроскопа 11 и в поле зрения окуляра 12. Десять делений неподвижной шкалы микроскопа (измерительной) соответствуют одному делению шкалы компенсатора. Шкала компенсатора и компенсатор закрыты защитными стеклами 7 и 6. Наличие двух компенсаторов дает двойное изображение. Для повышения точности совмещения изображений в зрительную трубу помещают разделительное устройство: бипризму 15, устанавливаемую вместо стекла со штрихами сетки, и щелевую диафрагму 13, навинченную на окуляр 14. Видимая в окуляр микроскопа часть шкалы компенсатора и шкала микроскопа показаны на рис. 160.

Отсчет по дальномерной шкале	104
Отсчет по шкале микроскопа	0,24
Полный отсчет	104,24

Реек две. На алюминиевой штанге 8 (рис. 161) укреплены две большие 5 и две малые 1 марки, создающие две постоянные базы. Расстояние между осями больших марок 5 — 1018 мм, между осями малых — 550 мм. На штанге укреплены еще угломерная марка 2, визир 3 и круглый уровень 4. Внутри штанги вставлен термометр в оправе (на рис. 161 не показан). Рейки устанавливают на подставке 7, закрепленной на штативе 6 станковым винтом.

Формула для вычисления горизонтальных проложений измеряемой линии будет

$$s = \frac{K}{\beta} + c - \Delta_v + \Delta_t.$$

Значение коэффициента вычисляют по формуле

$$K = (s_0 - c + \Delta_v) \beta.$$

В этих формулах: K — коэффициент дальномера, выражающийся пятизначным числом, примерно 21 000 для крайних марок и 11 350 для средних; β — измеряемый параллактический угол; c — постоянное дальномера, равное 0,10 м (дается в основных технических характеристиках в паспорте дальномера); Δ_v — поправка за наклон линии, вычисляемая по формуле, приведенной в § 118, в тех случаях, когда $v \geq 1^\circ$; Δ_t — поправка за температуру, ее вводят, когда $(t - t_0) \geq 10^\circ \text{C}$, где t — температура, при которой измерялась линия, t_0 — температура, при которой определяли K .

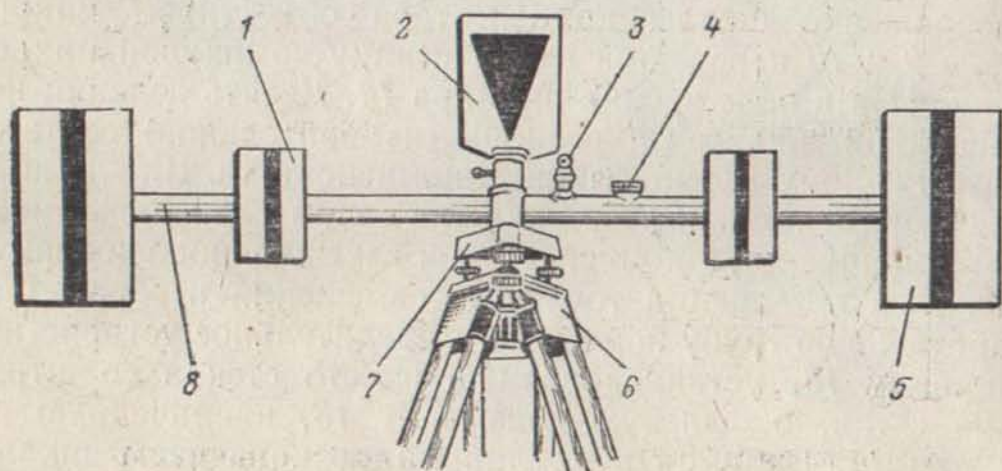


Рис. 161. Дальномерная рейка

Угол наклона определяют наведением горизонтального штриха сетки на середину штанги. При измерении углов наклона и углов поворота насадку с трубы теодолита надо снимать.

Измерение параллактических углов
Линии длиной 50—180 м измеряют по малой базе, а линии длиной 180—700 м — по большой. При длине линий менее 100 м можно измерять половинную величину параллактического угла β .

Последовательность действий при измерении угла β показана на рис. 162.

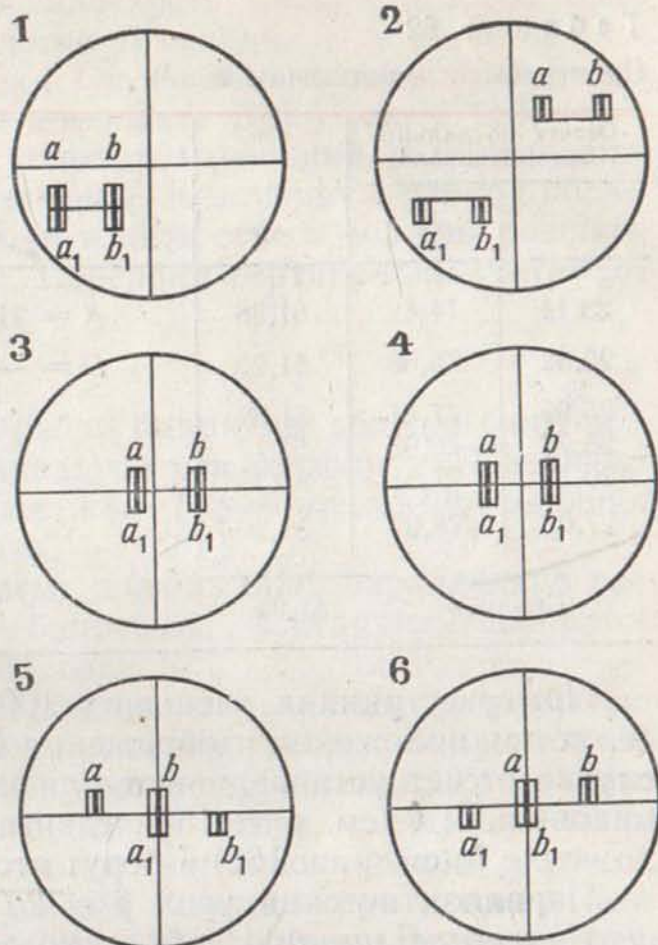


Рис. 162. Схема наблюдения марок дальномерной рейки

1. Маховичком 6 (см. рис. 158) по шкале микроскопа ставят отсчет, близкий к 60, и наводят зрительную трубу на рейку.

2. Наводящим устройством трубы наклоняют ее до совпадения ребра бипризмы (горизонтального штриха) с серединой изображения штанги рейки, что создает разделение изображения рейки.

3. Действуя маховичком 8 (см. рис. 158), совмещают оба изображения марок рейки (a и a_1 , b и b_1 на рис. 162).

4. Действуя наводящим винтом алидады, помещают изображение симметрично относительно вертикального штриха бипризмы.

5. Действуя маховичком 8 (см. рис. 158), совмещают марки в положение, указанное на рис. 162, и делают отсчет n_1 по шкале микроскопа.

6. Действуя тем же маховичком, переводят изображение марок в другое крайнее положение и берут отсчет n_2 .

Угол β будет равен $n_2 - n_1$.

Т а б л и ц а 62

Пример вычисления длины линии

Отсчет по дальномерной шкале		β	Вычисление длины линии
n_1	n_2		
23,14	74,42	51,28	$K = 21\,050$ $D = \frac{K}{\beta} = \frac{21\,050}{51,25} = 410,73$ $c = +0,10$ $\Delta_v = -0,32$ $\Delta_t = -0,01$ <hr/> $s = 410,50 \text{ м}$
25,32	76,58	51,26	
25,99	77,31	51,32	
25,78	76,95	51,17	
26,10	77,35	51,25	
27,07	78,27	51,20	
Среднее		51,25	

При расстояниях, меньших 100 м, первый отсчет n_1 берут при положении изображения 4 (см. рис. 162). В этом случае отсчет устанавливают близким к нулю. Действуя маховичком 8 (см. рис. 158), сдвигают изображение в положение 5 (см. рис. 162) и берут второй отсчет n_2 .

Параллактический угол $\beta = 2(n_2 - n_1)$.

Измерение линий. Необходимо линии измерять в прямом и обратном направлениях. При длине линий до 400 м их измеряют в каждом направлении четыре раза (четырьмя приемами), при большей длине — шестью (табл. 62). Расхождения между значениями параллактических углов β , полученными из различных приемов, не должны превышать: 0,15 деления при длине линий до 400 м и 0,20 — при длине линий свыше 400 м.

Если коэффициенты дальномера K одной рейки отличаются от соответствующих коэффициентов второй рейки на величину, не превышающую 1 : 3000, то при вычислении расстояний можно пользоваться средним значением $K_{ср}$. В этом случае запись номеров реек, по которым измерялись углы β , становится излишней.

Расхождения между средними значениями параллактических углов β , полученных при прямом и обратном измерениях линии, не должны превышать 1 : 500 среднего угла.

Поверки реек

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения подставки.

2. Коллимационная плоскость визира должна быть перпендикулярна к плоскости марок.

Поверки и юстировки 1 и 2 выполняются так же, как горизонтальные рейки комплекта ДН-4 (см. § 119).

3. Ось марки для угловых измерений должна совпадать с осью втулки подставки. К штативу с рейкой подвешивают отвес. Ось марки и нить отвеса должны располагаться на одной линии. Поверяют вертикальным штрихом бипризмы.

Поверки насадки

1. Разделительное ребро бипризмы должно быть перпендикулярно к вертикальной оси теодолита. Поверяется и юстируется, так же как горизонтальный основной штрих сетки теодолита.

2. Щелевая диафрагма должна быть параллельна разделительному ребру бипризмы. Юстируют поворотом щелевой диафрагмы на глаз.

3. Видимый диаметр штанги не должен уменьшаться при наведении разделительного ребра бипризмы на середину штанги. Юстируют исправительными винтами оправы измерительного компенсатора, смещая ее вверх или вниз. Для этого снимают переднюю крышку насадки.

4. Одно деление шкалы компенсатора должно быть равно десяти делениям отсчетной шкалы. Величина рена должна быть не более 0,25 деления отсчетной шкалы. Для юстировки снимают крышку 3 (см. рис. 158), отпускают винты, крепящие оправу линзы 9 (см. рис. 159). Линзу слегка сдвигают в сторону окуляра, если деление шкалы компенсатора больше десяти делений отсчетной шкалы, и, наоборот, в сторону шкалы компенсатора, если деление его шкалы меньше десяти делений.

Определение коэффициента дальномера

Его определяют измерением параллактических углов в прямом и обратном направлениях на различных интервалах эталонного базиса. Общая длина базиса и его интервалов должна быть известна с погрешностью не ниже 1 : 5000. Базис и его интервалы приведены к горизонту.

