

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Целью линейных измерений является определение горизонтальных расстояний (проложений) между точками местности. Длины линий местности в геодезии измеряют непосредственным либо косвенным способами; каждому из этих способов присущи свои приборы и методы измерений.

Непосредственный способ основан на непосредственном измерении линий местности механическими линейными приборами, к которым относятся мерные ленты, рулетки и проволоки. Процесс измерения длин линий непосредственным способом состоит в последовательном откладывании мерного прибора в створе линии.

При **косвенном способе** длина линии определяется как функция установленных геометрических или физических соотношений. Геометрические соотношения используют для аналитических вычислений искомых расстояний по измеренным базисам и углам, а также в оптических дальномерах. Физические соотношения для измерения расстояний положены в основу конструкции электрофизических приборов — светодальномеров и радиодальномеров.

Механические приборы для непосредственного измерения длин линий

Мерные ленты. При геодезических работах линии измеряют мерными лентами длиной 20 и 24, реже 50 и 100 м. Мерные ленты изготавливаются из стали или инвара (сплава 64% железа, 35,5% никеля и 0,5% различных добавок, обладающего малым температурным коэффициентом линейного расширения $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6}$). По конструкции различают *штриховые и шкаловые ленты*.

При инженерных геодезических работах обычно применяют стальные штриховые мерные ленты типа ЛЗ (лента землемерная).

Штриховая лента (рис. 53, а) представляет собой стальную полосу длиной 20 или 24 м, шириной 15–20 мм и толщиной 0,3–0,4 мм. За длину ленты принимается расстояние между штрихами, нанесенными напротив середины закруглений специальных вырезов, в которые вставляются металлические заостренные шпильки для фиксации концов ленты на земной поверхности в процессе измерений.

20-метровая штриховая лента разделена на метры, полуметры и дециметры. Метровые деления отмечены с обеих сторон полотна овальными пластинками (латунными или алюминиевыми), на которых выдавлены порядковые номера метров; для удобства пользования на разных сторонах полотна ленты подписи метров возрастают в противоположных направлениях. Дециметровые деления обозначены отверстиями в полотне ленты, а полуметры — круглыми заклепками с шайбами. Отрезки линий менее дециметра оцениваются по ленте на глаз с точностью до 1 см. В нерабочем положении лента наматывается на специальную металлическую кольцевую оправу и закрепляется винтом (рис. 53, б). К ленте прилагается комплект из 6 или 11 шпилек на проволочном кольце (рис. 53, в).

24-метровые штриховые ленты по виду, оцифровке и числу делений не отличаются от 20-метровых; длина условного метра для них составляет 120 см. Поэтому для получения фактического расстояния результат измерений 24-метровой лентой следует умножить на коэффициент 1,2. Такие ленты предназначены для контрольных измерений расстояний, выполненных обычной 20-метровой лентой. В зависимости от условий местности штриховые ленты обеспечивают точность измерений длин линий от 1:1000 до 1:3000.

Для линейных измерений с повышенной точностью используются шкаловые ленты типа ЛЗШ, изготавливаемые из стали или инвара.

Шкаловая лента представляет собой сплошную полосу, на концах которой имеются шкалы длиной по 10 см с миллиметровыми делениями (рис. 53, г). Разбивка на метровые и дециметровые отрезки на ленте отсутствует. За длину ленты принимается расстояние между нулевыми делениями шкал.

Измеряемая линия предварительно разбивается на пролеты, длина которых примерно равна номинальной длине ленты (24 или 48 м). Длины пролетов фиксируются штрихами, которые прочерчиваются на подкладываемых под концы ленты башмаках, а также иглами либо лезвиями специальных ножей. Натяжение ленты производится с помощью динамометра. Отсчеты по шкалам берутся с точностью до 0,2 мм. Измерение длин шкаловыми лентами может производиться как по поверхности земли, так и в подвешенном состоянии на специальных штативах с блоками. Точность измерения длин стальными шкаловыми лентами при благоприятных условиях достигает 1:7000, а инварными — 1:100 000.

Рулетки предназначены для измерения коротких линий при топографо-геодезических, землеустроительных и строительных работах. Рулетки бывают стальные длиной 10, 20, 30, 50 м и более и тесьмяные длиной 5, 10 и 20 м.

В инженерно-геодезических работах используются металлические рулетки в закрытом корпусе типа РЗ (рис. 54, а), на крестовине типа РК (рис. 54, б), на вилке типа РВ (рис. 54, в) и др.

В геодезической практике часто применяются рулетки на вилке или крестовине типов РГ-20, РГ-30 и РГ-50, изготавливаемые из нержавеющей стали, обладающие высокими механическими свойствами и большой коррозионной стойкостью. Металлические рулетки представляют собой полосу из стали (реже — инвара), на которой нанесены сантиметровые или миллиметровые деления. По точности нанесения шкал рулетки делятся на 1, 2 и 3-й классы. Точность измерения длин линий стальной рулеткой достигает 1:5000 и выше.

Для грубых измерений, когда можно пренебрегать погрешностями в несколько сантиметров (например, при съемке ситуации), используются тесьмяные рулетки в пластмассовых или металлических футлярах. Тесьмяная рулетка выполнена в виде полотняной полосы с проволочной стабилизирующей основой, окрашенной масляной краской, на которой отпечатаны сантиметровые деления и подписи дециметров и метров. Точность ее невелика, так как тесьма со временем вытягивается; кроме того, прочность этих рулеток значительно меньше, чем стальных.

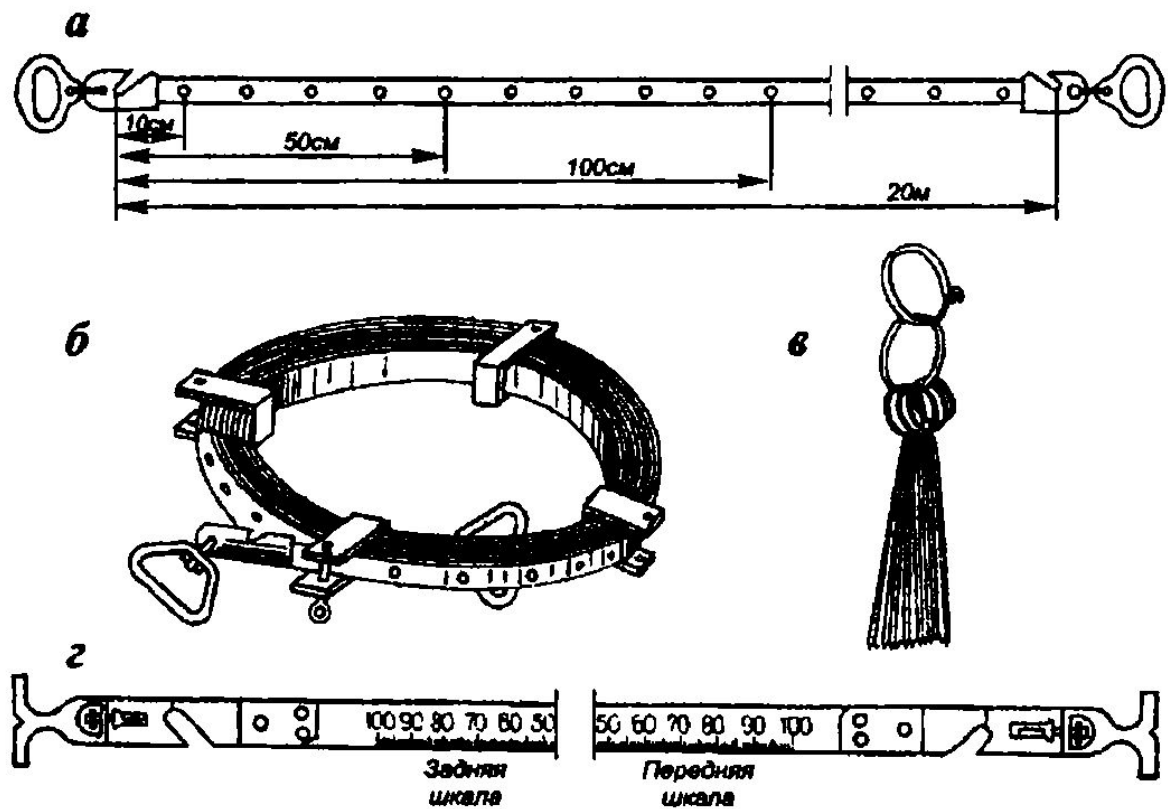


Рис. 53. Мерные ленты:

а — штриховая лента ЛЗ-20; б — вид в сборке;
 в — комплект шпилек; г — шкаловая лента ЛЗШ

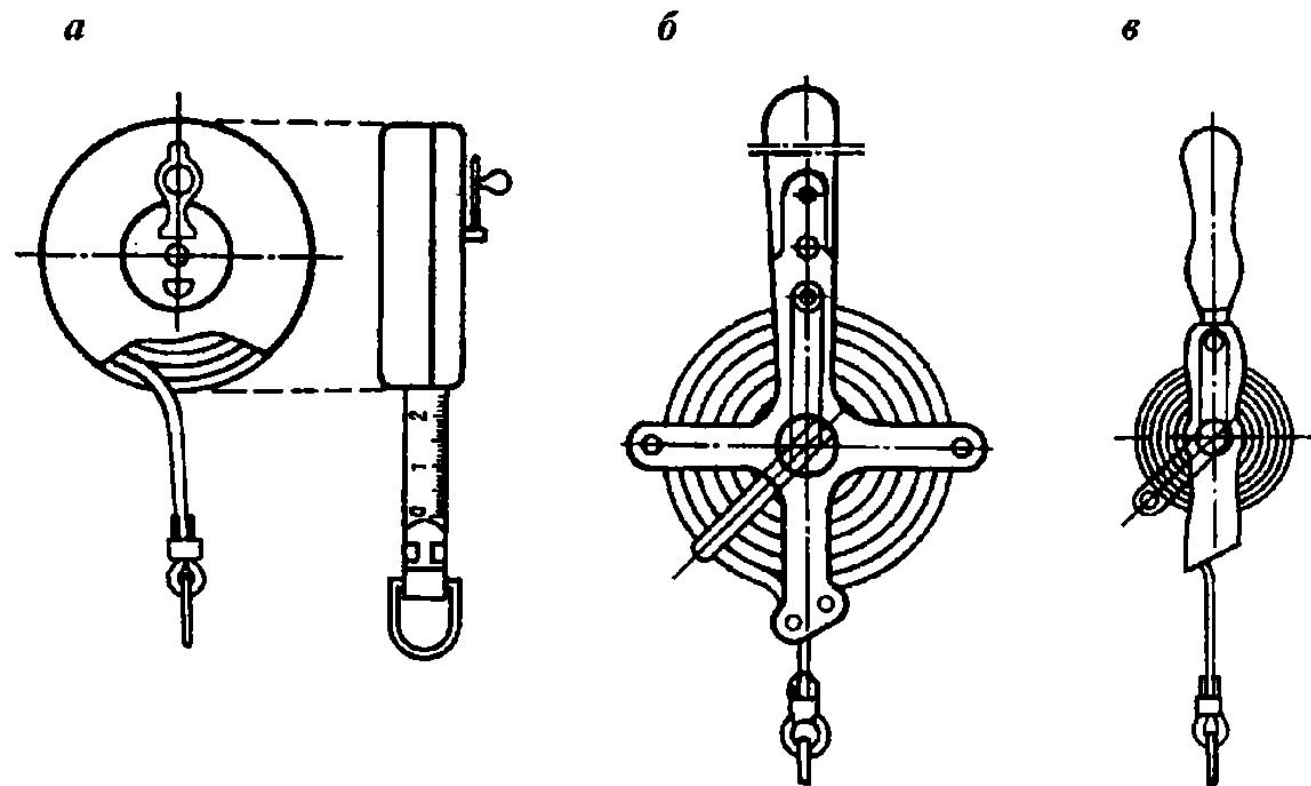


Рис. 54. Рулетки:

а — в корпусе типа РЗ; б — на крестовине типа РК;
 в — на вилке типа РВ

Мерные проволоки. При точных и высокоточных линейных измерениях применяют стальные и инварные проволоки длиной 24 и 48 м, диаметр проволоки — 1,65 мм. На обоих концах проволоки расположены шкалы длиной 8–10 см с миллиметровыми делениями (рис. 55, а).

Измерение длин линий мерными проволоками производится по кольям или по целикам, устанавливаемым на штативах в створе линий. При измерениях проволока подвешивается на блочных станках под натяжением 10-килограммовых гирь (рис. 55, б). Пролеты между целиками или кольями измеряют несколько раз. Отсчеты по обеим шкалам проволоки производят одновременно с точностью до 0,1 мм.

Инварные проволоки входят в комплект *базисных приборов БП-1, БП-2 и БП-3*, которые используются для измерения базисов в сетях триангуляции и длин сторон в полигонометрии, а также при точных инженерно-геодезических работах. В зависимости от числа проволок в комплекте, условий и методики измерений точность линейных измерений стальными проволоками колеблется от 1:10 000 до 1:25 000, а инварными проволоками — от 1:30 000 до 1:1 000 000.

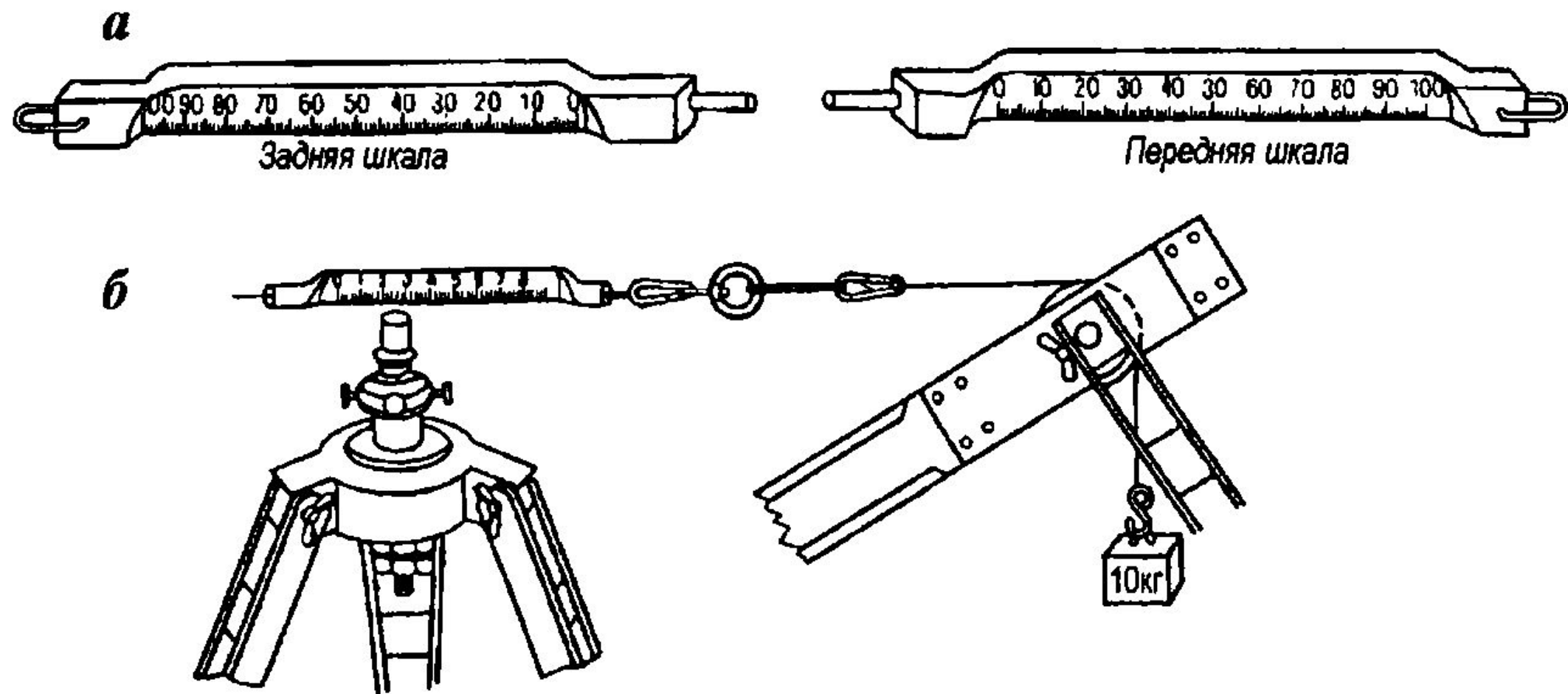


Рис. 55. Инварная мерная проволока:
а — шкалы; б — целик на штативе и блочный станок с грузом

Компарирование мерных приборов

Фактическая длина мерного прибора обычно отличается от *номинальной*, т. е. указанной на нем длины. Поэтому перед измерениями должна быть определена фактическая длина применяемого мерного прибора путем ее сравнения с известной длиной *нормального (образцового)* прибора, имеющего установленную точность. Практически в этом качестве может быть использован мерный прибор, точность измерений которым в 3–5 раз выше, чем поверяемым.

Процесс сравнения длины рабочего мерного прибора с образцовой мерой называется компарированием. В общем случае процесс компарирования можно рассматривать как измерение одной и той же длины образцовой и рабочей линейными мерами. Компарирование производится на лабораторных (стационарных) и полевых компараторах либо упрощенным способом.

Компарирование стальных и инварных проволок, мерных лент и рулеток, предназначенных для точных измерений, может выполняться на полевых компараторах. Полевой компаратор устраивают на ровной и открытой местности с устойчивым грунтом в виде линии длиной 120 или 240 м, т. е. кратной длинам проволок и лент. Концы компаратора закрепляют бетонными монолитами, на верхней поверхности которых имеются специальные марки. Длину компаратора измеряют несколько раз образцовыми инварными проволоками. Затем эту же длину многократно измеряют рабочим прибором и вычисляют поправку за компарирование.

Длины рабочих стальных лент и рулеток поверяют упрощенным способом. На ровной поверхности (например, на бетонном полу или асфальте) укладывают рядом образцовую и рабочую меры, имеющие одинаковую номинальную длину, и совмещают их нулевые деления. Обоим мерным приборам задают одинаковое натяжение (обычно 10 кг) и линейкой измеряют разность Δl_k между фактической длиной l мерного прибора и длиной l_0 образцового (контрольного) прибора, т. е.

$$\Delta l_k = l - l_0,$$

где Δl_k — поправка за компарирование.

Тогда фактическая длина рабочей ленты (рулетки) будет

$$l = l_0 + \Delta l_{\kappa'} \quad (50)$$

где l_0 — номинальная длина рабочей ленты или рулетки.

При этом поправка за компарирование Δl_{κ} считается положительной, если длина рабочей ленты больше номинальной, и отрицательной, если меньше номинальной.

В случае, когда при линейных измерениях необходимо учитывать температурные поправки, то следует измерить температуру t_0 , при которой производилось компарирование. По окончании компарирования к каждому мерному прибору (проволоке, ленте, рулетке) прилагают свидетельство (аттестат), в котором указываются способ и дата компарирования, длина прибора, натяжение и температура компарирования.

Понятие о свето- и радиодальномерах

В настоящее время в геодезии большое распространение получили электрофизические приборы для определения расстояний, основанные на принципах электронного измерения времени распространения электромагнитных волн между конечными точками измеряемой линии. В зависимости от вида электромагнитных колебаний такие приборы подразделяются на *светодальномеры*, использующие поддиапазон видимых и инфракрасных длин волн, и *радиодальномеры*, использующие поддиапазон радиоволн.

Светодальномеры. По методу определения времени прохождения света по измеряемой линии светодальномеры можно делить на импульсные, фазовые и комбинированные.

В импульсных светодальномерах излучение света высокой интенсивности производится в виде кратковременных импульсов, а время прохождения световым импульсом расстояния до отражателя и обратно определяется непосредственно с помощью быстродействующего датчика времени либо с последующим преобразованием временного интервала.

Принцип измерения расстояния импульсным светодальномером показан на рис. 56.

