

В.И.Ромднов

ЛЕОПАРДЫ

**В.И.РОДИОНОВ**

# **ГЕОДЕЗИЯ**

**СРЕДНЕТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**





В.И.РОДИОНОВ

---

# ГЕОДЕЗИЯ

*Утверждено Главным управлением учебными заведениями МПС  
в качестве учебника для учащихся техникумов  
железнодорожного транспорта*



МОСКВА "НЕДРА" 1987

---

**Родионов В. И.** Геодезия. Учебник для техникумов.— М.: Недра, 1987.— 332 с., ил.

Изложены общие сведения по геодезии, теодолитной съемке, геометрическому нивелированию, тахеометрической съемке, геодезическим работам, выполняемым при изыскании, проектировании, строительстве и эксплуатации железных дорог. Описаны новые геодезические инструменты, вычислительные приборы и рациональные способы их применения. Даны элементы теории ошибок измерений. Показаны последовательность производства работ при съемках, обработка полевых материалов, составление планов и продольных профилей. Даны общие сведения по технике безопасности.

Для учащихся техникумов железнодорожного транспорта.

Табл. 37, ил. 126, список лит.— 23 назв.

Рецензенты: *В. Н. Волков* (Всесоюзный заочный техникум железнодорожного транспорта) и *Н. Е. Ванин* (Даугавпилсский техникум железнодорожного транспорта).

# Раздел первый

## ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

---

### Глава 1

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ

#### § 1. Предмет и содержание геодезии

Геодезия — наука об измерениях земной поверхности. В переводе с греческого языка слово «геодезия» означает землеразделение. Такое название вошло в науку, потому что в древние времена геодезия применялась при размежевании (делении) участков обрабатываемой земли. Этот термин сохранился и до наших дней, несмотря на то, что современная геодезия занимается измерениями для определения формы и размеров Земли, для составления карт, планов и профилей земной поверхности. Материалы геодезических съемок широко используются в народном хозяйстве.

Геодезия в зависимости от решаемых научных и практических задач делится на ряд следующих самостоятельных научных дисциплин:

- высшую геодезию, занимающуюся изучением и определением формы и размеров Земли и ее внешнего гравитационного поля, определением положения отдельных точек на ней, составляющих государственную геодезическую сеть, с целью изображения ее на картах;

- картографию, в задачу которой входит составление и издание карт;

- аэрогеодезию, которая разрабатывает методы фотографирования земной поверхности с воздуха и составление планов и карт на основе аэрофотоснимков;

- космическую геодезию, предметом изучения которой является измерение изображения Земли, ее отдельных поверхностей, полученных из космического пространства; определение местоположения искусственных спутников Земли, а также измерение изображений поверхностей планет Солнечной системы;

- топографию, занимающуюся изучением и измерением сравнительно небольших участков земной поверхности для составления планов и карт;

- инженерную геодезию, имеющую прикладное значение. Она занимается изучением методов и способов геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, постройке и эксплуатации инженерных сооружений. Специальные виды геодезических работ под землей относятся к подзем-

ной геодезии — маркшейдерии. Все виды геодезических работ, выполняемых в последнее время по измерению морского дна и водоемов, составляют задачу подводной геодезии.

Геодезия тесно связана в своем развитии с такими науками, как математика, физика, астрономия, география, геология и др. Построение планов и карт основывается на приемах топографического черчения. Знания фотографии необходимы для получения фотоснимков местности, которые широко применяются в геодезии.

Геодезические съемки выполняют современными приборами: теодолитами, нивелирами, свето- и радиодальномерами, фотограмметрическими приборами, изготовление которых основывается на последних достижениях точной механики, физики, электроники, автоматики. Большой вклад в развитие геодезии внесли советские ученые-геодезисты: Ф. Н. Красовский, А. А. Изотов, Ф. В. Дробышев, В. А. Белицын, А. С. Чеботарев и др.

## **§ 2. Значение геодезических работ в развитии народного хозяйства страны. Применение геодезии на железнодорожном транспорте**

Геодезия имеет огромное практическое значение во всех отраслях народного хозяйства нашей страны.

Геодезия широко применяется при строительстве дорог, зданий, мостов, шахт, тоннелей, гидротехнических сооружений, линии метрополитенов, трубопроводов, линии электропередач.

Геодезические измерения используются в сельском хозяйстве при создании планов сельскохозяйственных угодий, орошении земель, сооружении плотин и устройств гидромелиорации.