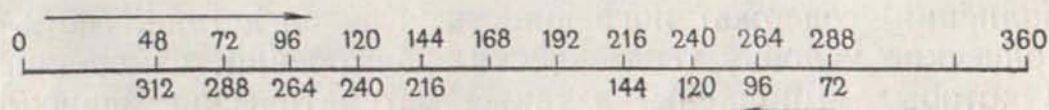


Рис. 163. Схема разбивки базиса

На рис. 163 показан пример разбивки базиса 24-метровой стальной мерной лентой (методика измерения с указанной точностью изложена в § 25). В прямом ходе параллактические углы по средним маркам измеряют на интервалах 70, 120 и 168 м, по крайним маркам — на интервалах 192, 240 и 288 м; в обратном ходе по средним маркам — на интервалах 96, 120 и 144 м, по крайним маркам — на интервалах 216, 264 и 312 м. Параллактические углы измеряют шестью приемами по каждой рейке. Расхождение между приемами не должно превышать 0,15 деления. На каждом интервале измеряют угол наклона и температуру воздуха. Наибольшее расхождение между значениями коэффициентов K , полученными на разных интервалах базиса по одной и той же паре марок, не должно превышать 1 : 1500 его величины. За окончательное значение коэффициента K принимают среднее арифметическое его значение из всех определений.

Коэффициент дальномера перед началом работ по указанной программе определяют дважды. Второе определение можно проводить на следующий день. При бережном обращении с насадкой и рейками последующие определения коэффициента проводят после окончания работ. Определять коэффициент дальномера должен обязательно тот, кто будет работать с данным дальномерным комплектом. Коэффициент дальномера определяют при благоприятной погоде, хорошей видимости и спокойных изображениях.

Глава 15

УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНЫХ И ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

§ 123. НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ УРАВНИВАНИЯ. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ С ОДНОЙ УЗЛОВОЙ ТОЧКОЙ

Все виды измерений (при всей тщательности их выполнения) содержат погрешности. Как следствие, геометрические условия геодезических построений, измерения в которых выполнены, а также математические зависимости элементов этих построений не будут выдержаны. Они будут удовлетворены, если измеренные величины ис-

правлять поправками. Уравнивание преследует цель нахождения таких поправок. При этом найденные из Уравнения поправки должны обеспечивать получение вероятнейших значений измеренных величин и удовлетворение всех геометрических условий фигур и математических зависимостей их элементов, а сумма квадратов этих поправок должна быть минимальной. Уравнивание позволяет также оценить точность определения элементов геодезических построений.

Число значащих цифр в превышениях пунктов нивелирования III и IV классов и технического нивелирования должно выдерживаться до 1 мм, в приращениях координат и координатах пунктов теодолитных ходов соответственно до 1 см и до 0,1 м.

Нивелирная сеть с одной узловой точкой представляет собой систему ходов, опирающихся на пункты с известными высотами и сходящихся в одной точке. Уравнивание такой сети состоит из нахождения среднего весового значения высоты H узловой точки с последующим нахождением высот знаков в нивелирных ходах системы.

Высота узловой точки находится из выражения

$$H_{\text{узн}} = \frac{H'_1 p_1 + H'_2 p_2 + \dots + H'_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n},$$

где $H'_1 = H_A + h_1$; $H'_2 = H_B + h_2$, ..., $H'_n = H_n + h_n$. В свою очередь, в этих выражениях H_A , H_B , ..., H_n — высоты исходных пунктов; h_1 , h_2 , ..., h_n — суммы измеренных превышений по ходам; p_1 , p_2 , ..., p_n — веса измеренных превышений по ходам: $p = C : L$ или $p = C : n$, где L и n — соответственно длина хода в километрах и число штативов в ходе (в нивелировании III класса число штативов равно их сумме из прямого и обратного ходов).

Подробно обработка результатов полевых измерений рассмотрена в § 87.

Распределение поправок в измеренные превышения по секциям и вычисление высот нивелирных знаков по линиям проводят по правилам уравнивания одиночного нивелирного хода в ведомостях превышений и высот пунктов нивелирования, приведенных в § 50.

Оценку точности измеренных превышений и уравниваемой высоты H узловой точки проводят по формулам:

1) средняя квадратическая погрешность единицы веса, выражающая погрешность превышения по отрезку линии

Таблица 63

Уравнивание системы нивелирных линий III класса с одной узловой

Номер узлового репера	Номер исходного репера	Высота исходного репера, м	Номер линии	Длина линии, км	Измеренное превышение, м	Высота узлового репера, м
1	2	3	4		6	7
Стен. реп. 5	Грунт. реп. 11	163,971	1	37,3	+2,043	166,014
	Стен. реп. 3	208,415	2	31,8	-42,390	025
	Грунт. реп. 17	191,342	3	39,1	-25,311	031
	Грунт. реп. 14	178,611	4	42,2	-12,610	001
					H_0	166,001
					$\frac{[εp]}{[p]}$	+0,017
					H	166,018

Примечание. Принятые сокращения: стенной репер — стен. реп.; грунтовой репер — грунт. реп.

Средняя квадратическая погрешность единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{z-k}} = \sqrt{\frac{1315}{3}} = \pm 20,9 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность определения μ

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(z-k)}} = \frac{20,9}{\sqrt{6}} = \pm 8,5 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность измеренного превышения на 1 км хода

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{c}} = \frac{20,9}{\sqrt{100}} = \pm 2,1 \text{ мм.}$$

длиной S километров или погрешность превышения на S штативов:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{z-k}},$$

где z — число линий в системе ходов; k — число узловых точек;

2) средняя квадратическая погрешность вычисления μ :

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(z-k)}};$$

точкой

ε , мм	Вес $p = \frac{100}{L}$	εp , мм	Поправка v в превыше- ние, мм	pv	pv^2	$p\varepsilon^2$ *
8	9	10	11	12	13	14
+13	2,68	34,8	-4	-10,7	43	452,9
+24	3,14	75,4	+7	+22,0	154	1808,6
+30	2,56	76,8	+13	+33,3	433	2304,0
0	2,37	0	-17	-40,3	685	0
	10,75	187,0		+4,3	1315	4565,5
Допустимая				$\pm 5,1$		

* Вычисляется, когда контроль правильности полученных поправок в превышения проводят по формуле

$$[pv^2] = [p\varepsilon^2] - \frac{[p\varepsilon]^2}{[p]}$$

В нашем примере $[pv^2] = 4566 - \frac{34\ 969}{10,75} = 1312$.

Вычислял Новиков С. И.

3) средняя квадратическая погрешность измеренного превышения на 1 км хода, когда p вычисляется обратно пропорционально длине хода:

$$m = \mu : \sqrt{C};$$

когда p вычисляется обратно пропорционально числу штативов

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{C}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}},$$

где $[n]$ — общее число штативов в системе нивелирных ходов; $[L]$ — сумма длин ходов в системе, км.

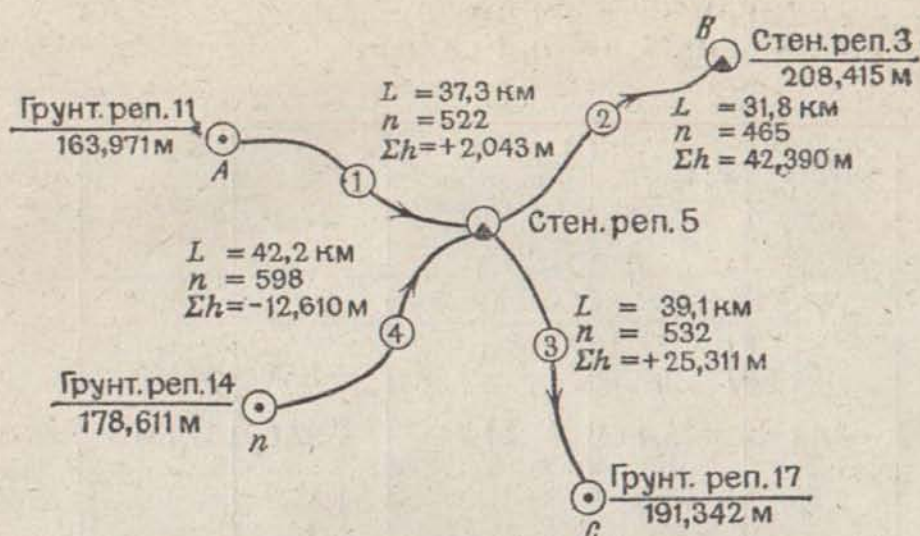


Рис. 164. Система нивелирных ходов с одной узловой точкой

Пример. Уравнивание системы линий нивелирования III класса с одной узловой точкой.

Последовательность действий.

1. Составляют схему сети в масштабе, удобном для пользования схемой (рис. 164), пункты нивелирования на которой изображают в принятых условных знаках. На схеме подписывают номера пунктов, номера линий, высоты исходных пунктов (красным цветом), длины линий в километрах (до 0,1 км), число штативов (для нивелирования III класса указывается сумма штативов из прямого и обратного ходов), значения измеренных превышений в линии, их направление и знак.

2. Приступают к уравниванию. Его выполняют в ведомости, форма которой приведена в табл. 63. В графы с 1 по 6 выписывают исходные данные со схемы сети. В графу 7 записывают высоту узлового репера, вычисленную по каждой линии от исходных пунктов по измеренным превышениям. Устанавливают наименьшее значение высоты H_0 и в графу 8 записывают разности δ . Вычисляют веса измеренных превышений и записывают их в графу 9. В графу 10 записывают произведения $\delta_i p_i$ и находят среднее весовое значение высоты H узлового пункта. Вычисляют поправки v_i в измеренные превышения в линию (графа 11). Правильность вычисления поправок контролируют выражением

$$[pv] \leq [p] \delta,$$

где δ — предельная погрешность округления величины среднего весового значения высоты H и поправок в измеренные превышения (в нашем примере $\delta = 0,5$ мм), или формулой

$$[pv^2] = [p\delta^2] - \frac{[p\delta]^2}{[p]}.$$

3. Проводят оценку точности измеренных превышений, используя для этого приведенные выше формулы.

§ 124. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Уравнивание нивелирной сети состоит из вычисления высот узловых пунктов последовательными приближениями с последующим нахождением высот всех нивелирных пунктов по каждой из линий системы. Способ уравнивания отличается простотой вычислений.