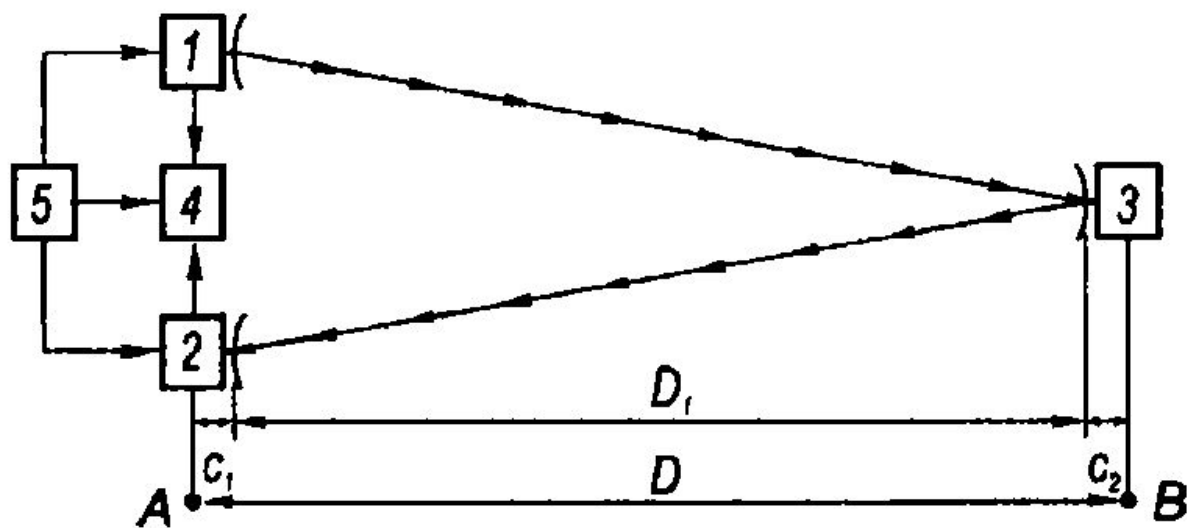


Рис. 56. Принцип измерения расстояния светодальномером

Импульс электромагнитных колебаний передатчиком 1 направляется к отражателю 3; одновременно часть импульса направляется на индикатор времени 4. Отраженный импульс улавливается приемником 2 и регистрируется индикатором времени. Для образования сигнала и обеспечения работы частей дальномера служит источник энергии 5. Определив время t прохождения импульсом пути «передатчик — отражатель — приемник» и зная скорость V распространения электромагнитных волн в воздухе, можно рассчитать расстояние между точками A и B по формуле

$$D = D_1 + c = V \frac{t}{2} + c, \quad (51)$$

где V — скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, равная $V = V_0 / n$; V_0 — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме ($V_0 = 299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с); n — показатель преломления воздуха, зависящий от температуры, давления и влажности воздушной среды; D_1 — расстояние, проходимое световым импульсом от передатчика до отражателя; c — постоянная дальномера, определяемая специальными исследованиями; согласно рис. 56 $c = c_1 + c_2$.

Для более точных измерений в геодезических работах получили распространение *фазовые светодальномеры*, в которых время прохождения световой волны по измеряемой длине определяется косвенно — методом сравнения фаз опорного и отраженного сигналов.

Дальнейшим развитием этого метода является *импульсно-фазовый гетеродинный способ измерения*, реализованный в светодальномерах типов СТ5, СП2 и электронных тахеометрах типов Та5 и Та3. В комбинированных светодальномерах используется импульсный метод для измерения в режиме «ГРУБО» и фазовый — в режиме «ТОЧНО».

В современных светодальномерах в качестве источников света используются светодиоды и лазеры. Результаты измерений индицируются на цифровом табло.

Радиодальномеры. Принцип действия радиодальномеров практически тот же, что и светодальномеров. Радиодальномер состоит из двух взаимозаменяемых приемопередающих радиостанций, размещаемых в пунктах, между которыми определяется расстояние. Радиостанции снабжены устройствами для измерения времени прохождения радиосигналов от одного пункта до другого. В отличие от светодальномеров, на работу которых существенное влияние оказывают атмосферные условия, радиодальномеры позволяют вести измерения при любых метеорологических условиях (кроме сильного дождя) и в любое время суток. Радиодальномеры обладают большей (до 150 км) дальностью действия, чем светодальномеры. Это объясняется меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми, а также применением в радиодальномерах активных отражателей, которые ретранслируют сигналы, принятые от передающей станции.

Недостатком радиодальномеров являются большая постоянная часть погрешностей измерений (до 3 – 5 см) и возможность получения ошибочных результатов вследствие отражения радиоволн от складок рельефа и местных предметов.

Оптические дальномеры. Нитяной дальномер

Принцип измерения расстояний оптическими дальномерами. *Оптические дальномеры* — это геодезические приборы, позволяющие определять горизонтальные и наклонные расстояния косвенным методом. При этом в основу определения расстояний положено решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника, имеющего одну короткую сторону (рис. 57, а).

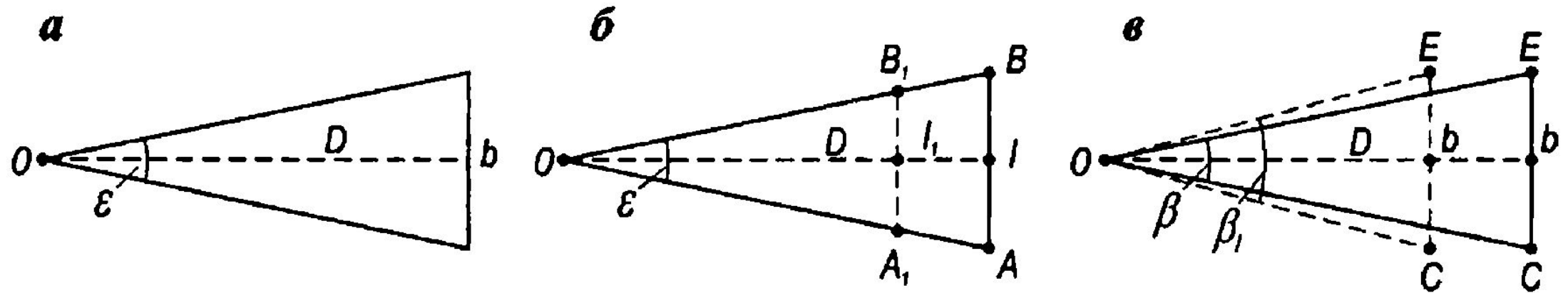


Рис. 57. Принцип измерения расстояния оптическими дальномерами:
а — паралактический треугольник; б — с постоянным паралактическим углом; в — с постоянной базой

Острый угол ε такого треугольника называется *параллактическим*, а противолежащая сторона b — *базой*. Расстояние D определяется решением параллактического треугольника по формуле

$$D = b/2 \operatorname{ctg} \varepsilon/2. \quad (52)$$

Поскольку угол ε мал (менее 1°), то функцию $\operatorname{tg} \varepsilon/2$ можно заменить значением аргумента $\varepsilon/2$, выраженным в радианной мере.

Тогда

$$D = \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \varepsilon/2} = \frac{b \cdot \rho}{\varepsilon}. \quad (53)$$

Конструкциями оптических дальномеров предусматривается, что одна из величин (угол ε или база b) является постоянной, а вторая — переменной величиной, подлежащей измерению. В зависимости от этого различают два типа оптических дальномеров.

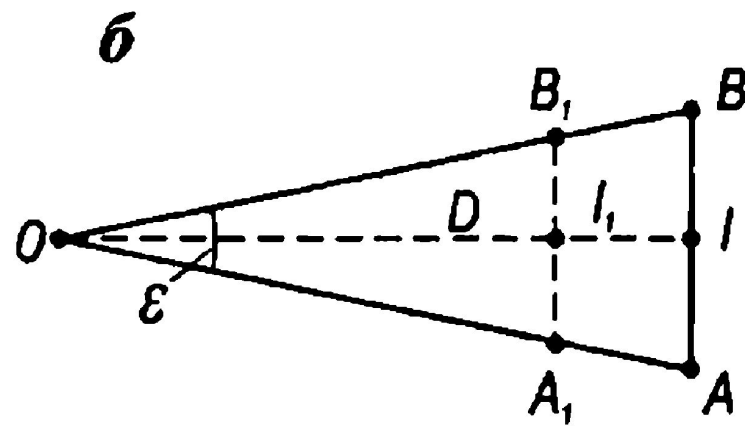
Дальномеры с постоянным параллактическим углом (рис. 57, б). При работе с такими дальномерами измеряют переменную величину l (базу) с помощью дальномерной рейки, устанавливаемой в конечной точке измеряемой линии. В этом случае расстояние D равно

$$D = \frac{l \cdot \rho}{\varepsilon}.$$

Обозначив в последней формуле постоянную величину через K , т. е. $\rho/\varepsilon = K$, получим

$$D = Kl, \quad (54)$$

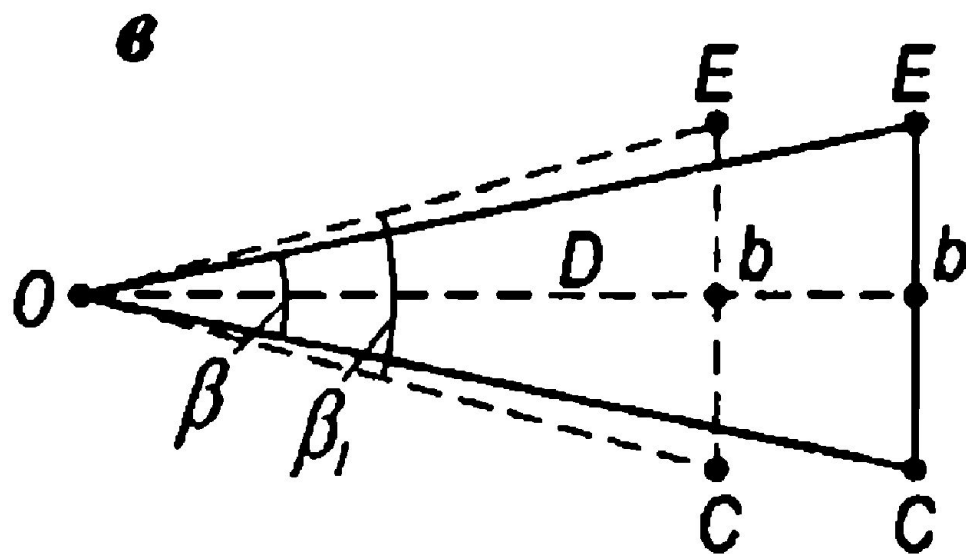
где K — коэффициент дальномера.



Дальномеры с постоянной базой (рис. 57, в). При работе с дальномерами данного типа измеряют угол β ; постоянный базис b закрепляется на дальномерной рейке специальными марками. В этом случае искомое расстояние D определится по формуле

$$D = K / \beta, \quad (55)$$

где $K = bc$ — коэффициент дальномера.



Определение расстояний нитяным дальномером. *Нитяной дальномер* относится к простейшим оптическим дальномерам с постоянным параллактическим углом и переменной базой при определяемой точке. Он представляет собой зрительную трубу, на сетке нитей которой дополнительно нанесены дальномерные штрихи (рис. 58), расположенные симметрично визирной оси.

Нитяные дальномеры не являются самостоятельными приборами. Они совмещаются с геодезическими приборами (теодолитами, нивелирами, кипрегелями), что придает этим приборам универсальность.

Теория нитяного дальномера определяется типом зрительной трубы, в которой он используется, — с внешним или внутренним фокусированием. Рассмотрим его принципиальную схему.

Пусть требуется определить расстояние D (рис. 58, а) между точками 1 и 2. В точке 1 установлен теодолит, ось вращения которого совпадает с отвесной линией точки 1; в точке 2 вертикально установлена дальномерная рейка.