Разведка месторождений полезных ископаемых и их эксплуатация невозможна без решения геодезических и маркшейдерских задач, связанных с получением планов и карт, разрезов земной поверхности.

Геодезические работы имеют важное значение в лесном хозяйстве, лесоустройстве и лесной промышленности.

Планировка, благоустройство и озеленение городов, рабочих и сельских поселков основано на использовании материалов геодезических съемок.

Достижения космической геодезии позволили более эффективно решать вопросы изучения месторождений полезных ископаемых, рационального использования лесных массивов и сельскохозяйственных земель.

Современные проектирование, строительство и эксплуатация железнодорожного, водного, воздушного транспорта невозможны без широкого развития геодезических работ, которые входят непосредственно в технологический комплекс производства.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года определены основные задачи транспорта — своевременное, качественное и полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, повышение экономической эффективности его работы.

Для осуществления этих задач решениями XXVII съезда КПСС в двенадцатой пятилетке намечено ввести в эксплуатацию 2,3 тыс. км новых железнодорожных линий, построить не менее 4 тыс. км вторых путей.

На всех объектах, где строятся новые железные дороги, мосты, тоннели, железнодорожные станции и города, первыми появляются геодезисты и топографы. Они являются активными участниками претворения в жизнь грандиозных планов Коммунистической партии и советского народа, выполняют большой объем наземных и аэрофотосъемочных работ, чтобы составить планы и профили будущих стальных магистралей.

При возведении земляного полотна, строительстве искусственных сооружений, зданий геодезисты выполняют разбивку их осей и проектных размеров на местности.

В процессе строительства ведется геодезический контроль за соблюдением проектных размеров в плане и профиле. Перед сдачей участка железной дороги в эксплуатацию производят исполнительные геодезические съемки законченных объектов, чтобы выявить наличие допущенных отступлений от проектных размеров при их строительстве.

Увеличение объема перевозок грузов железнодорожного транспорта в двенадцатом пятилетии на 8—10 % и пассажирооборота на 7—9 % требует постоянного технического совершенствования транспортной системы.

Поэтому из года в год возрастают требования к точности геодезических работ, геодезическому контролю за состоянием пути. Составление проектов реконструкции и «лечения» земляного полотна, капитального и среднего ремонтов пути производят на основании геодезических съемок.

Переустройство железнодорожных станций и узлов, сооружение вторых путей, линии энергоснабжения и связи выполняются на основании геодезических съемок, среди которых преобладает аэрофотосъемка.

С увеличением объемов строительства и эксплуатации железнодорожных объектов возрастает участие техника-путейца в геодезических работах, начиная от изыскания трассы железнодорожной линии до геодезического контроля за состоянием железнодорожного пути в процессе его эксплуатации.

Техник-путеец должен иметь хорошие теоретические знания по геодезии и иметь практические навыки выполнения геодезических съемок как при строительстве, так и при содержании и ремонте железнодорожного пути; выполнять вычислительную и графическую обработку геодезических измерений. Он должен

уметь обращаться с геодезическими приборами, владеть рациональными приемами работы с ними.

Велико значение геодезии в деле обороны страны. Проектированию и строительству инженерных объектов оборонного значения предшествуют различные по своему назначению топографо-геодезические работы.

### § 3. Понятие о форме Земли и ее размерах

Для изображения участка поверхности Земли на бумаге необходимо иметь представление о форме поверхности Земли и ее размерах.

Поверхность Земли неровная, состоит из возвышенностей, впадин, равнин и водных пространств океанов и морей. Водная поверхность составляет 71 %, и только 29 % всей земной поверхности занимает суша. Поэтому за общую фигуру Земли принимают поверхность океанов в спокойном состоянии, мысленно продолженную под сушей.

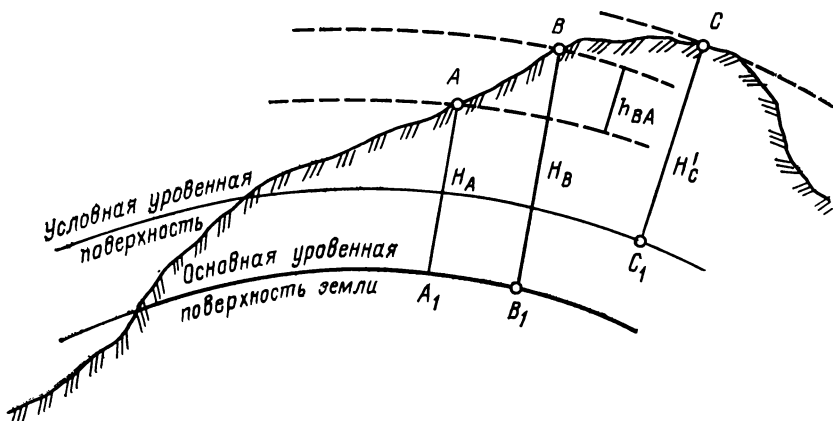


Рис. 1. Уровенная поверхность и высоты точек земной поверхности:

$H_A$  — абсолютная высота т. A;  $H_B$  — абсолютная высота т. B;  $H'_C$  — условная высота т. C

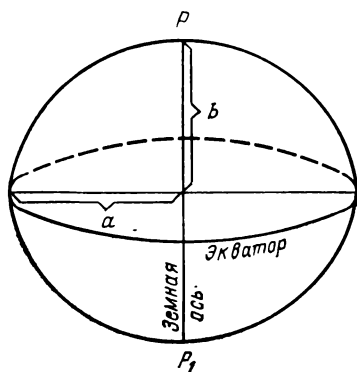


Рис. 2. Элементы земного сфероида

Такая поверхность называется уровенной (рис. 1). Точные многократные измерения и научные исследования показали, что уровенная поверхность образует сложное геометрическое тело, называемое геоидом (в переводе с греческого языка — землеподобное). По своей форме геоид не совпадает абсолютно точно ни с одним известным в математике геометрическим телом. Наиболее близко геоид подходит к фигуре сфероида, образованной вращением эллипса вокруг малой оси. Такой сфероид называют референц-эллипсоидом вращения. Поверхность земного референц-эллипсоида в каждой своей точке перпендикулярна к отвесной линии, проходящей через эту точку (рис. 2). На протяжении многих веков ученые всех стран мира неоднократно определяют размеры Земли.

В Советском Союзе работы по определению размеров земного эллипсоида проводились под руководством профессора Ф. Н. Красовского.

В результате этих работ были вычислены следующие размеры референц-эллипсоида:

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| большая полуось           | $a = 6\,378\,245 \text{ м}$    |
| малая полуось             | $b = 6\,356\,863 \text{ м}$    |
| сжатие земного эллипсоида | $\alpha = (a-b) : a = 1:298,3$ |

Референц-эллипсоиду с такими размерами присвоено имя Ф. Н. Красовского.

Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. размеры референц-эллипсоида проф. Ф. Н. Красовского приняты за основу геодезических и картографических работ в нашей стране.

Ввиду небольшой величины сжатия для решения практических задач, не требующих высокой точности, общую форму Земли можно принять за шар, радиус которого равен 6371,11 км.

Достижения космической геодезии позволяют вести дальнейшие исследования поверхности Земли, ее формы и размеров.

#### **§ 4. Основные понятия о координатах точек земной поверхности**

Для определения положения точек на местности применяют линейные или угловые величины, называемые координатами.

##### *Географические координаты*

Положение любой точки, лежащей на поверхности земного эллипсоида, в этой системе координат определяют двумя угловыми величинами: географической широтой  $\varphi$  и географической долготой  $\lambda$ .

Наша Земля вращается вокруг линии, называемой осью вращения  $PP_1$  (рис. 3). Две точки  $P$  и  $P_1$  пересечения оси враще-

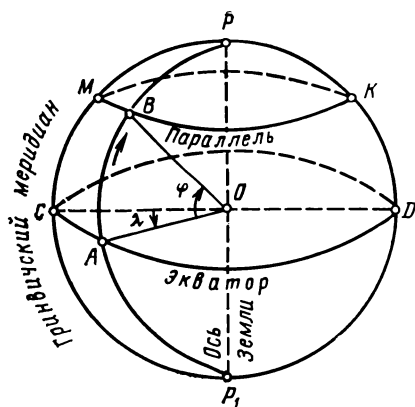


Рис. 3. Географические координаты

$MBK$ , один меридиан  $P_1ABP$  и одну отвесную линию  $BO$ .

Плоскость, проходящая через центр земли и перпендикулярная к оси ее вращения, называется плоскостью экватора. Линия пересечения плоскости экватора с уровенной поверхностью земли называется экватором.

Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (вблизи Лондона), принимают за нулевой (начальный меридиан). Угол  $\varphi$  между плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через данную точку  $B$ , называется географической широтой точки  $B$ . Широты, измеряемые от плоскости экватора к северу, называются северными, а к югу — южными. Широты изменяются в пределах от 0 до  $90^\circ$ .