Высоты узловых точек находят по формуле среднего весового значения из нескольких приближений

$$H = H_1 p'_1 + H_2 p'_2 + \dots + H_n p'_n,$$

где H — высота узловой точки, полученная по линиям, образующим данный узел; величина $p'_i = p'_i : [p]$ назы-

Т а б л и ц а 64

Уравнивание превышений и вычисление высот узловых пунктов нивелирной сети III класса способом последовательных приближений

Номер узлового пункта	Номер линии	Номер исходного пункта	Высота исход- ного пункта, м	Измерен- ное пре- вышение, м	Длина линии, км	Вес $p = 10/L$
1	2	3	4	5	6	7
Стен. реп. 6	1	Грунт. реп. 31	169,507	+21,552	24,4	0,41
	2	Грунт. реп. 14	198,353	—7,308	23,0	0,43
	3	Стен. реп. 29		—12,485	33,7	0,30
	4	Стен. реп. 11		—11,047	27,6	0,36
Стен. реп. 11						1,50
	6	Грунт. реп. 12	207,411	—5,357	23,7	0,42
	4	Стен. реп. 6		+11,047	27,6	0,36
	5	Стен. реп. 29		—1,410	20,9	0,48
Стен. реп. 29						1,26
	8	Грунт. реп. 63	210,617	—7,091	31,1	0,32
	5	Стен. реп. 11		+1,410	20,9	0,48
	3	Стен. реп. 6		+12,485	33,7	0,30
	7	Грунт. реп. 14	198,353	+5,149	27,7	0,36
						1,46

Номер узловой пункта	$p' = \frac{p}{[p]}$	Прибл.		
		I	II	
		H, м	H, м	$\varepsilon p'$, мм
1	8	9	10	11
Стен. реп. 6	0,27	191,059	191,059	14,0
	0,29	045	045	11,0
	0,20		029	4,4
	0,24		007	0
Стен. реп. 11	1,00	191,052	191,036	29,4
	0,33	202,054	202,054	0
	0,29		083	8,4
	0,38		104	19,0
Стен. реп. 29	1,00	202,054	202,081	27,4
	0,22	203,526	203,526	7,7
	0,33		491	0
	0,20		521	6,0
	0,25	203,502	502	2,8
	1,00	203,514	203,508	16,5

Примечание. Принятые сокращения: стенной репер — стен. реп.;

$$\mu = \sqrt{\frac{[p p^2]}{z - k}} = \sqrt{\frac{814}{5}} = \pm 12,8 \text{ мм} \quad m = \frac{\mu}{\sqrt{...}}$$

вается приведенным весом и вычисляется до 0,01. Сумма приведенных весов для каждой узловой точки должна быть равна единице, что служит контролем правильности вычисления приведенных весов.

Для удобства и простоты вычислений указанную выше формулу приводят к виду

$$H = H_0 + [\varepsilon p'].$$

Пример. Уравнять способом последовательных приближений сеть нивелирования III класса, состоящую из трех узловых точек и восьми примыкающих к ним линий (рис. 165).

Уравнивание выполняется в последовательности:

1. Составляют схему сети в масштабе, удобном для работы со схемой, с показом на схеме тех же сведений, что и при уравнивании нивелирной сети с одной узловой точкой (см. § 123).

2. Устанавливают последовательность уравнивания узловых точек исходя из того, чтобы уравнивание начиналось с определения высоты той узловой точки, которая имеет наибольшее число связей с исходными пунктами.

3. Заполняют ведомости уравнивания (табл. 64) исходными данными. В графы с 1 по 6 со схемы выписывают для каждой узловой

III		IV		Поправка в превышение, мм	$p v$	$p v^2$
H , м	$\varepsilon p'$, мм	H , м	$\varepsilon p'$, мм			
12	13	14	15	16	17	18
191,059	9,7	191,059	9,4	+17	+6,97	118
045	6,4	045	6,1	+3	+1,29	4
023	0	024	0	-18	-5,40	97
034	2,6	034	2,4	-8	-2,88	23
191,042	18,7	191,042	17,9		-0,02	Доп. $\pm 0,75$
202,054	0	202,054	0	-27	-11,34	306
089	10,2	089	10,2	+8	+2,88	—
098	16,7	099	17,1	+18	+8,64	156
202,081	26,9	202,081	27,3		+0,18	Доп. $\pm 0,63$
203,526	7,7	203,526	7,7	+17	+5,44	92
491	0	491	0	-18	-8,64	—
527	7,2	527	7,2	+18	+5,40	—
502	2,8	203,502	2,8	-7	-2,52	18
203,509	17,7	203,509	17,7		-0,32	814

Доп. $\pm 0,73$

грунтовый репер — грунт. реп.

$$= \frac{12,8}{\sqrt{10}} = \pm 4,0 \text{ мм} \quad m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2(z-k)}} = \frac{12,8}{\sqrt{10}} = \pm 4,0 \text{ мм}$$

точки необходимые данные. Высоты исходных пунктов в графе 4 записывают красным цветом. Особое внимание должно быть уделено правильному написанию знака превышения.

4. Вычисляют веса p и приведенные веса p' . Записывают их соответственно в графы 7 и 8. Контроль правильности вычисления приведенных весов $[p'] = 1$.

5. Приступают к решению приближений: вычисляют высоты узловых точек в последовательности, указанной в графе 1. Вычисляют в первом приближении по одному из ходов или как среднее арифметическое по нескольким ходам значение высоты H узловых точек, имеющих связи с исходными пунктами, и результаты записывают в графу 9. Далее в той же последовательности приступают к вычислению второго приближения, в котором для установления высот узловых точек используют высоты исходных пунктов и высоты узловых точек из первого приближения или высоты из второго приближения, найденные для предшествующих точек (например, высота точки 6 для вычисления высоты точки 11, высоты точек 6 и 11 для вычисления высоты точки 29). Результаты записывают в графу 10. По наименьшему значению высоты H_0 (например, 191,007 для точки ст. реп. 6 во втором приближении) образуют разности $\varepsilon_i = H_i - H_0$, умножают их на приведенные веса p' и полученное произведение $\varepsilon_i p'$ записывают в графу 11. По формуле $H = H_0 + [\varepsilon p']$ находят среднее весовое зна-

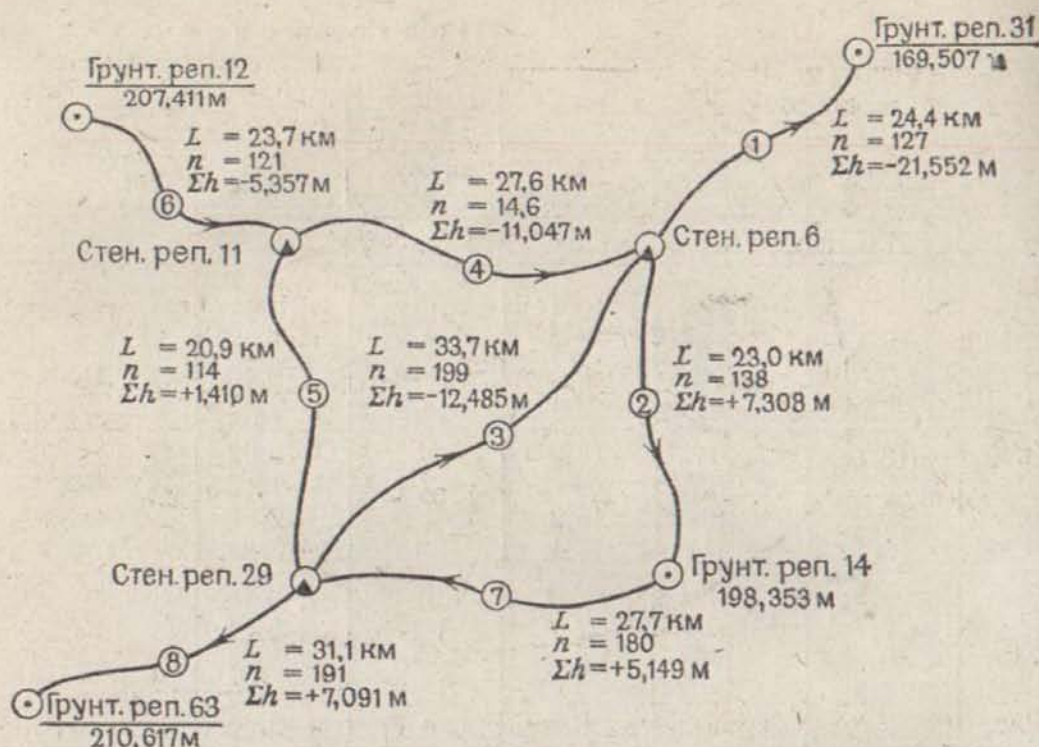


Рис. 165. Система нивелирных ходов с тремя узловыми точками

чение высот узловых точек из второго приближения. Далее, используя высоты исходных пунктов и найденные во втором или третьем приближении высоты узловых точек, в той же последовательности и по тем же правилам решают третье приближение и т. д. Решение приближений заканчивают, когда значения высоты H данной узловой точки в двух последних приближениях будут отличаться между собой не более 1 мм в нивелировании III класса и 2 мм в нивелировании IV класса и техническом нивелировании. За окончательное значение высоты узловой точки принимают ее значение из последнего приближения. Далее вычисляют по формуле $v = H_i - H$ поправки в измеренные превышения для каждой линии с записью их значений в графу 16.

Правильность вычисления средних весовых значений высот пунктов и поправок в измеренные превышения контролируют выражением $[pv] \leq [p] \delta$ (см. § 123) или $[p'v] \leq \delta$. В нашем примере $\delta = 0,5$ мм. Распределение поправок в измеренные превышения по каждой линии и вычисление высот нивелирных знаков по линиям проводят по правилам уравнивания одиночной линии (см. Руководство [1, с. 62, 63]).

6. Оценка качества измеренных превышений проводится по формулам, приведенным в § 123.

§ 125. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ СПОСОБОМ ПОЛИГОНОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА СХЕМЕ СЕТИ (способ В. В. ПОПОВА)

Сущность способа заключается в нахождении последовательными приближениями поправок в измеренные превышения непосредственно на схеме сети без составления и решения нормальных уравнений.