Рассмотрим вначале частный случай, когда визирная ось трубы занимает горизонтальное положение и, следовательно, перпендикулярна к рейке. Параллактический угол ε образуется лучами визирования, проходящими через дальномерные нити a и b ; его величина зависит от расстояния между ними $p = ab$. Вершина угла совпадает с передним фокусом F объектива.

Как видно из рис. 58, а, искомое расстояние

$$D = E + \delta + f, \quad (56)$$

где E — расстояние от переднего фокуса объектива до рейки; δ — расстояние от объектива до оси вращения прибора; f — фокусное расстояние объектива.

Лучи от дальномерных нитей a и b , пройдя через объектив и его передний фокус, пересекают рейку в точках A и B . Из подобия треугольников ABF и $a'b'F$ имеем

$$\frac{E}{n} = \frac{f}{p}, \text{ откуда } E = \frac{f}{p} \cdot n.$$

Практически измерение расстояния нитяным дальномером производится следующим образом. Визируют на рейку и наводящим винтом зрительной трубы совмещают верхнюю дальномерную нить с отсчетом, кратным 10 см. По рейке отсчитывают число сантиметров, заключенных между дальномерными нитями. При $K = 100$ дальномерный отсчет по рейке в сантиметрах выразит искомое расстояние в метрах (рис. 58, б).

При измерении больших расстояний, а также в случаях, когда нижние деления рейки закрываются травой, кустарником, складками рельефа местности и т. п., для взятия дальномерных отсчетов можно пользоваться дальномерной и средней нитями, принимая коэффициент дальномера $K = 200$. С помощью нитяного дальномера рекомендуется измерять линии длиной не более 200 м; при больших расстояниях линию следует делить на части.

К достоинствам нитяного дальномера относятся простота устройства и удобство применения, к недостаткам — сравнительно низкая точность измерения расстояний, равная 1:200 — 1:400. Такая точность обусловлена влиянием на результаты измерений неблагоприятных внешних условий, неточности отсчитывания по рейке, большой толщины нитей, неточности коэффициента дальномера и делений рейки и т. п. При необходимости точность измерения длин линий может быть повышена применением дальномеров двойного изображения.

Определение коэффициента дальномера. Значения постоянных дальномера обычно приводятся в паспорте геодезического прибора. Однако перед началом полевых работ независимо от паспортных данных следует определять коэффициент дальномера.

В практике геодезических работ обычно применяется способ зависящего определения коэффициента нитяного дальномера. Этот способ учитывает цену деления рейки, поэтому полученное значение коэффициента дальномера соответствует только определенной дальномерной рейке. В основу определения коэффициента дальномера K положена формула

$$K = \frac{D}{n}, \quad (59)$$

Определение коэффициента дальномера следует проводить с точностью $\pm 0,1$ при наиболее благоприятных атмосферных и погодных условиях.

Для этого на ровной местности выбирается базис, на котором отмеряются отрезки длиной 25, 50, 75, 100 и 150 м (рис. 58, в). Длину базиса и его отрезков измеряют мерной лентой или дальномером двойного изображения с точностью не ниже 1:2000.

На одном конце базиса устанавливают прибор, а в точках 1, 2, 3, 4, B — последовательно дальномерную рейку в прямом, а затем в обратном направлениях. В каждой точке берут дальномерные отсчеты по рейке. Из каждой пары отсчетов вычисляются коэффициенты дальномера $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$, значения которых не должны отличаться друг от друга более чем на 0,4. За окончательное значение коэффициента дальномера принимают среднее арифметическое

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n}{N}, \quad (60)$$

где N — число измеренных отрезков.

Если коэффициент дальномера не равен 100, то для удобства и повышения производительности при определении расстояний составляется таблица поправок, рассчитываемая по формуле

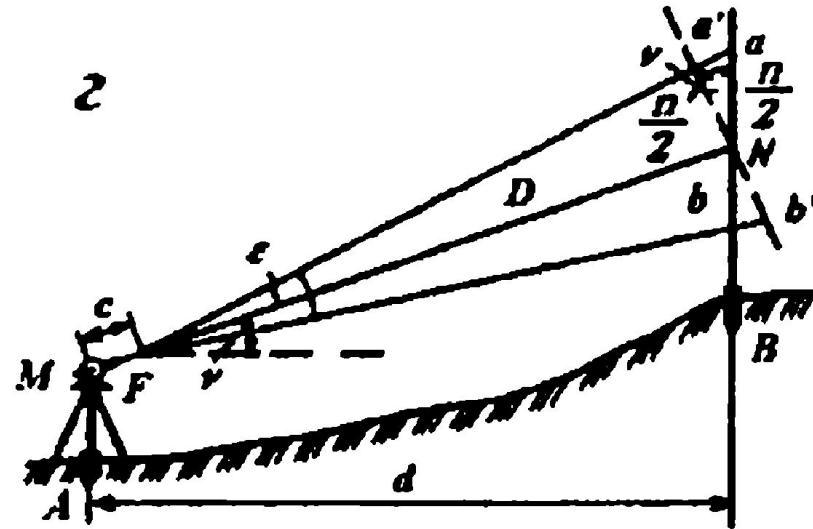
$$\Delta D = (K - 100) n, \quad (61)$$

где K — полученное значение коэффициента.

Из таблицы по аргументу l выбирается значение поправки ΔD . В некоторых случаях для дальномера изготавливают специальную рейку, при работе с которой коэффициент был бы равен 100. Для этой цели берется выдержанный загрунтованный брусок дерева необходимой длины (3 – 4 м). Над начальной точкой базиса устанавливают прибор, а брусок последовательно устанавливают на расстояниях 50, 100, 150 и 200 м; при этом каждый раз одну крайнюю дальномерную нить наводят на верхний обрез бруска, а проекцию другой дальномерной нити отмечают на бруске чертой. Полученные на рейке интервалы делят на соответствующее число частей и раскрашивают в контрастные тона.

Определение горизонтальных проекций наклонных расстояний при измерении длин дальномером. На практике при определении расстояний с помощью нитяного дальномера по вертикальной рейке визирирование обычно производится наклонным лучом (рис. 58, г). Если бы рейка была перпендикулярна к визирной оси, т. е. наклонена к визирному лучу на угол ν , то наклонное расстояние $D = MN = Kp' + c$. Но поскольку рейка устанавливается вертикально, фактический дальномерный отсчет по ней будет равен p .

Как видно из рис. 58, г, в треугольниках $Na'a$ и Nbb' углы при точках a' и b' отличаются от 90° на половину паралактического угла ε , т. е. на $\varepsilon/2 = 17,2'$. Учитывая невысокую точность измерений нитяным дальномером, этим отличием можно пренебречь, принимая треугольники $Na'a$ и Nbb' прямоугольными.



Тогда можно записать

$$Na' + Nb' = (Na + Nb) \cos v,$$

или

$$n' = n \cos v.$$

Отсюда наклонное расстояние $D = Kn \cos v + c$. Принимая для труб с внутренним фокусированием $c = 0$, имеем

$$D = K n \cos v.$$

Горизонтальная проекция линии будет равна

$$d = D \cos v = Kn \cos^2 v, \quad (62)$$

или, обозначив величину Kn через L , получим

$$d = L \cos^2 v. \quad (63)$$

После преобразования формулу (64) можно представить в виде

$$d = L - \Delta L_n, \quad (64)$$

где $\Delta L_n = L \sin^2 v$ — поправка за наклон в измеренное дальномером наклонное расстояние.

Дальномеры двойного изображения

Типы дальномеров двойного изображения. Дальномеры двойного изображения в значительной мере свободны от недостатков, присущих нитяному дальномеру, и позволяют получать результаты с точностью, близкой к точности измерения расстояний мерными лентами. В основу этих дальномеров положено свойство стеклянной призмы отклонять проходящие через нее лучи к основанию. Призма с очень малым преломляющим углом называется *оптическим клином*.

В соответствии с ГОСТ в нашей стране серийно выпускаются три типа дальномеров двойного изображения: Д-2, ДНР-5 и ДН-8. Цифры в шифре дальномеров обозначают среднюю квадратическую погрешность в см на 100 м измеряемого расстояния.

Дальномер Д-2 — прибор с переменным параллактическим углом; предназначен для измерения длин линий от 40 до 400 м в полигонометрии 2-го разряда, теодолитных ходах и съемочных сетях по горизонтальной или вертикальной рейкам с относительной погрешностью соответственно не более 1:5000 и 1:3000.

Редукционный дальномер ДНР-5 выполнен в виде насадки на зрительную трубу теодолита; прибор с постоянным параллактическим углом, предназначен для измерения горизонтальных проложений длин линий от 20 до 120 м по вертикальной рейке в теодолитных ходах с относительной погрешностью 1:1500 — 1:2000 и при съемках застроенных территорий.

Дальномерная насадка ДН-8 с переменным параллактическим углом; предназначена для измерения длин линий от 50 до 700 м в теодолитных ходах, при городских съемках и аналитических построениях по горизонтальной рейке с относительной погрешностью 1:1200 — 1:1500.

По делениям рейки относительно нулевого индекса определяют величину смещения l , обусловленную отклоняющим углом ε клина, который является паралактическим углом дальномера.

Как следует из рис. 59, б, расстояние от оси вращения прибора ZZ до рейки

$$d = l \operatorname{ctg} \varepsilon + c, \quad (65)$$

где c — расстояние от оси вращения прибора до точки O клина; $\varepsilon = \vartheta (n - 1)$ — отклоняющий угол клина; ϑ — преломляющий угол клина; n — показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин.

При изготовлении оптических клиньев значения n и ϑ подбирают таким образом, чтобы $\operatorname{ctg} \varepsilon = 100$, т. е. $\varepsilon = 34'22,6''$. Для повышения точности отсчитывания по рейке вместо индекса применяется верньер.

К дальномерам этого типа относится редуционный дальномер ДНР-5.

Редуцирующим устройством является подвесной качающийся клин, который, оставаясь в отвесном положении при наклоне зрительной трубы, изменяет отсчет по дальномерной рейке, автоматически вводя в него поправку за наклон измеряемой линии. Редуцирующий клин является составной частью *оптического компенсатора*, с помощью которого создается параллактический угол.

Оптический компенсатор перекрывает одну половину объектива зрительной трубы. Вторую половину перекрывает телескопическая линза, выполняющая роль *микрометра*; она имеет свойство, не изменяя фокусировки зрительной трубы, изменять ее увеличение, что повышает точность отсчитывания по рейке. В результате действия оптического компенсатора и телескопической линзы в поле зрения трубы видны два изображения дальномерной рейки, смещенные относительно друг друга на величину, соответствующую параллактическому углу. При измерении расстояния используется шкала одного изображения рейки и верньер другого.