Географической долготой точки  $B$  называется двугранный угол  $\lambda$ , заключенный между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку  $B$ . Долготы измеряют от начального меридиана к востоку и к западу и называют соответственно восточными и западными. Долготы изменяются от 0 до  $180^\circ$ .

Географические координаты определяют по данным астрономических наблюдений или вычисляют по результатам геодезических измерений. Широту  $B$  и долготу  $L$ , определенные на основании геодезических измерений, называют геодезическими.

### Плоские прямоугольные координаты

В этой системе плоскость координат совпадает с горизонтальной плоскостью в точке  $O$ , которую принимают за начало координат (рис. 4, а). Через начало координат проходят две взаимно перпендикулярные прямые  $XX$  и  $YY$ , называемые осями координат. Ось  $XX$  совмещается с направлением меридиана и называется осью абсцисс, а линия  $YY$ , перпендикулярная к оси абсцисс и проходящая через точку  $O$ , называется осью ординат.

ния земли с уровенной поверхностью называют северным  $P$  и южным  $P_1$  полюсами.

Плоскости, перпендикулярные к земной оси, пересекают уровенную поверхность по линиям, называемым параллелями.

Плоскости, проходящие через земную ось, пересекают уровенную поверхность по линиям, называемым географическими (истинными) меридианами.

Через каждую точку, например  $B$ , лежащую на поверхности земли, можно провести только одну параллель

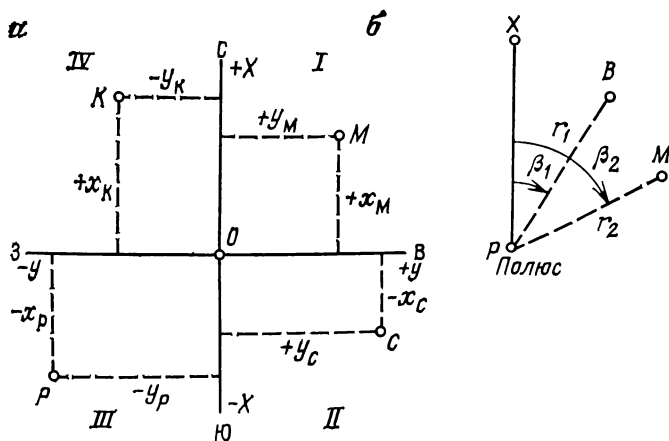


Рис. 4. Плоские координаты:  
а — прямоугольные; б — полярные

Координатные оси делят плоскость на четыре четверти: I (СВ), II (ЮВ), III (ЮЗ) и IV (СЗ). Положение любой точки на плоскости, например точки  $M$ , определяется двумя ее координатами  $+x_M$  и  $+y_M$ , т. е. длинами перпендикуляров, опущенных из точки  $M$  на оси  $X$  и  $Y$ .

Координаты сопровождаются знаками плюс или минус и зависят от названия четвертей, в которых находится данная точка:

|                      |     |     |
|----------------------|-----|-----|
| Первая четверть (СВ) | $x$ | $y$ |
| Вторая » (ЮВ)        | $+$ | $+$ |
| Третья » (ЮЗ)        | $-$ | $+$ |
| Четвертая » (СЗ)     | $-$ | $-$ |

В практических целях возникает необходимость установления зависимости между географическими и прямоугольными координатами для одной и той же точки, расположенной на поверхности земли. Для этого применяют зональную систему плоских прямоугольных координат Гаусса, позволяющих проектировать поверхность земного сфероида на плоскость.

В зональной системе прямоугольных координат поверхность земного эллипсоида делят меридианами через  $6^\circ$  на 60 зон. Нумерацию зон ведут от нулевого (Гринвичского) меридиана на восток (рис. 5, а).

Поверхность каждой зоны изображается по определенным правилам на плоскости и имеет самостоятельную систему координат (рис. 5, б). Осевой меридиан  $PP_1$  каждой проектируемой зоны изобразится на плоскости без искажений прямой  $XX$ , которую называют осью абсцисс. Линия экватора, перпендикулярная к осевому меридиану, изобразится прямой  $YY$ , называе-