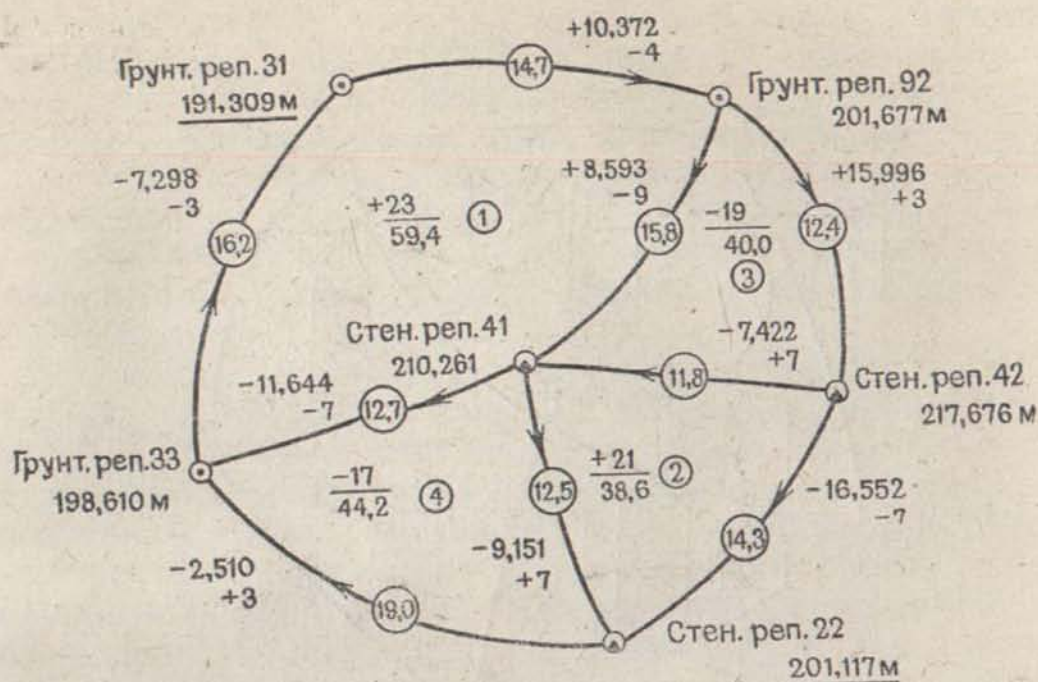


Рис. 166. Схема уравнивания нивелирной сети способом полигонов (способ В. В. Попова)

Схему сети составляют в двух экземплярах в масштабе, легко читаемом и удобном для вычислений. В этих целях длины нивелирных линий на схеме должны быть не менее 5 см. На первой схеме (рис. 166) приводят все данные, необходимые для уравнивания: номера или названия исходных и узловых пунктов, измеренные превышения h по линиям, длины линий (до 0,1 км) или число штативов n , номера и периметры полигонов. Для сокращения числа приближений полигону с наибольшей невязкой присваивают номер 1, полигону, следующему по величине невязки, 2 и т. д. На схеме стрелками показывают направления нивелирования по линиям. Подсчитывают по ходу часовой стрелки и выписывают на схему полученные в каждом полигоне невязки f_h . Сопоставляют их с допустимыми значениями. На эту же схему красным цветом выписывают высоты исходных пунктов (в нашем примере реперы № 22 и 31, их отметки подчеркнуты), поправки из уравнивания в измеренные превышения и уравненные высоты узловых пунктов.

Убедившись в том, что невязки допустимы, переходят к уравниванию, которое выполняют на второй схеме (рис. 167). На второй схеме подписывают номера или названия всех пунктов. По каждому ходу вычисляют до сотых долей красные числа K , равные отношению длины

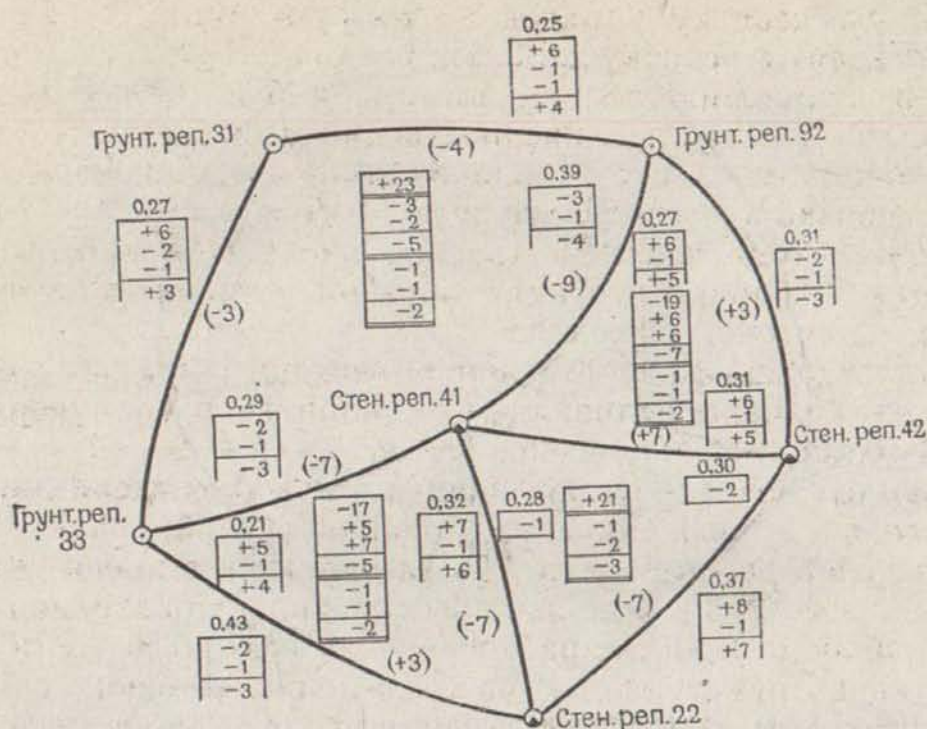


Рис. 167. Схема уравнивания нивелирной сети способом полигонов (способ В. В. Попова)

хода L к периметру полигона Π , т. е. $K = L/\Pi$, или отношению числа штативов в линии к числу штативов во всем полигоне, и записывают их у линии за внешней границей полигона, над табличкой поправок. У линий, являющихся общими для смежных полигонов, будут два значения K и две таблички поправок, расположенные по разным сторонам хода. Величины K подписывают на схеме красным цветом. Сумма этих чисел для каждого полигона равна единице, что служит контролем вычисления красных чисел.

После вычисления красных чисел приступают к распределению невязок полигона. Для этого, начиная с полигона, имеющего самую крупную невязку, красные числа умножают на невязку полигона и результат с тем же знаком, что и невязка полигона, записывают в табличку под красным числом, т. е. $v_1 = K_i f_h$. Это будет поправка в измеренное превышение по данному ходу из I приближения. Сумма поправок для каждого полигона равняется невязке полигона, что служит контролем вычисления поправок. Таким образом невязка в I -м полигоне будет распределена по образующим его ходам. В табличках учтенные поправки подчеркивают одной чертой. Распре-

деленную невязку полигона — двойной чертой. Так же распределяют невязку во 2-м полигоне. Невязку в полигоне 3 исправляют поправками $v_{1,3}$ и $v_{2,3}$, полученными в ходы $L_{1,3}$ и $L_{2,3}$ при распределении невязок в 1-м и 2-м полигонах без изменения знаков поправок. В нашем примере невязка в 3-м полигоне будет $-19 + 6 + 6 = -7$ мм, которую и умножаем на красные числа K линий, образующих 3-й полигон. Таким образом устранили невязку в 3-м полигоне.

Приступаем к распределению невязки в 4-м полигоне. Так же сначала исправляем ее поправкой, полученной из 1-го и 2-го полигонов, т. е. $-17 + 5 + 7 = -5$. Устраняем невязку умножением на красные числа линий полигона 4 и подчеркиваем ее двойной чертой в знак того, что невязка распределена. Сумма поправок в превышения в полигонах 2, 3 и 4 должна быть равна исправленной невязке полигона. После распределения невязки в 4-м полигоне вновь приступаем к распределению невязок, оставшихся во всех полигонах, начиная с 1-го. Новые невязки равны сумме поправок в превышения линий, пришедших из смежных полигонов. Так, в 1-м полигоне распределению подлежит невязка, равная сумме полученных в превышения поправок по линиям из смежных полигонов 3 и 4, т. е. $-3 - 2 = -5$ мм. Во 2-м полигоне вторичная невязка оказалась равной $-1 - 2 = -3$ мм. В 3-м полигоне оставшаяся невязка равна $-1 - 1 = -2$ мм. Такая же невязка -2 мм подлежит распределению и в 4-м полигоне.

Уравнивание заканчивается, когда оставшиеся невязки в полигонах будут равны единице последнего знака превышения. В нашем случае уравнивание завершилось вторым циклом, после которого невязки во всех полигонах оказались равными нулю.

В случае, когда оставшиеся невязки в полигонах будут равны ± 1 мм, их выносят с тем же знаком в превышения по внешним линиям. Итоговые значения поправок в измеренные превышения по каждой линии будут равны для внешних линий полигонов сумме поправок, подписанных под красными числами этих линий и взятых с обратным знаком, т. е. $v_i = -\sum v'_i$. В нашем примере для внешней линии грунт. реп. 31 — грунт. реп. 92 поправка будет равна -4 мм. Поправки в измеренные превышения в линиях, являющихся общими для смежных полигонов, равны сумме поправок, подписанных под красными чис-

лами этих линий с каждой стороны. При этом поправка в превышения из данного полигона берется с тем же знаком, а из смежного полигона — с обратным знаком, т. е. $v_i = v'_i - v'_{i+k}$. В нашем примере поправка в линию стен. реп. 41 — грунт. реп. 92 в полигоне 1 будет $v = -4 + +(-5) = -9$ мм. В эту же линию, но в полигоне 3 поправка будет $v = +5 + (+4) = +9$ мм.

Заключительный контроль выполняют по первой схеме, куда выписывают окончательные значения поправок. В каждом полигоне сумма поправок должна быть равна невязке полигона с обратным знаком, т. е. $\sum v = -f_n$. В нашем случае сумма поправок в полигонах составила: в полигоне 1 — 23 мм, в полигоне 2 — 21 мм, в полигоне 3 — 19 мм и в полигоне 4 + 17 мм, т. е. равна невязкам в этих полигонах с обратным знаком. Затем по формуле $H_i = H_{исх} + (h + v)$ находят высоты всех узловых пунктов. Высоты нивелирных знаков по линиям вычисляют по правилам уравнивания одиночного хода. Оценку точности измеренных превышений проводят по формулам, приведенным в § 123.

§ 126. УРАВНИВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ С ОДНОЙ УЗЛОВОЙ ТОЧКОЙ

Цель уравнивания — определение среднего весового значения дирекционного угла стороны в узловой точке и координат узловой точки.

Уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой выполняется раздельно: сначала уравнивают дирекционный угол стороны, затем — координаты узловой точки.