Для повышения точности совмещения штрихов шкалы и верньера зрительная труба может быть оборудована специальным *разделительным устройством*, состоящим из *бипризмы* и *щелевой диафрагмы*. Бипризму устанавливают вместо сетки нитей зрительной трубы, а щелевую диафрагму навинчивают на окуляр.

Дальномеры двойного изображения с постоянной базой. В дальномерах данного типа (рис. 61) перед объективом 1 зрительной трубы установлена длиннофокусная линза-компенсатор 2, которую можно перемещать микрометрическим винтом в направлении, перпендикулярном к оптической оси трубы. При этом изображение, даваемое объективом зрительной трубы, будет смещаться в сторону перемещения линзы. В результате образуется параллактический треугольник, позволяющий определить расстояние.

Для измерения параллактического угла β при постоянной базе $AB = b$ линзу-компенсатор необходимо сместить на величину Δ , чтобы изображения марок A и B совместились в фокальной плоскости объектива зрительной трубы.

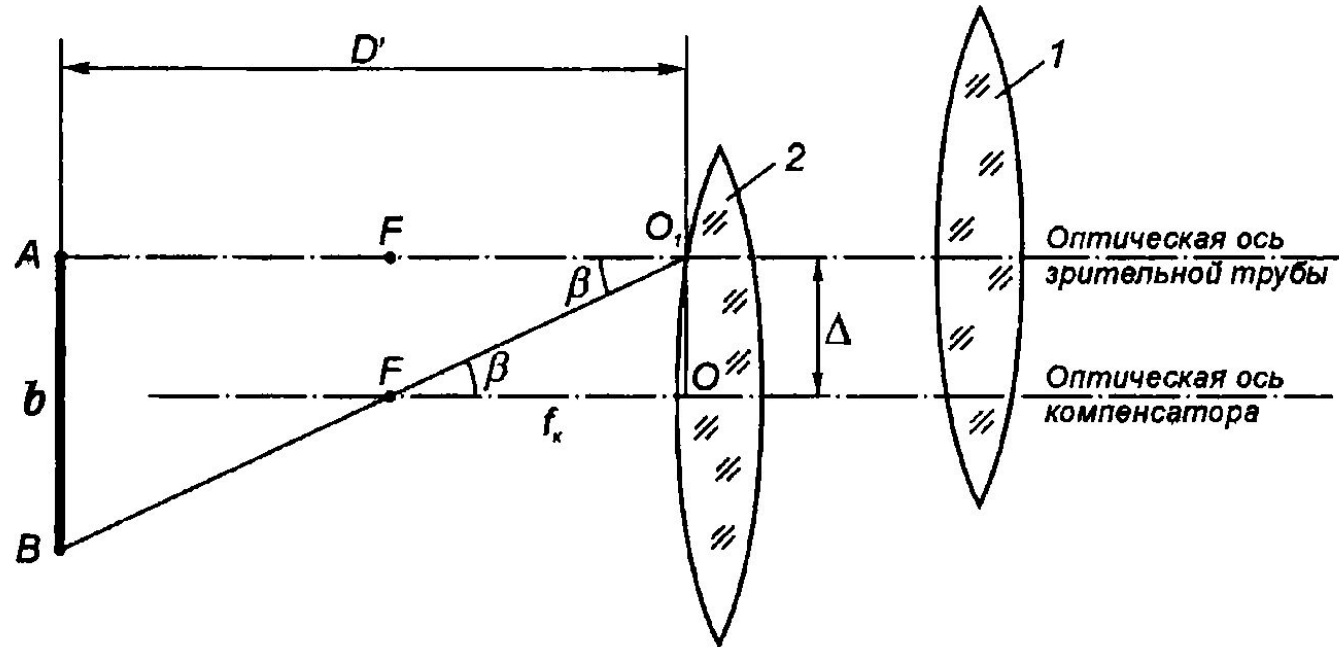


Рис. 61. Принципиальная схема дальномера двойного изображения с постоянной базой

Рассмотренный принцип определения расстояний положен в основу конструкции дальномеров типов ДН-8 и Д-2.

Дальномерный комплект ДН-8 состоит из дальномерной насадки (рис. 62, а), закрепляемой на трубе теодолита типа Т5, Т15 и др., и дальномерной рейки (рис. 62, б).

Дальномерная насадка состоит из *линзового компенсатора* и *микроскопа* и служит для измерения паралактических углов. Компенсатор обеспечивает получение в поле зрения трубы теодолита двух изображений дальномерной рейки, наложенных одно на другое. В зрительных трубах сетка нитей заменяется *бипризмой*, а на окуляр надевается *щелевая диафрагма*. Бипризма и щелевая диафрагма образуют *разделительное устройство* дальномера. Бипризма делит каждое изображение рейки, полученное компенсатором, на две части, а щелевая диафрагма срезает верхнюю часть одного и нижнюю часть другого изображения. Это позволяет совмещать изображения марок рейки с высокой точностью, располагая их на продолжении друг друга.

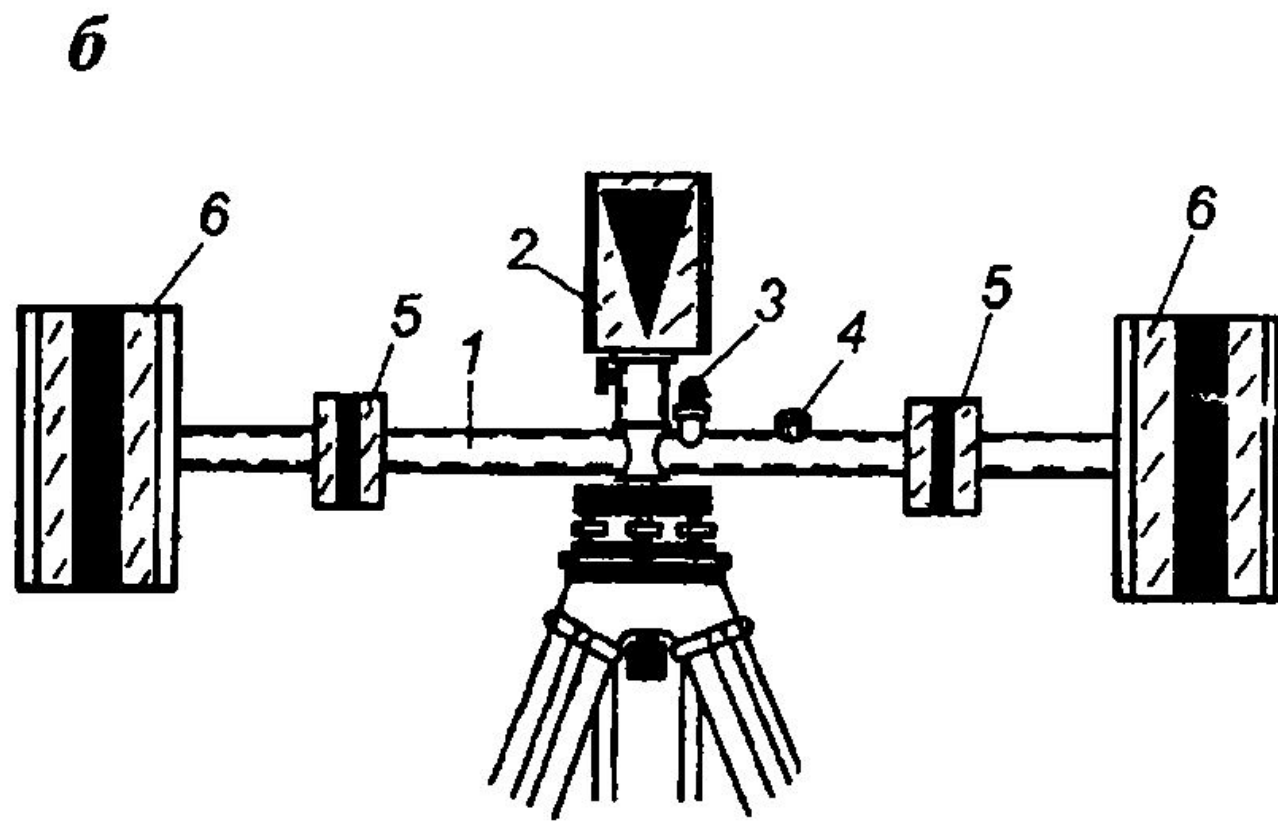
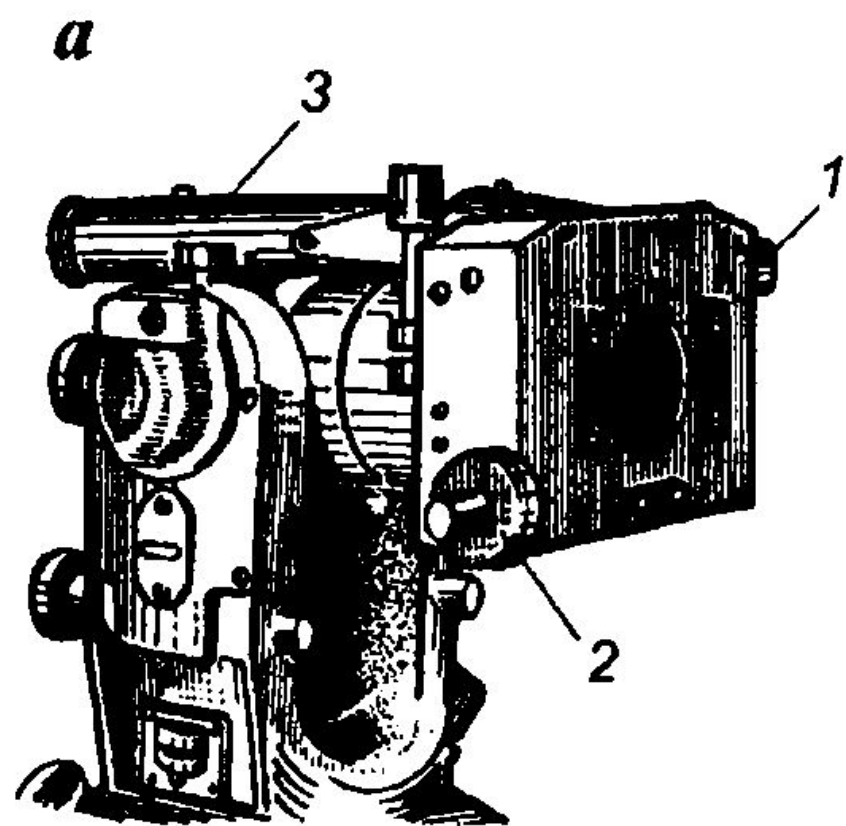


Рис. 62. Дальномерный комплект ДН-8:
 а — теодолит с насадкой; б — дальномерная рейка

Дальномерная шкала (рис. 63, а), состоящая из 120 делений, оцифрована через каждые 5 делений. Оценка десятых и сотых долей этих делений производится по шкале микроскопа.