Уравнивание дирекционного угла. В узловой точке выбирают одну из сторон хода, для которой вычисляют дирекционный угол по каждому из ходов, сходящихся в узловой точке:

$$\alpha_i = \alpha_{i \text{ нач}} \pm \sum \beta_i \pm 180^\circ \cdot n,$$

где i — номер хода; $\sum \beta$ — сумма измеренных углов в ходе, в том числе примычных (знак плюс берется для левых углов, знак минус — для правых); n — число измеренных углов, в том числе примычных. У произведения $180^\circ n$ знак плюс берется для правых углов, знак минус — для левых.

Качество угловых измерений контролируется угловыми невязками, вычисляемыми по паре ходов:

$$f_{1.2} = \alpha_1 - \alpha_2; \quad f_{2.3} = \alpha_2 - \alpha_3,$$

допустимое значение которых приведено в § 38.

Вычисляют вес дирекционного угла стороны в узловой точке по каждому ходу

$$p_i = C : n_i,$$

где n_i — число измеренных углов в ходе.

Уравненное значение дирекционного угла стороны в узловой точке находят по формуле

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{[\varepsilon p]}{[p]},$$

где α_0 — принятый за наименьшее значение дирекционный угол стороны в узловой точке; $\varepsilon = \alpha_i - \alpha_0$.

По уравненному значению дирекционного угла находят угловые невязки по каждому ходу и распределяют их в измеренные углы по правилам уравнивания одиночного хода. Подробное изложение обработки теодолитных ходов и распределения невязок дано в § 38 и 87.

Уравнивание приращений координат. По всем ходам системы вычисляют координаты узловой точки $x_i = x_{исх} + [\Delta x]$; $y_i = y_{исх} + [\Delta y]$. После этого вычисляют веса приращений координат $p = C/n$ и находят уравненные значения координат узловой точки:

$$x = x_0 + \frac{[\varepsilon p]}{[p]}; \quad y = y_0 + \frac{[\varepsilon p]}{[p]}.$$

По уравненным значениям координат узловой точки вычисляют невязки (поправки) приращений координат по каждому ходу сети:

$$f_{x_i} = x_i - x; \quad f_{y_i} = y_i - y.$$

Используя координатные невязки ходов, далее для каждого теодолитного хода вычисляют абсолютную и относительную погрешности

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad 1/N = f/L$$

и сопоставляют с допустимыми значениями.

Полученные в каждом из ходов невязки координат распределяют в каждое из приращений по правилам уравнивания одиночного хода (см. § 38).

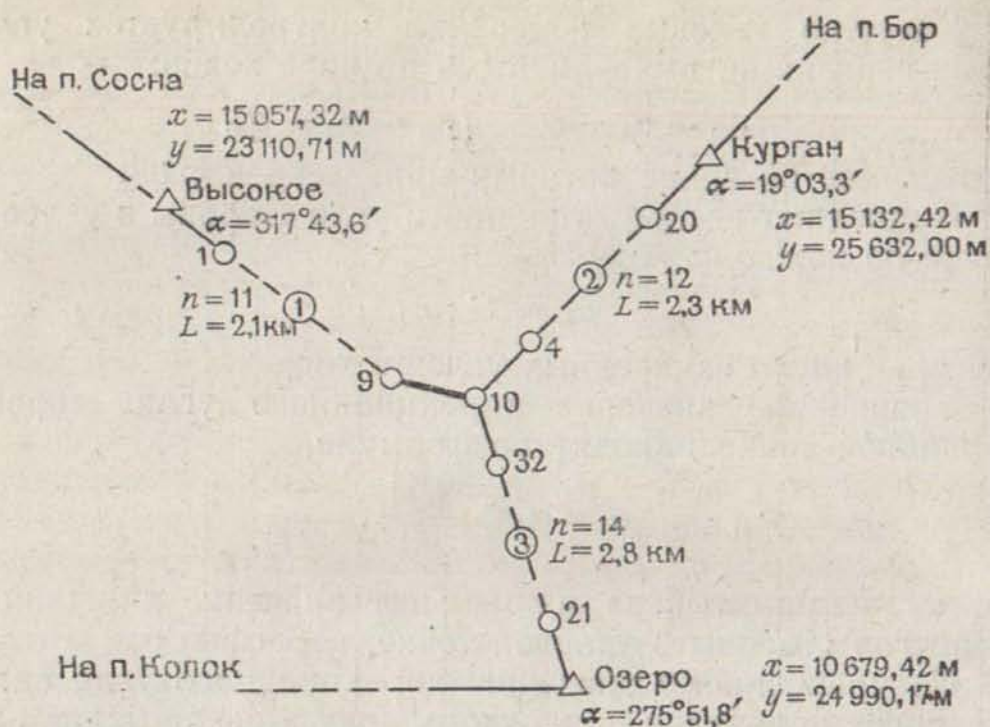


Рис. 168. Система теодолитных ходов с одной узловой точкой

Пример. Уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой.

Порядок действий. Составляют в произвольном масштабе схему теодолитных ходов (рис. 168). Порядок составления и содержание схемы приведены в § 127.

1. Уравнивание дирекционного угла. В узловой точке выбирают одну из сторон любого хода. В ведомость уравнивания (табл. 65) в графы 1, 2, 3, 4 из материалов вычисления теодолитных ходов записывают сведения и данные о ходах и исходных пунктах. В графу 5 записывают подсчитанные до выбранной стороны суммы левых или правых измеренных углов. Вычисляют по каждому ходу дирекционный угол α_i выбранной стороны и записывают его в графу 6. Устанавливают наименьшее значение дирекционного угла стороны (в нашем случае $\alpha_0 = 272^\circ 13,0'$).

В графу 7 записывают вес измеренного угла. Далее находят разности $\varepsilon_i = \alpha_i - \alpha_0$ и произведения εp и записывают их соответственно в графы 8 и 9. Находят среднее весовое (уравненное) значение дирекционного угла и вычисляют угловые невязки по каждому ходу с записью их значений в графе 10. Полученные угловые невязки сопоставляют с их допустимыми значениями.

2. Уравнивание координат узловой точки. В ведомости вычислений (табл. 66 и 67) в графы 1, 2, 3 и 4 записывают сведения и данные о ходах и исходных пунктах. В графу 5 пишут приращения координат Δx и Δy , взятые из ведомостей вычисления отдельных ходов. В графу 6 записывают вычисленные координаты узловой точки x_i и y_i и принимают наименьшее значение x_0 и y_0 (в нашем случае $x_0 = 13\,332,00$ и $y_0 = 24\,252,00$). Далее находят и записывают в графу 7 вес p приращения координат. В графу 8 записывают разности $\varepsilon_i = x_i - x_0$ и $\varepsilon_i = y_i - y_0$, находят произведения εp (графа 9).

Т а б л и ц а 65

Уравнивание дирекционного угла направления 10—9 в узловой точке 10

Номер хода	Число вершин в ходе, угол	Исходный пункт	Исходный дирекцион- ный угол	Сумма углов в ходе	Дирекцион- ный угол узлового направления	Вес $p = 10/n$	ε	εp	$f\beta$	$f\beta p$	$f\beta$ доп
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11 _{лев}	Высокое	137° 43,6'	1934° 31,9'	272° 15,4'	0,91	2,4	2,18	+0,26	+0,24	±3,3
2	12 _{прав}	Курган	199° 03,3'	2086° 49,7'	13,6'	0,83	0,6	0,50	-1,54	-1,28	±3,5
3	14 _{лев}	Озеро	95° 51,8'	2696° 24,8'	16,6'	0,71	3,6	2,56	+1,46	+1,04	±3,7
$f_{1.2} = +1,8'$ $f_{доп} = \pm 3,5'$					α_0 272° 13,0'	2,45		5,24		0	
$f_{2.3} = -3,0'$ $f_{доп} = \pm 3,7'$					$\frac{[\varepsilon p]}{[p]} +$					Доп.	
					α 272° 15,1'					±0,12	

Рытцкая Новиков С. И.

Т а б л и ц а 66

Уравнивание абсциссы x узловой точки 10

Номер хода	Длина хода, км	Исходный пункт	x исходного пункта, м	Сумма Δx в ходе, м	x узловой точки, м	Вес $p = 1/L$	ε , м	εp	f_x , м	$p f_x$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,1	Высокое	15 057,32	-1724,50	13 332,82	0,48	0,82	0,39	+0,10	+0,048
2	2,3	Курган	15 132,42	-1800,30	332,12	0,43	0,12	0,05	-0,60	-0,258
3	2,8	Озеро	10 679,42	+2652,90	333,32	0,36	1,32	0,48	+0,60	+0,216
x_0					13 332,00	1,27		0,92		+0,006
					$\frac{[\varepsilon p]}{[p]} +$				Доп. $[p f_x]$	±0,006
					x 13 332,72 ₄					

Таблица 67

Уравнивание ординаты у узловой точки 10

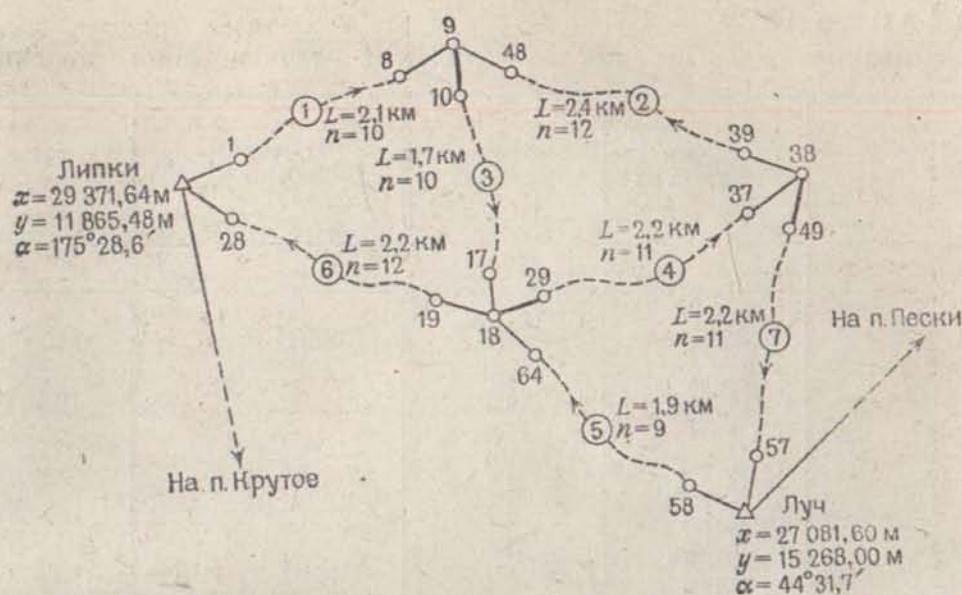
Номер хода	Длина хода, км	Исходный пункт	у исходного пункта, м	Сумма Δu в ходе, м	у узловой точки, м	γ/α	ε , м	εp	f_y , м	p/y	i_x, y'_m	1 : N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2,1	Высокое	23 110,71	+1141,42	24 252,13	0,48	0,13	0,06	-0,38	-0,182	$\pm 0,44$	1 : 4800
2	2,3	Курган	25 632,00	-1379,47	252,53	0,43	0,53	0,23	+0,02	+0,009	0,60	1 : 3800
3	2,8	Озеро	24 990,17	-737,17	253,00	0,36	1,00	0,36	+0,49	+0,176	0,77	1 : 3600
					24 252,00	1,27		0,65		+0,003		
					y_0		Доп. $[p/y] \pm 0,006$					
					$\frac{[ep]}{[p]} + \frac{0,51_2}{y}$							
					24 252,51 ₂							

Вычисляют среднее весовое (уравненное) значение координат узловой точки. Находят координатные невязки по каждому ходу (графа 10) и вычисляют абсолютную и относительную погрешности каждого теодолитного хода. Сопоставляют их с допустимыми значениями.