Входящие в комплект дальномера горизонтальные базисные рейки устанавливаются на штативах (см. рис. 62, б). Рейка состоит из полой дюралюминиевой штанги 1, на которой закреплены четыре *дальномерные марки*, размеры которых попарно совпадают. Марка представляет собой пластину с черной полосой на желтом фоне. Лицевая поверхность всех марок находится в одной плоскости, а их штрихи параллельны между собой и попарно имеют равную толщину. Крайние марки 6 образуют *большой базис*, равный 1018 мм, и предназначены для измерения расстояний более 180 м; *малый базис* между средними марками 5, равный 550 мм, используется при расстояниях от 50 до 180 м.

В центре рейки в специальном гнезде устанавливается *визирная марка 2*, которая используется при измерении горизонтальных углов. На штанге рейки укреплены *круглый уровень 4* для приведения ее в горизонтальное положение и *оптический визир 3* — для ее установки перпендикулярно измеряемой линии. Внутри штанги вмонтирован *термометр* для определения температуры рейки во время измерения.

При измерении длины линии на одном ее конце устанавливают теодолит с дальномерной насадкой, на другом — дальномерную рейку (рис. 63, б).

Как видно из рис. 63, б, измеряемое расстояние

$$D = D' + c_1 + c_2, \quad (69)$$

где D' — расстояние от вершины параллактического угла до плоскости марок рейки; c_1 — расстояние от вертикальной оси теодолита до вершины параллактического угла; c_2 — расстояние от плоскости марок до оси рейки.

Обозначив сумму постоянных величин $c = c_1 + c_2$, с учетом формулы (68) получим

$$D = \frac{K}{\beta} + c, \quad (70)$$

где β — параллактический угол.

Измерения параллактических углов выполняются в следующей последовательности. Зрительную трубу наводят на рейку и наводящим винтом трубы устанавливают разделительное ребро бипризмы по оси штанги рейки; при этом в поле зрения трубы появится изображение двух половин дальномерной рейки. Измерительным винтом компенсатора устанавливают по шкале микроскопа отсчет, близкий к 60, а установочным винтом совмещают изображения марок (рис. 63, в) и берут отсчет по шкале микроскопа n_1 .

Измерительным винтом компенсатора перемещают изображения марок навстречу друг другу и берут отсчет n_2 . По разности отсчетов вычисляют половинный параллактический угол $\beta/2 = n_2 - n_1$. При измерении угла несколькими приемами необходимо перед каждым приемом немного сместить изображения установочным винтом, а измерительным винтом вновь совместить изображения марок.

Полный параллактический угол измеряют по схеме, показанной на рис. 63, г. В этом случае при взятии начального отсчета марки разводят в противоположные направления. Параллактический угол вычисляют как разность отсчетов

$$\beta = N_2 - N_1.$$

Дальномер Д-2 (ОТД) является наиболее совершенной конструкцией дальномера с постоянной базой и переменным параллактическим углом.

Дальномер Д-2 является самостоятельным прибором и состоит (рис. 64, а) из *дальномерного устройства, вертикального круга для измерения углов наклона линии визирования с точностью до 1°, алидажной части с осью вращения и винтами управления и подставки.*

Дальномерный блок содержит *зрительную трубу с разделительным устройством и оптический компенсатор* комбинированного типа конструкции А.И. Захарова, позволяющий точно измерять сравнительно большие параллактические углы (до 1,5°).

Компенсатор состоит из *перекидного оптического клина*, задающего постоянную часть параллактического угла β_k , и *линзовой системы*, сходной с компенсатором ДН-8; последняя позволяет совмещать два полуизображения рейки и задавать тем самым переменную часть угла β_u .

В результате параллактический угол β определяется суммой двух его составляющих, т. е.

$$\beta = \beta_k + \beta_u, \quad (71)$$

причем угол β_u может иметь знак «плюс» или «минус».

Окуляр зрительной трубы служит одновременно и окуляром отсчетного микроскопа. В поле зрения трубы одновременно видны изображения рейки и дальномерная шкала (рис. 64, б).

В дальномерный комплект входит двусторонняя дальномерная рейка (рис. 64, в), имеющая на каждой стороне по шесть оцифрованных визирных марок 1. На одной стороне рейки расстояния между марками равны 400 мм, на другой — 404 мм, т. е. разность между ними составляет 1%. Различное сочетание марок образует базы: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 и 2,0 м. Рейка может устанавливаться на штативе в горизонтальном или вертикальном положении с помощью круглых уровней 2 и 6. Для центрирования рейки в подставке имеется *оптический центрир*, а для установки ее перпендикулярно к измеряемой линии — *оптический визир* 3. В каркас рейки вмонтирован *термометр* 5.

Определение расстояния дальномером Д-2 сводится к измерению переменной части β_u , параллактического угла. Дальномер и рейку устанавливают над точками измеряемой линии. Визируют на рейку так, чтобы в поле зрения трубы появились две половины изображения рейки, разделенные ребром бипризмы (см. рис. 65, позиция 1). Поворачивают рычаг 1 перекидного клина (рис. 64, а) вверх и измерительным винтом 2 компенсатора совмещают изображения ближайших марок рейки (рис. 65, позиция 2). Берут отсчет n_1 по дальномерной шкале и определяют число малых баз N_1 между номерами совмещенных марок (рис. 64, б). Затем поворачивают рычаг 1 вниз до упора (рис. 65, позиция 3) и измерительным винтом 2 вновь совмещают марки (рис. 65, позиция 4); берут отсчет n_2 по дальномерной шкале и определяют разность N_2 между номерами совмещенных марок. Разность $n_2 - n_1 = \beta_u$ и есть измеренная переменная часть параллактического угла.

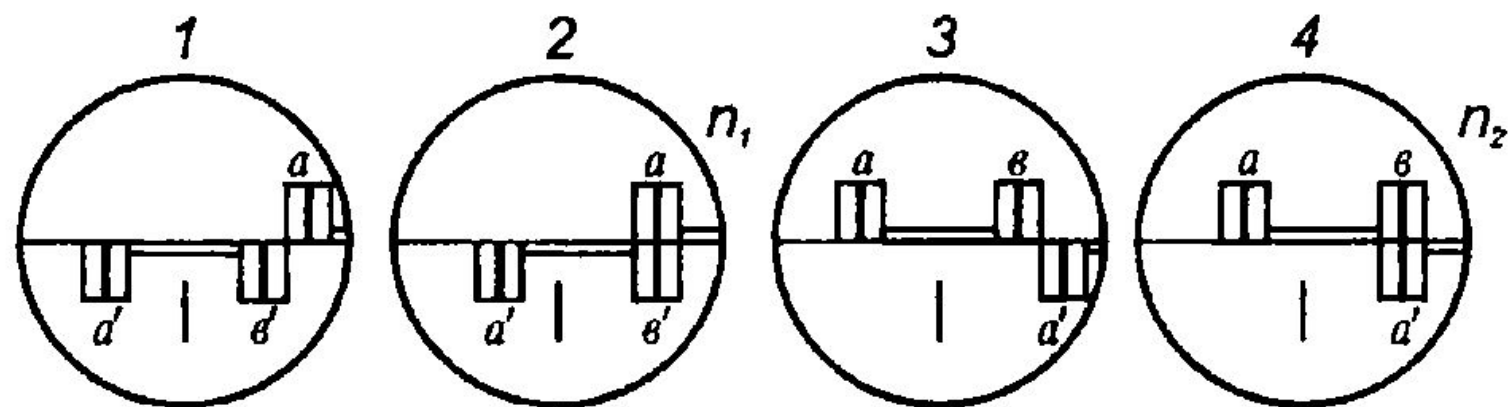


Рис. 65. Схема измерения параллактического угла дальномером Д-2

Цена деления дальномерной шкалы занижена вдвое, чтобы значение параллактического угла не делить пополам. В поле зрения отсчетного микроскопа виден отсчет $n_1 = 88,14$, а в поле зрения трубы — совмещение марок рейки (рис. 64, б). Постоянную его величину β_K , а также коэффициент дальномера K для одной малой базы определяют из специальных исследований.

Измерение переменной части параллактического угла выполняют четырьмя – шестью приемами по двум сторонам рейки. Максимальная разность между значениями угла в различных приемах не должна превышать 0,15 деления шкалы. Количество малых баз определяют как среднее, т. е. $N = (N_1 + N_2) / 2$. Значения параллактических углов, полученные по стороне рейки с делениями через 0,4 м, умножают на 1,01. Для вычисления среднего угла β пользуются формулой приведения

$$\beta = \frac{\beta_1 + 1,01\beta_2}{2}, \quad (72)$$

где β_1 и β_2 — средние значения углов, полученные по разным сторонам рейки.

При измерении параллактических углов фиксируют температуру рейки. Для определения поправки за наклон линии измеряют угол наклона.

Горизонтальное проложение измеренной линии рассчитывают по формуле

$$d = N \cdot \frac{K}{\beta} + c + \Delta D_t + \Delta D_n, \quad (73)$$

где N — общее число малых баз рейки, использованных при измерениях; c — постоянная дальномера ($c = 0,12$ м); ΔD_t — поправка за температуру рейки; ΔD_n — поправка за наклон измеряемой линии.

Понятие о параллактическом методе измерения расстояний

Под параллактическим методом понимается косвенный метод определения расстояния с помощью *малого базиса*, разбиваемого поперек измеряемой линии, и *параллактических углов*, под которыми базис рассматривается с концов линии. Впервые данный метод был применен русским астрономом и геодезистом В.Я. Струве в 1836 г. при измерении длин сторон в полигонометрии.

Параллактический метод используется в случаях, когда непосредственное измерение невозможно из-за наличия в створе линий различных препятствий либо затруднительно ввиду сильно пересеченной местности.

Геометрическая фигура, образованная измеряемой линией с базисом и связывающим их построением называется параллактическим звеном. Наиболее широкое распространение в геодезической практике получили два типа простых параллактических звеньев.