Правильность вычисленных угловых и координатных невязок в ходах контролируют выражением $[p] \leq [p] \delta$. В нашем примере наибольшая погрешность округления δ среднего весового значения дирекционного угла и угловых невязок ходов и приращений координат и их невязок в ходах соответственно составляют 0,05' и 0,005 м.

§ 127. УРАВНИВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ СПОСОБОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Теодолитные ходы уравнивают способом последовательных приближений в случае, когда образованная ими система ходов содержит несколько узловых точек. Уравнивание выполняют отдельно: сначала уравнивают измеренные в ходах углы, затем — приращения координат. Уравнивание начинают с нахождения дирекционных углов узловых сторон, выбранных для каждой узловой точки, и вычисления координат узловых



точек. Вычисления проводят по формулам, приведенным в § 126.

Порядок действий.

2. Уравнивание дирекционных углов. В ведомость уравнивания (табл. 68) в графы 1, 2, 3, 4 и 5 из материалов обработки теодолитных ходов (см. § 38) выписывают сведения и данные по каждому ходу и по исходным пунктам. В графу 6 записывают найденные по формуле $p = C : n$ веса по каждому теодолитному ходу и подсчитывают их сумму для каждого узла. В графу 7 — найденные по формуле $p' = p : [p]$ веса, приведенные к единице для каждого узлового хода. В графу 8 пишут дирекционные углы сторон, вычисленные в I приближении по теодолитным ходам, примыкающим к исходным пунктам (в нашем примере ходы № 1, 6, 5, 7). Дирекционные углы вычисляют по формуле $\alpha_{\text{кон}} = \alpha_{\text{нач}} \pm \Sigma \beta \pm 180^\circ \cdot n$ с точностью до 0,1'. Дирекционные углы узловых сторон в I приближении получают

Т а б л и ц а 68

Уравнивание способом последовательных приближений дирекционных

Номер узлового направления	Номер хода, угол	Число углов	Исходный дирекционный угол	Сумма углов в ходе
1	2	3	4	5
9-10	1 _{лев}	10	355° 28,6'	1624° 51,0'
9-10	2 _{лев}	12		2321° 38,0'
10-9	3 _{прав}	10		1690° 37,8'
18-29	6 _{прав}	12	355° 28,6'	2444° 30,3'
18-29	3 _{лев}	10		1690° 37,8'
29-18	4 _{прав}	11		2107° 46,7'
18-29	5 _{лев}	9	224° 31,7'	1466° 26,3'
49-38	7 _{прав}	11	224° 31,7'	2185° 47,5'
38-49	4 _{лев}	11		2107° 46,7'
38-49	2 _{прав}	12		2321° 38,0'

[p] =

Номер узлового направления	Номер хода, угол	Приближение		
		III	III	
		α	$\epsilon p'$	α
1	2	11	12	13
9-10	1 _{лев}	19,6'	0	19,6'
9-10	2 _{лев}	22,0'	0,72'	22,0'
10-9	3 _{прав}	20,3'	0,24'	20,2'
18-29	6 _{прав}	20,6'	0,96'	20,5'
18-29	3 _{лев}	58,3'	0,22'	58,3'
29-18	4 _{прав}	58,4'	0,29'	58,3'
18-29	5 _{лев}	57,3'	0	57,3'
		58,0'	0,20'	58,0'
49-38	7 _{прав}	58,0'	0,71'	58,0'
38-49	4 _{лев}	44,2'	0,58'	44,2'
38-49	2 _{прав}	44,7'	0,78'	44,7'
		42,6'	0	42,5'
		44,0	1,36'	43,9'

углов. узловых сторон теодолитных ходов

Вес		Приближение		
$p' = C/p$	$p' = p/[p]$	I	II	
		α	α	ep'
6	7	8	9	10
1,00	0,35	180° 19,6'	19,6'	0
0,83	0,30		22,2'	0,78'
1,00	0,35		20,4'	0,28'
2,83	1,00	180° 19,6'	20,7'	1,06'
0,83	0,22	70° 58,3'	58,3'	0,18'
1,00	0,26		58,5'	0,26'
0,91	0,24		57,5'	0
1,11	0,28	58,0'	58,0'	0,14'
3,85	1,00	70° 58,2'	58,1'	0,58'
1,11	0,36	198° 44,2'	44,2'	0,54'
1,11	0,37		44,8'	0,78'
0,83	0,27		42,7'	0
3,05	1,00	198° 44,2'	44,0'	1,32'

9,73

Продолжение табл. 68

IV	Невязка хода f_B	Допу- стимая f_B доп	f_{BP}
ep'	в минутах		
14	15	16	17
0	-0,9	$\pm 3,2$	-0,9
0,72'	+1,5	3,2	+1,2
0,21'	-0,3	3,2	-0,3
0,93'			0 Доп. $\pm 1,4$
0,22'	+0,3	3,5	+0,2
0,26'	+0,3	3,2	+0,3
0	-0,7	3,3	-0,6
0,20'	0	3,0	0
0,68'			-0,1 Доп. $\pm 1,9$
0,61'	+0,3	3,3	+0,3
0,81'	+0,8	3,3	+0,9
0	-1,4	3,5	-1,2
1,42'			0 Доп. $\pm 1,5$

Вычислял Новиков С. И.

Таблица 69

Уравнивание способом последовательных приближений абсцисс x узловых точек теодолитных ходов

Номер узловой точки	Номер хода	Длина хода L , км	Вес		x исходного пункта, м	Сумма Δx в ходе, м	Приближение								Невязка в ходе f_x , м	f_{x^p}
			$p = 1 : L$	$p' = p : [p]$			I	II		III		IV				
							x , м	x , м	ep' , м	x , м	ep' , м	x , м	ep' , м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
9	1	2,1	0,48	0,32	29 371,64	+725,93	30 097,57	097,57	0,18	097,57	0,18	097,57	0,18	-0,43	-0,206	
	2	2,4	0,42	0,28		+950,17		098,38	0,39	098,22	0,34	098,22	0,34	+0,22	+0,092	
	3	1,7	0,59	0,40		+1689,64		098,02	0,41	098,22	0,49	098,19	0,48	+0,19	+0,112	
			1,49	1,00			30 097,57	097,98	0,98	098,01	1,01	098,00	1,00		-2	
18															Доп.	
															$\pm 0,007$	
	6	2,2	0,45	0,22	29 371,64	-962,74	28 408,90	408,90	0,20	408,90	0,20	408,90	0,20	+0,36	+0,162	
	3	1,7	0,59	0,29		-1689,64		408,34	0,10	408,37	0,11	408,36	0,10	-0,18	-0,116	
	4	2,2	0,45	0,22		-739,53		408,68	0,15	408,52	0,11	408,52	0,11	-0,02	-0,009	
38	5	1,9	0,53	0,27	27 081,60	+1326,87	408,47	408,47	0,13	408,47	0,13	408,47	0,13	-0,07	-0,037	
			2,02	1,00			28 408,38	408,58	0,58	408,55	0,55	408,54	0,54		0	
															Доп.	
															$\pm 0,010$	
	7	2,2	0,45	0,34	27 081,60	+2066,61	29 148,21	148,21	0,41	148,21	0,41	148,21	0,41	+0,17	+0,076	
	4	2,2	0,45	0,34		+739,53		148,11	0,38	148,08	0,37	148,07	0,36	+0,03	+0,014	
	2	2,4	0,42	0,32		-950,17		147,81	0,26	147,84	0,27	147,83	0,27	-0,21	-0,088	
			1,32	1,00			29 148,21	148,05	1,05	148,05	1,05	148,04	1,04		+2	
															Доп.	
															$\pm 0,007$	

 $[p] = 4,83$

Вычислял Новиков С. И.

по одному из ходов или как среднее арифметическое значение из нескольких ходов. Например, для стороны 9-10 по ходу 1 дирекционный угол из I приближения будет $\alpha_i = 355^\circ 28,6' + 1624^\circ 51,0' - 1800^\circ = 180^\circ 19,6'$.

Далее приступают к решению II приближения. В качестве $\alpha_{исх}$ здесь принимают дирекционные углы на исходных пунктах и дирекционные углы узловых сторон, полученные в I приближении или во II приближении для предшествующих сторон. Например, дирекционный угол стороны 9-10 для вычисления дирекционного угла стороны 18-29, дирекционные углы сторон 9-10 и 18-29 для стороны 38-49 (см. рис. 169). Вычисления проводят по приведенной выше формуле и результат (только минуты) до 0,1' записывают в графу 9. Устанавливают наименьшее значение дирекционного угла α_0 (например, для стороны 9-10 $\alpha_0 = 180^\circ 19,6'$). Далее находят разности $\varepsilon_i = \alpha_i - \alpha_0$ и образуют произведения $\varepsilon p'$ с записью их в графу 10. Среднее весовое значение дирекционного угла узловой стороны получают из выражения $\alpha = \alpha_0 + [\varepsilon p']$.

Затем переходят к решению III приближения, которое выполняют в той же очередности, что и во II приближении. За $\alpha_{исх}$ здесь принимают дирекционные углы из исходных пунктов и дирекционные углы узловых сторон, найденные во II или для предшествующих сторон в III приближении. Получают среднее весовое значение дирекционного угла в III приближении и т. д.

Решение приближений продолжают до тех пор, пока расхождения дирекционного угла стороны в двух последних приближениях будут не более 0,1'. По окончании решения приближений по формуле $f_\beta = \alpha_i - \alpha$ находят угловые невязки (до 0,1') в теодолитных ходах (графа 15). Полученные невязки, правильность вычисления которых контролируют выражением $[f_\beta p] \leq [p] \delta$ (графа 17), сопоставляют с допустимыми значениями (графа 16) и по правилам решения одиночного теодолитного хода (§ 38 и 87) распределяют невязки в измеренные углы.