2. Симметричное звено ромбической формы с коротким базисом, расположенным под углом 90° к линии хода вблизи ее середины (рис. 66, б); схема такого звена обеспечивает наибольшую точность. В этом случае длина линии определится по формуле

$$d = d_1 + d_2 = \frac{b}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right), \quad (76)$$

или в радианной мере $d = b \left(\frac{\rho}{\varphi_1} + \frac{\rho}{\varphi_2} \right)$. (77)

Точность определения длин линий паралактическим методом зависит во многом от точности измерения паралактических углов и базиса. Поэтому данный метод целесообразно применять лишь при наличии приборов и оборудования, позволяющих измерять углы и базисы с высокой точностью. Направление базиса разбивают техническим теодолитом перпендикулярно к измеряемой линии с погрешностью не более $2'$. Для измерения паралактическим методом линий большой протяженности их разбивают на отдельные части, каждую из которых измеряют самостоятельно (рис. 66, в). Такой способ измерения длин называется **створно-короткобазисным**.

Определение неприступных расстояний

В практике инженерно-геодезических работ довольно часто оказывается невозможным непосредственное измерение расстояния между двумя точками местности. Это бывает при пересечении линиями различного рода препятствий: рек, оврагов, заболоченных участков, котлованов, зданий и т. п. В таких случаях искомое расстояние, называемое *неприступным*, определяют косвенным путем, выполнив соответствующие измерения.

Первый случай. Пусть требуется определить расстояние $AB = d$ (рис. 67, а), которое не может быть измерено непосредственным способом. При этом искомое расстояние d определяется из решения двух треугольников, в которых измерены на местности две стороны (базисы) b и b_1 и горизонтальные углы α и α_1 , β и β_1 . Базисы выбирают по возможности на ровной местности, удобной для линейных измерений, и измеряют не менее двух раз. В точках A , C и D последовательно устанавливают теодолит и измеряют углы α и α_1 , β и β_1 . Если имеется возможность, то для контроля угловых измерений следует измерить также углы γ и γ_1 .

Значение неприступного расстояния вычисляют по теореме синусов дважды по формулам

$$d = b \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad d = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_1)}. \quad (78)$$

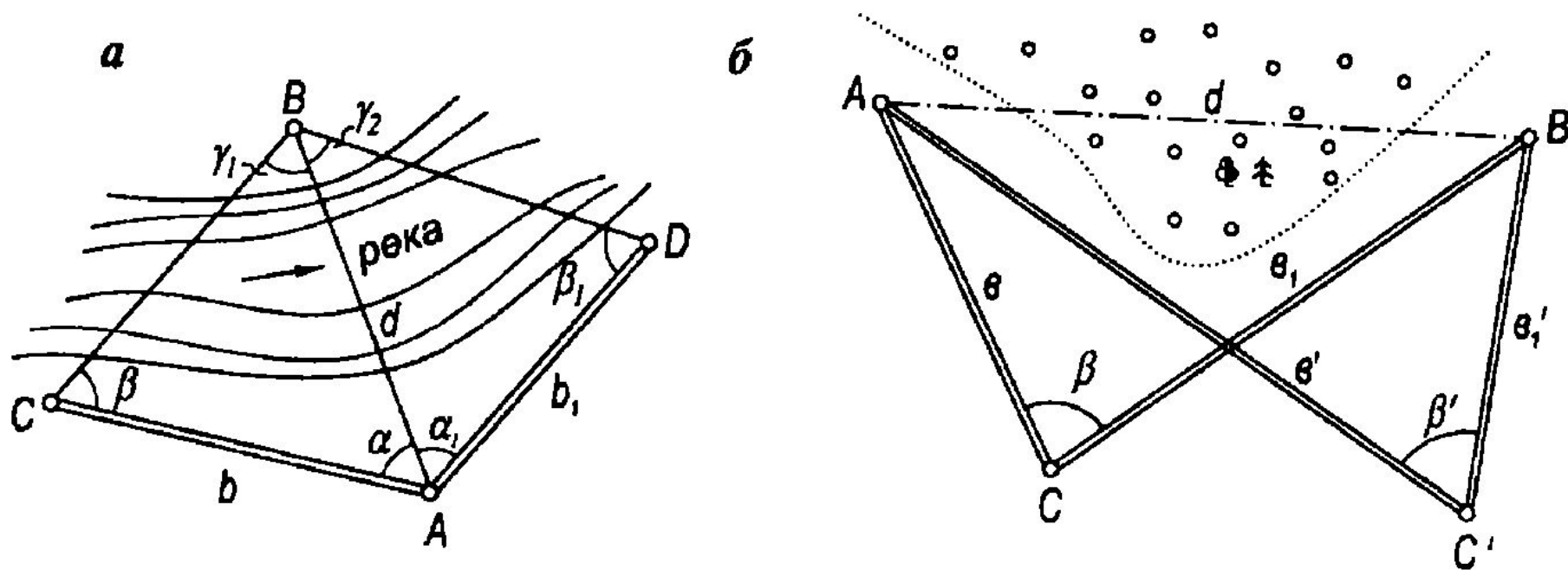


Рис. 67. Определение неприступных расстояний:
 а — при наличии видимости между точками линии;
 б — при отсутствии видимости между точками

Расхождение между обоими результатами не должно превышать некоторой величины, устанавливаемой в зависимости от требуемой точности. За окончательное значение искомого расстояния принимается среднее арифметическое от полученных результатов.

Точность определения неприступного расстояния зависит от точности измерения базисов и углов, а также от формы треугольников. Для получения наиболее точных результатов (при прочих равных условиях) треугольники по форме должны приближаться к равносторонним.

Второй случай. Если между точками A и B нет взаимной видимости (рис. 67, б) и невозможно измерить углы в точках A и B , измеряют длину базисов b и b_1 и угол β между ними. Неприступное расстояние вычисляют по теореме косинусов как

$$d = \sqrt{b^2 + b_1^2 - 2bb_1 \cos \beta}. \quad (79)$$

Для контроля разбивают новый треугольник ABC' с базисами b' и b'_1 , измеряют угол β' при точке C' и вновь по формуле (79) вычисляют расстояние d . В данном случае наиболее благоприятным считается вариант, когда $b = b_1$ и угол β близок к 90° .

Измерение длин линий мерными лентами

Вешение линий. При непосредственном измерении длин линий в инженерных геодезических работах широко применяются штриховые стальные мерные ленты. В процессе измерения лента должна укладываться в *створе линии местности*, т. е. в отвесной плоскости, проходящей через конечные точки линии.

Перед измерением на местности створ линии обозначается *вехами*, представляющими собой заостренные деревянные или металлические шесты длиной 1,5 – 2,5 м, раскрашенные попеременно через 20 см в белый и красный цвета. При измерении коротких (100 – 150 м) линий в условиях равнинной местности достаточно установить вехи в конечных точках линии. В случаях измерения длинных линий, особенно в условиях сложного рельефа, в створе линий устанавливается ряд дополнительных вех. *Установка вех в створе измеряемой линии называется вешением линии.*

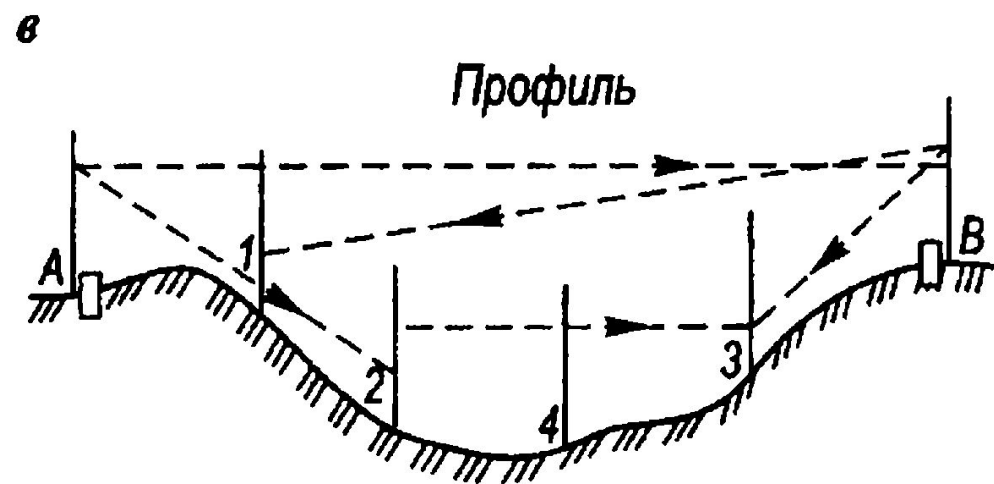
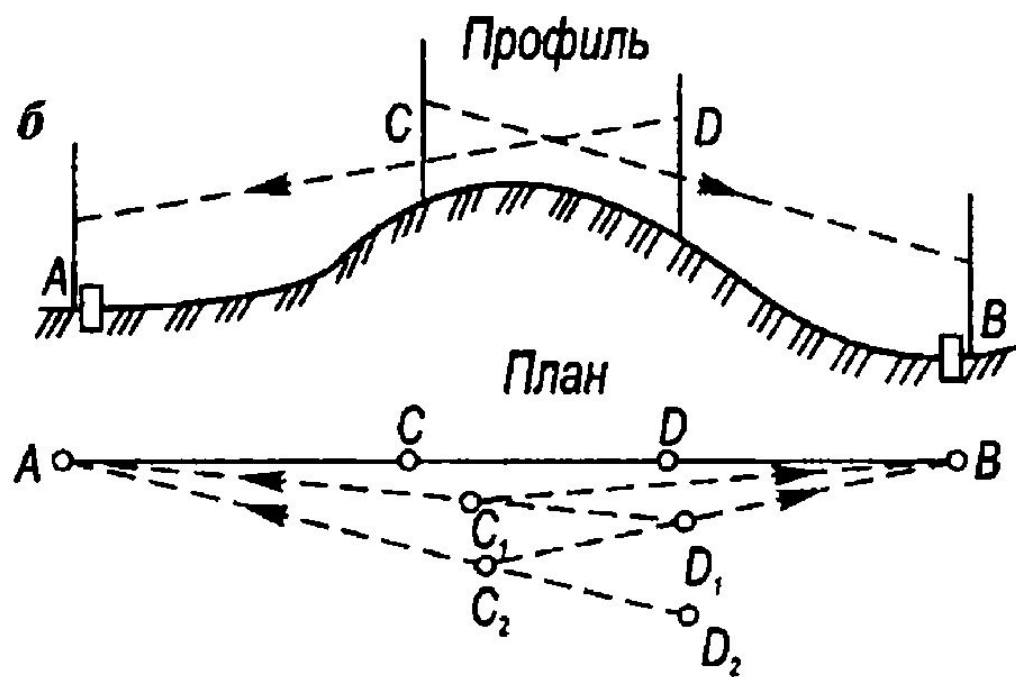


Рис. 68. Вешение линии:
 а — способом «на себя»; б — через холм;
 в — через овраг

Порядок измерения линий мерной лентой. После вешения створ линии необходимо расчистить и подготовить для измерений: удалить с него камни и кочки, раздвинуть высокую траву и мешающие измерениям ветки кустарника и т. д. Измерение длин мерной лентой состоит в последовательном откладывании по створу измеряемой линии ленты, концы которой фиксируются с помощью шпилек. Измерения выполняются двумя мерщиками в следующей последовательности.