3 Уравнивание приращений координат. В ведомость уравнивания (табл. 69, 70) в графы 1, 2, 3, 6 и 7 из материалов обработки теодолитных ходов (см. § 38) записывают необходимые сведения для уравнивания. В графу 4 вписывают веса приращений координат, полученные по формуле $p = C/L$. Вычисляют приведенные веса, равные $p' = p/[p]$, и записывают их в графу 5. Уравнивание начинают с вычисления координат узловых точек (до 0,01 м), связанных теодолитными ходами с исходными пунктами. Координаты узловых точек находят из выражений $x_i = x_{исх} + \sum \Delta x$; $y_i = y_{исх} + \sum \Delta y$. В I приближении координаты узловых точек получают как среднее арифметическое значение (графа 8). После этого приступают к решению II приближения (графа 9), в котором исходными для вычисления координат узловой точки по приведенным выше формулам служат координаты исходных пунктов и координаты узловых точек, полученные в I приближении, или координаты из II приближения, вычисленные для предшествующей узловой точки. Например, координаты точки 9 для вычисления координат узловой точки 18 и координаты точек 9 и 18 для вычисления координат точки 38 (см. рис. 169). В каждом узле устанавливают наименьшие значения абсциссы x_0 и ординаты y_0 , кратные целым метрам. Образуют разности $\varepsilon_i = x_i - x_0$; $\varepsilon_i = y_i - y_0$, с которыми находят произведения $\varepsilon p'$ (графа 10) и по формулам $x = x_0 + [\varepsilon p']$ и $y = y_0 + [\varepsilon p']$ находят среднее весовое значение координат узловой точки из II приближения.

Т а б л и ц а 70

Уравнивание способом последовательных приближений ординат у узловых

Номер узловой точки	Номер хода	Длина хода L , км	Вес		y исходного пункта, м	Сумма Δy в ходе, м	Прибли		
			$p = 1 : L$	$p' = p : [p]$			I	II	
							y , м	y , м	$\varepsilon p'$, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	1	2,1	0,48	0,32	11 865,48	+1 970,91	13 836,39	836,39	0,44
	2	2,4	0,42	0,28		-2 132,33		835,82	0,23
	3	1,7	0,59	0,40		+11,00		836,74	0,70
			1,49	1,00				13 836,39	836,37
18	6	2,2	0,45	0,22	11 865,48	+1 961,10	13 826,58	826,58	0,57
	3	1,7	0,59	0,29		-11,00		825,37	0,40
	4	2,2	0,45	0,22		+2 140,93		827,22	0,71
	5	1,9	0,53	0,27		-1 443,11		824,89	0,24
			2,02	1,00				13 825,74	825,92	1,92
38	7	2,2	0,45	0,34	15 268,00	+700,15	15 968,15	968,15	0,73
	4	2,2	0,45	0,34		+2 140,93		966,85	0,29
	2	2,4	0,42	0,32		+2 132,33		968,70	0,86
			1,32	1,00				15 968,15	967,88	1,88

 $[p] = 4,83$

Переходят к решению III приближения в той же последовательности, для вычисления координат узловой точки в котором используют координаты исходных пунктов и координаты узловых точек из II или III приближения. Находят среднее весовое значение координат из III приближения и т. д.

Решение приближений выполняют до тех пор, пока координаты узловой точки из двух последних приближений будут отличаться между собой не более 2 см. За окончательное значение координат принимают их значение из последнего приближения. Далее по формулам $f_x = x_i - x$ и $f_y = y_i - y$ находят невязки координат (поправки в приращения координат) по каждому ходу. Правильность их вычисления контролируют выражением $[pf] \leq [p] \delta$.

В нашем примере при уравнивании дирекционных углов $\delta = 0,05'$, при уравнивании приращений координат $\delta = 0,005$ м.

Далее по формуле

$$f_{xy} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

ТОЧЕК ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

жение				Невязка в ходе f_y , м	f_{yp}	Абсолютная невязка хода $f_{x, y}$, м	Относи- тельная невязка хода 1 : N
III		IV					
y , м	$\varepsilon p'$, м	y , м	$\varepsilon p'$, м				
11	12	13	14	15	16	17	18
836,39	0,44	836,39	0,44	+0,06	+0,028	$\pm 0,43$	1 : 4800
835,55	0,15	835,53	0,15	-0,80	-0,336	0,83	1 : 2900
836,92	0,77	836,85	0,74	+0,52	+0,307	0,55	1 : 3100
836,36	1,36	836,33	1,33		- 1		
					доп. $\pm 0,007$		
826,58	0,57	826,58	0,57	+0,74	+0,333	0,82	1 : 2700
825,36	0,39	825,33	0,39	-0,51	-0,301		
826,95	0,65	826,93	0,64	+1,09	+0,490	1,09	1 : 2000
824,89	0,24	824,89	0,24	-0,95	-0,504	0,95	1 : 2000
825,85	1,85	825,84	1,84		+ 18		
					доп. $\pm 0,010$		
968,15	0,73	968,15	0,73	+0,31	+0,140	0,35	1 : 6300
966,78	0,27	966,74	0,26	-1,07	-0,482		
968,69	0,86	968,66	0,85	+0,82	+0,344		
967,86	1,86	967,84	1,84		+ 2		
					доп. $\pm 0,007$		

Вычислял Новиков С. И.

вычисляют абсолютную погрешность хода, а по формуле $t_{xy}/L = 1/N$ — относительную погрешность хода. Сопоставляют ее с требованиями инструкции по топографической съемке к точности теодолитных ходов для данного масштаба съемки.

§ 128. УРАВНИВАНИЕ ВЫСОТ ПУНКТОВ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ ПОСТРОЕНИЙ

Превышения и высоты пунктов, определенные геодезическим нивелированием в триангуляционных построениях, уравниваются способом последовательных приближений или способом полигонов (ходов).

Пример. Уравнять способом полигонов (ходов) превышения между пунктами в цепочке треугольников, образованной при привязке опознаков, и вычислить уравненные высоты пунктов.

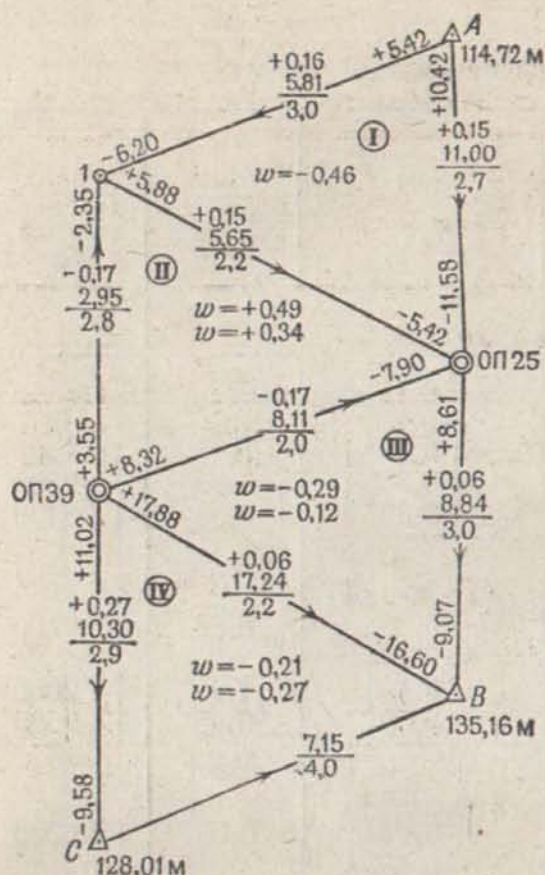


Рис. 170. Схема сети геодезического нивелирования

Порядок действий.

1. Составляют в произвольном масштабе схему сети (рис. 170), на которой подписывают названия или номера пунктов, высоты исходных пунктов, длины сторон в километрах (до 0,1 км). Около пунктов по соответствующим сторонам выписывают превышения с их знаками.

2. Если прямые и обратные превышения в пределах допуска (допустимое расхождение см в гл. 12, § 110), то вычисляют средние превышения. Средние превышения выписывают на схеме посередине сторон сети (над длинами сторон). Положительные направления указывают на сторонах сети стрелками под средними превышениями.

3. В каждом треугольнике в направлении по ходу часовой стрелки вычисляют и подписывают невязки, сопоставляют их с допустимыми значениями. Допустимые невязки в треугольниках подсчитывают по формуле

$$f_{\text{доп}} = K \sqrt{\sum_{i=1}^n S^2},$$

где S — длина линий в километрах; n — число линий; K — коэффициент, равный 0,8 (при съемке с высотой сечения рельефа 5 м величина K может быть принята равной 2,0).

4. Если невязки допустимы, то их распределяют с обратным знаком поровну в средние превышения. В нашем примере (см. рис. 170) в треугольнике I невязка $w_1 = -0,46$ м. Поправки в три средних превышения будут равны $+0,46 : 3 = +0,15$ м. Их выписывают над значением средних превышений. Для треугольника II невязка оказалась равной $+0,49$ м. Используя исправленное превышение по стороне I-ОП 25, невязка стала равна $+0,34$ м. Ее распределяют только по превышениям двух сторон, так как по одной стороне превышение уже исправлено. Поправки в превышения будут равны $0,34 : 2 = -0,17$ м. Так поступают и далее. В треугольнике IV не вводят поправку в превышение между пунктами B и C, поскольку эти пункты исходные и превышения между ними исправлению не подлежат.

5. Закончив распределение невязок в треугольниках, приступают к уравниванию превышений и вычислению высот пунктов. Для этого образуют ходы между исходными пунктами и, пользуясь формулой

$$f = \sum h_{\text{получ}} - \sum h_{\text{теор}}$$

а также предварительно исправленными превышениями, находят высотные невязки в ходах и сопоставляют их с допустимыми значениями.

Таблица 71

Уравнивание превышений и вычисление высот пунктов
в триангуляционном построении методом полигонов (ходов)

Пункт	Длина стороны, км	Предвари- тельно ис- правленное превышение, м	Поправ- ка в пре- вышение, м	Исправлен- ное превы- шение, м	Урав- ненная высота, м
<i>Восточный полигон</i>					
A	3,0	+5,65	+0,13	+5,78	114,72
I	2,8	-2,78	+0,13	-2,65	120,50
ОП 39	2,9	+10,03	+0,13	+10,16	117,85
C					128,01
$\Sigma h_{\text{получ}}$		+12,90			
$\Sigma h_{\text{теор}}$		+13,29			
f_h		-0,39	$f_{h. \text{доп}}$	$\pm 0,62 \text{ м}$	
<i>Западный полигон</i>					
A	2,7	+11,15	+0,20	+11,35	114,72
ОП 25	3,0	+8,90	+0,19	+9,09	126,07
B					135,16
$\Sigma h_{\text{получ}}$		+20,05			
$\Sigma h_{\text{теор}}$		+20,44			
f_h		-0,39		$\pm 0,50 \text{ м}$	

Вычислял Николаев В. С.

ниями. Допустимые невязки подсчитывают по той же формуле, что и допустимые невязки в треугольниках. Далее полученные невязки с обратным знаком распределяют в предварительно исправленные превышения и по ним находят высоты пунктов (табл. 71).

Практические занятия. Уравнивание систем нивелирных и теодолитных ходов каждым из способов, приведенных в этой главе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ассур В. Л., Муравин М. М. Руководство по летней геодезической и топографической практике. М., Недра, 1983.
2. Баканова В. В. Геодезия. М., Недра, 1983.
3. Ганьшин В. Н., Коськов Б. И., Хренов Л. С. Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. М., Недра, 1977.
4. Данилов В. В., Хренов Л. С., Кожевников Н. П., Канонов Н. С. Геодезия. М., Недра, 1976.
5. Захаров И. А. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
6. Инструкция по вычислению нивелировок. М., Недра, 1971.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1974.
8. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы. М., Недра, 1978.
9. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. М., Недра, 1982.
10. Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г. Геодезия. М., Недра, 1980.
11. Рытов А. В., Спиридонов А. И. Геодезические приборы для крупномасштабных съемок. М., Недра, 1977.
12. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Высотные сети. М., Недра, 1976.
13. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Наземные съемки. М., Недра, 1977.
14. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Крюков Г. С. Справочник-каталог геодезических приборов. М., Недра, 1984.
15. Селиханович Е. Г. Геодезия, ч. 2. М., Недра, 1981.
16. Халхунов В. З. Сферическая астрономия. М., Недра, 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Введение	4
§ 1. Предмет геодезии. Изображение земной поверхности на плоскости	4
§ 2. Единицы мер и краткий обзор приборов, применяемых в геодезии	10
Глава 2. Масштабы	14
§ 3. Масштабы	14
Глава 3. Ориентирование на местности	17
§ 4. Понятие об ориентировании	17
§ 5. Азимуты линий	18
§ 6. Дирекционные углы линий	19
§ 7. Магнитные азимуты линий	20
§ 8. Буссоль и ее поверки	22
Глава 4. Топографические карты	25
§ 9. Назначение и классификация карт	25
§ 10. Международная разграфка карты масштаба 1 : 1 000 000	26
§ 11. Номенклатура и размеры листов карт	28
§ 12. Географическая и километровая сетки	33
§ 13. Зарамочное оформление и содержание карт	36
§ 14. Требования, предъявляемые к изображению местности на топографических картах	37
§ 15. Рельеф и его изображение	39
§ 16. График заложений	41
§ 17. Проведение горизонталей	43
§ 18. Задачи, решаемые по карте или плану	46
Глава 5. Измерение расстояний на местности	58
§ 19. Обозначение и закрепление точек на местности	58
§ 20. Мерные приборы	60
§ 21. Поверка мерных лент (компарирование)	62
§ 22. Измерение линий местности штриховой лентой	63
§ 23. Определение горизонтальных проложений	64
§ 24. Погрешности при измерении линий лентой	65
§ 25. Точность измерения линий местности лентами	67
Глава 6. Теодолит и теодолитные работы	68
§ 26. Назначение теодолитных работ и теодолитные ходы	68
§ 27. Теодолиты и принцип их устройства	70
§ 28. Геодезические уровни	73
§ 29. Зрительные трубы геодезических приборов	75

§ 30. Отсчетные устройства теодолитов	77
§ 31. Устройство теодолитов	79
§ 32. Поверки и юстировки теодолитов	86
§ 33. Установка теодолита и измерение горизонтальных и вертикальных углов	93
§ 34. Погрешности измерения углов	100
§ 35. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости	102
§ 36. Непрístupные расстояния	106
§ 37. Привязка теодолитных ходов к исходным пунктам	108
§ 38. Обработка материалов теодолитных ходов	108
§ 39. Микрокалькуляторы	117
Глава 7. Геометрическое нивелирование	119
§ 40. Назначение и способы нивелирования	119
§ 41. Виды геометрического нивелирования	121
§ 42. Нивелиры и их устройство	122
§ 43. Поверки и юстировка нивелиров	126
§ 44. Нивелирные рейки и переходные точки	131
§ 45. Поверки и испытания нивелирных реек	133
§ 46. Погрешности нивелирования	136
§ 47. Нивелирование III класса	140
§ 48. Нивелирование IV класса	141
§ 49. Техническое нивелирование	142
§ 50. Вычисление высот нивелирных знаков	143
Глава 8. Тахеометрическая съемка	145
§ 51. Топографические съемки и их применение	145
§ 52. Сущность, назначение тахеометрической съемки и съемочные сети	147
§ 53. Тахеометры и рейки	151
§ 54. Поверки тахеометров	161
§ 55. Производство тахеометрической съемки	167
§ 56. Составление плана съемки	171
§ 57. Совершенствование и автоматизация съемки	174
Глава 9. Мензульная съемка	175
§ 58. Мензульная съемка и ее применение	175
§ 59. Съемочное обоснование	176
§ 60. Методы определения переходных точек	180
§ 61. Приборы (общие сведения)	183
§ 62. Поверка приборов	188
§ 63. Подготовка планшета	193
§ 64. Приведение мензулы в рабочее положение	194
§ 65. Производство съемочных работ	196
§ 66. Составление плана	199
Глава 10. Комбинированная съемка	200
§ 67. Сущность и особенности комбинированной съемки	200
§ 68. Съемочное обоснование	201
§ 69. Приборы и работы по съемке	203
§ 70. Съемка рельефа	204
§ 71. Дешифрирование	205

Глава 11. Теория погрешностей измерений	209
§ 72. Измерения и погрешности результатов измерений . .	209
§ 73. Классификация погрешностей и предмет теории погрешностей	212
§ 74. Свойства случайных погрешностей измерений . . .	215
§ 75. Оценка точности результатов измерений	217
§ 76. Средние квадратические погрешности функций непосредственно измеренных величин	223
§ 77. Равноточные и неравноточные измерения	226
§ 78. Арифметическая середина	226
§ 79. Средняя квадратическая погрешность арифметической середины	227
§ 80. Вероятнейшие погрешности и их свойства	228
§ 81. Оценка точности результатов измерений по вероятнейшим погрешностям	229
§ 82. Обработка результатов равноточных измерений одной и той же величины	230
§ 83. Неравноточные измерения и веса их результатов . .	233
§ 84. Общая арифметическая середина, ее средняя квадратическая погрешность и вес	234
§ 85. Свойства весов и их некоторые определения	237
§ 86. Средняя квадратическая погрешность единицы веса . .	238
§ 87. Обработка результатов неравноточных измерений одной и той же величины	240
§ 88. Веса функций измеренных величин	243
§ 89. Двойные равноточные измерения	243
§ 90. Формула Феррера	247
Глава 12. Полевая подготовка аэрофотоснимков	248
I. Привязка плановых опознаков	248
§ 91. Назначение и содержание плановой привязки опознаков	248
§ 92. Составление проекта размещения опознаков	249
§ 93. Маркировка опознаков	251
§ 94. Опознавание, оформление и закрепление опознаков . .	252
§ 95. Методы и точность определения плановых опознаков . .	256
§ 96. Привязка опознаков теодолитными ходами	257
§ 97. Привязка опознаков методом триангуляционных построений	259
§ 98. Привязка опознаков методами угловых засечек	262
§ 99. Привязка опознаков полярным методом	268
§ 100. Привязка опознаков методом снесения координат . . .	270
§ 101. Привязка опознаков параллактическим методом . . .	272
§ 102. Привязка опознаков задачей Ганзена	273
§ 103. Привязка опознаков сетями, состоящими из четырехугольников без диагоналей (сети Зубрицкого)	274
§ 104. Сочетание методов	274
II. Привязка высотных опознаков	275
§ 105. Назначение и содержание высотной привязки опознаков	275
§ 106. Составление проекта размещения и маркировка ОВ . .	277

§ 107. Опознавание, оформление и закрепление высотных опознаков	279
§ 108. Методы и точность определения высотных опознаков. Нивелирование горизонтальным лучом	281
§ 109. Определение высот опознаков методом проложения высотных ходов	282
§ 110. Определение высот опознаков по сторонам триангуляционных построений и засечек	284
Глава 13. Определение астрономического азимута	286
§ 111. Небесная сфера и координаты светил	286
§ 112. Измерение времени и связь времен	288
§ 113. Переход от одной системы измерения времени к другой	289
§ 114. Определение азимута направления на земной предмет	293
§ 115. Определение азимута по высоте Солнца	298
§ 116. Определение азимута по часовому углу Солнца	302
§ 117. Определение азимута по часовому углу Полярной	302
Глава 14. Оптические дальномеры двойного изображения	305
§ 118. Принципы устройства дальномеров двойного изображения и определение ими расстояний	305
§ 119. Дальномерный комплект ДН-4	309
§ 120. Дальномерный комплект ДН-10	317
§ 121. Дальномерный комплект ДНР-5	320
§ 122. Дальномерный комплект ДН-8	322
Глава 15. Уравнивание нивелирных и теодолитных ходов	328
§ 123. Назначение и цели уравнивания. Уравнивание нивелирной сети с одной узловой точкой	328
§ 124. Уравнивание нивелирной сети способом последовательных приближений	333
§ 125. Уравнивание нивелирной сети способом полигонов непосредственно на схеме сети (способ В. В. Попова)	336
§ 126. Уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой	340
§ 127. Уравнивание системы теодолитных ходов способом последовательных приближений	344
§ 128. Уравнивание высот пунктов триангуляционных построений	351
Список литературы	354

Всеволод Леонидович Ассур
Александр Михайлович Филатов

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

Редактор издательства *З. Н. Чумаченко*
Переплет художника *В. И. Казаковой*
Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*
Технический редактор *О. А. Колотвина*
Корректор *Н. Г. Гаспарян*

ИБ № 5693

Сдано в набор 08.04.85. Подписано в печать 03.09.85. Т-14774.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная».
Печать высокая. Усл. печ. л. 18,9. Усл. кр.-отт. 18,9. Уч.-изд. л. 19,38.
Тираж 22 000 экз. Заказ 126/148—15. Цена 90 коп.

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

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.