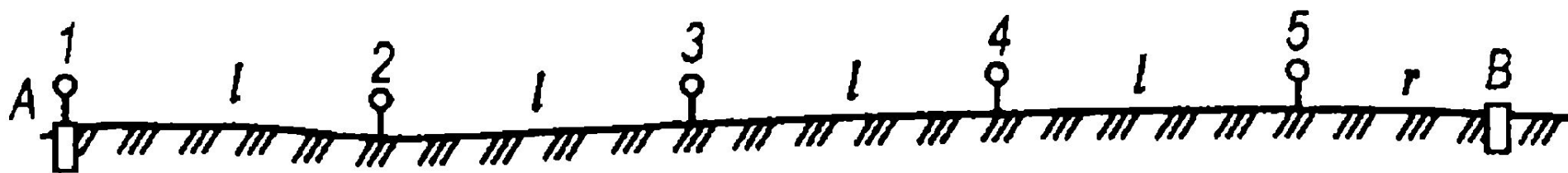


Рис. 69. Порядок измерения линий мерной лентой

3. Последний отрезок линии, длина которого меньше длины мерного прибора, называется *остатком*. Измерение остатка производится лентой, при этом десятые доли дециметровых делений ленты оцениваются «на глаз».

Общую длину измеряемой линии подсчитывают по формуле

$$D_{\text{изм}} = nl + r, \quad (80)$$

где l — длина ленты; n — число полных укладок ленты; r — остаток.

Для контроля линию измеряют дважды: 20-метровой лентой в прямом и обратном направлении либо 20- и 24-метровой лентами — в одном направлении. Расхождения в результатах двойных измерений не должны превышать установленных величин.

Основными источниками погрешностей измерения длин мерной лентой являются: неточное укладывание ленты в створе линии, изгиб и провисание ленты, незнание истинной длины ленты, колебания температуры в процессе измерений, просчеты и неточности при взятии отсчетов по ленте и др.

Ослабление влияния данных факторов на точность измерений достигается более тщательным вешением линий, использованием динамометров для натяжения лент, введением поправок в измеренные длины, проведением контрольных измерений и т. п.

На точность измерения длин мерной лентой большое влияние оказывают условия местности, характер грунта и растительного покрова.

Поэтому в зависимости от рельефа и условий измерений условно различают три класса местности:

I класс — местность, *благоприятная для измерений* (ровная поверхность с твердым грунтом);

II класс — местность *со средними условиями для измерений* (холмистая поверхность со слабым грунтом);

III класс — местность, *неблагоприятная для измерений* (сильно пересеченная, заросшая кустарником местность с кочками и выемками, с песчаной или заболоченной почвой).

Практикой установлено, что относительные погрешности измерения линий штриховыми мерными лентами не должны превышать: на местности I класса — 1:3000, II класса — 1:2000 и III класса — 1:1000.

Измерение углов наклона линий. Для получения горизонтальных проекций измеренных на местности линий необходимо знать углы их наклона к горизонту. Эти углы измеряют с помощью вертикального круга теодолита либо простейшего угломерного прибора — *эклиметра*. Наибольшее распространение в практике получили круговой маятниковый эклиметр и эклиметр-высотомер ЭВ-1.

Круговой маятниковый эклиметр состоит (рис. 70, а) из круглой металлической (или пластмассовой) *коробки 1*, в которой вокруг горизонтальной оси вращается *кольцо 6*. На ободе кольца *6* нанесены градусные деления в обе стороны от 0 до $\pm 60^\circ$. К кольцу прикреплен *груз 7* в виде сектора, под действием которого нулевой диаметр шкалы устанавливается горизонтально. Сверху коробки находится *стопорная кнопка 2* (арретир), служащая для торможения кольца. К коробке прикреплена пустотелая визирная трубка с двумя диоптрами: *глазным 3* в виде горизонтальной щели и *предметным 5*, представляющим собой окно с горизонтально натянутой металлической нитью. В коробке против глазного диоптра имеется окошко, через которое с помощью *луны 4* берутся отсчеты по шкале.

Для измерения угла наклона линии AB (рис. 70, в) в точке A становится наблюдатель с эклиметром, а в точке B устанавливается веха с меткой на высоте глаза наблюдателя i . Через прорезь глазного диоптра наблюдатель наводит нить предметного диоптра на метку вехи и нажимает стопорную кнопку. Когда кольцо под действием тяжести груза успокоится, т. е. его нулевой диаметр займет горизонтальное положение, наблюдатель отпускает кнопку и через лупу берет отсчет, проектируя предметный диоптр на шкалу кольца. Этот отсчет дает значение угла наклона ν линии AB . Для контроля угол наклона линии измеряют в прямом и обратном направлениях.

За окончательное значение угла принимается его среднее арифметическое, т. е.

$$\nu = \frac{\nu_{AB} + \nu_{BA}}{2} .$$

Эклиметр-высотомер ЭВ-1 (рис. 70, б) действует по тому же принципу, однако у него на ободе колеса нанесены две шкалы: одна предназначена для измерения углов наклона, другая — для определения превышений при длинах линий 15 и 20 м. При его использовании визирование ведется вдоль наружной вертикальной поверхности корпуса путем совмещения индекса диафрагмы с точкой наведения. Измерение углов наклона выполняется при верхнем, а превышений — при нижнем расположении стопорной планки.

Эклиметры позволяют измерять углы наклона линий местности с погрешностью $15' - 30'$. При углах наклона линий (либо отдельных участков линий) более $5 - 6^\circ$ их измерение должно выполняться с помощью вертикального круга теодолита.

Поправки, вводимые в измеренные длины. В измеренные на местности длины линий вводятся поправки за компарирование мерного прибора, температуру и наклон линии (за приведение линии к горизонту).

Поправка за компарирование в измеренное расстояние вычисляется по формуле:

$$\Delta D_k = \frac{D_{\text{изм}}}{l} \cdot \Delta l_k, \quad (81)$$

где $D_{\text{изм}}$ — длина измеренной линии; l — длина мерного прибора; Δl_k — поправка за компарирование мерного прибора, приводимая в его свидетельстве (аттестате).

Поправка за температуру определяется по формуле

$$\Delta D_t = \alpha(t - t_0) \cdot D_{\text{изм}}, \quad (82)$$

где α — коэффициент линейного расширения (для стали $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$);
 t — температура мерного прибора при измерении; t_0 — температура компарирования.

Тогда наклонная длина линии с учетом поправок за компарирование и температуру мерного прибора будет

$$D = D_{\text{изм}} + \Delta D_K + \Delta D_t. \quad (83)$$

Если при измерении длин линий стальной мерной лентой поправка за компарирование $\Delta l_K < \pm 2$ мм, то ею обычно пренебрегают; при разности температур измерения и компарирования $(t - t_0) < \pm 8^\circ$ поправку за температуру также можно не вводить.

Поправка за наклон линии. Для перехода от наклонной длины линии к горизонтальной ее проекции необходимо знать угол наклона линии к горизонту v либо превышение h между конечной и начальной точками линии (рис. 71, а).

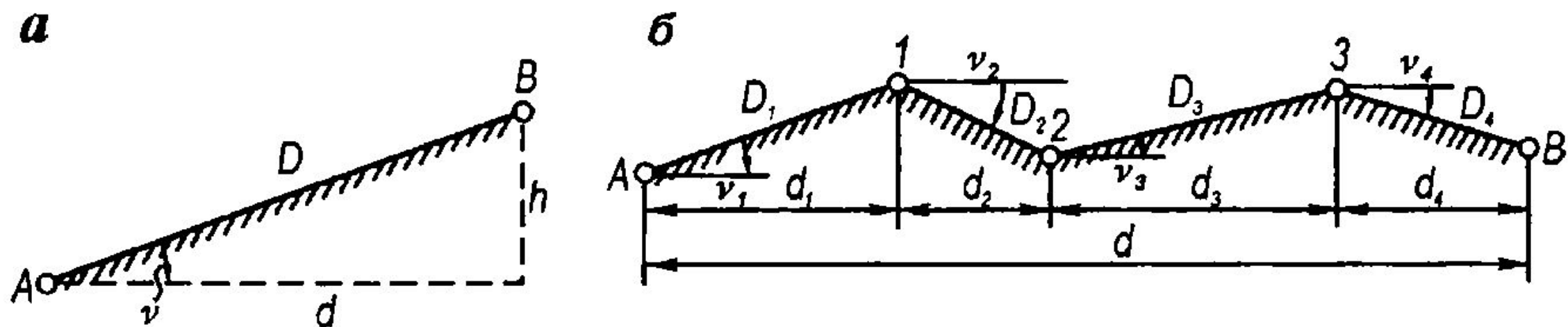


Рис. 71. Схемы определения поправки за наклон в измеренную длину (а) и горизонтального проложения линии (б)

Первый случай. Если измерен угол наклона ν линии AB , наклонная длина которой равна D , то ее горизонтальное проложение

$$d = D \cos \nu. \quad (84)$$

На практике обычно горизонтальное проложение d находят как разность наклонной длины линии D и поправки за наклон ΔD_H , т. е.

$$d = D - \Delta D_H. \quad (85)$$

Как следует из рис. 71, а,

$$\Delta D_H = D - d = D - D \cos \nu = D (1 - \cos \nu),$$

ИЛИ

$$\Delta D_H = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}. \quad (86)$$

Второй случай. Если известно превышение h между крайними точками линии, то поправка ΔD_H определится из следующих соображений (см. рис. 71, б):

$$h^2 = D^2 - d^2 = (D - d)(D + d).$$

Принимая $D - d = \Delta D_H$, $D + d \approx 2D$, получим

$$\Delta D_H = \frac{h^2}{2D}. \quad (87)$$

Следует помнить, что поправка за наклон ΔD_H всегда отрицательна независимо от знака угла наклона.

Третий случай. Если измеряемая линия AB состоит из участков, имеющих разные углы наклона (рис. 71, б), то для каждого из них измерение длин и углов наклона и, соответственно, определение поправок за наклон и горизонтальных проложений производится отдельно. Тогда горизонтальное проложение линии AB определится как сумма горизонтальных проложений ее отдельных участков, т. е.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = \sum_{i=1}^4 d_i. \quad (88)$$

При измерении расстояний стальными мерными лентами поправки за наклон учитывают, если углы наклона линий превышают 1° .