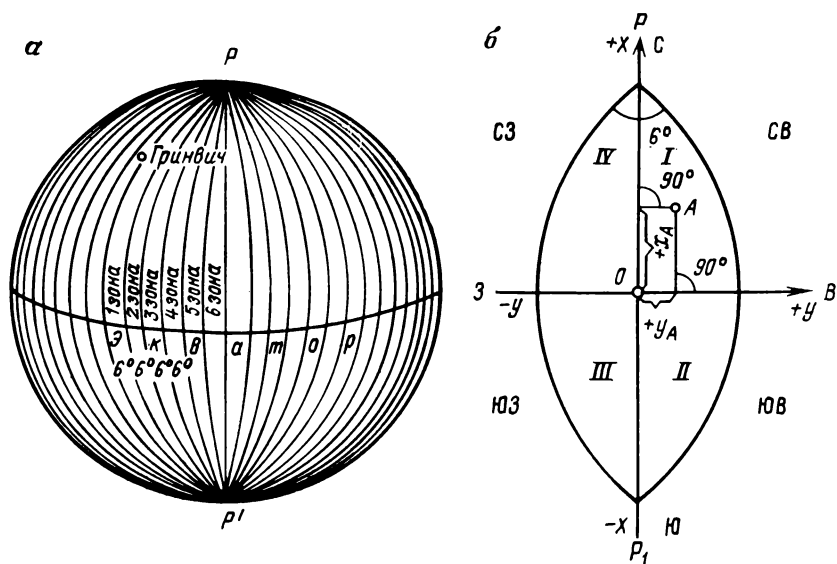


Рис. 5. Зональная система прямоугольных координат

мой осью ординат. Точка пересечения осей является началом координат  $O$ . Оси абсцисс, направленные от начала координат к северу, считают положительными. Положительными считают оси ординат, идущие к востоку, а к западу — отрицательными. Чтобы определить координаты любой точки, например  $A$ , опускают от нее перпендикуляры на координатные оси  $x_A$  и  $y_A$ . Величина этих перпендикуляров является абсциссой  $x$  и ординатой  $y$  точки  $A$ .

Каждое значение абсциссы и ординаты сопровождается знаком, зависящим от положения точки на плоскости.

Все точки, лежащие на территории нашей страны, имеют положительные абсциссы  $x$ . Чтобы избежать отрицательных ординат, в СССР (для удобства вычислений) к значению ординаты нулевого меридиана прибавляют 500 км. Следовательно, отсчет ординат производят от линии, расположенной на 500 км западнее осевого меридиана.

Такие ординаты называют преобразованными. Чтобы определить, в какой зоне находится данная точка, координаты которой известны, впереди значения преобразованной ординаты пишут номер зоны. Наибольшая ширина шестиградусной зоны не превышает 385 км.

**Пример.** Действительное значение ординаты точки  $C$  равно +62 234,7 м.

Номер зоны, в которой лежит точка  $C$ , — 7: преобразованное значение ординаты точки  $C$  равно: +62 234,7 + 500 000,0 = 562 234,7 м, с учетом зоны 7; 562 234,7 м.

Кроме рассмотренных применяют местную систему плоских прямоугольных координат. Например, крупномасштабные планы железнодорожных станций составляют в местной системе координат. В этом случае за ось абсцисс  $X$  принимают осевую линию здания станций, а за ось ординат  $Y$  — базисный ход, перпендикулярный к оси  $X$  и параллельный оси первого главного пути.

### *Полярные координаты*

В полярной системе координат основой являются полюс  $P$ , помещенный в какой-либо точке земной поверхности, и ось  $PX$ , называемая полярной осью (рис. 4, б). Для определения положения любой точки, например  $B$ , соединяем данную точку с полюсом  $P$ . Это расстояние  $PB$  называют радиусом-вектором  $r_1$ . Измеряют угол  $\beta_1$  от полярной оси  $PX$  до радиуса-вектора  $r_1$  по направлению хода часовой стрелки. Положение точки  $M$  определяют аналогично, т. е. измеряют  $r_2$  и  $\beta_2$ . Положение полярной оси выбирают произвольно или совмещают ее с направлением истинного меридиана.

### *Высоты точек земной поверхности*

Чтобы определить положение точки на физической поверхности земли, недостаточно знать величину широты и долготы точки или ее двух координат  $x$  и  $y$ . Третьей координатой точки физической поверхности земли является ее высота над уровнем поверхности.

Абсолютной высотой точки  $A$  называется отвесное расстояние  $AA_1$  от этой точки до уровенной поверхности земли (см. рис. 1).

Обозначают абсолютную высоту через  $H$ , например  $H_A = 156,37$  м. Если высоты точек определены не от основной уровенной поверхности, а от какого-либо другого уровня, такие высоты называют условными. Например,  $H_C' = 105,60$  м (см. рис. 1). Высоты точек, расположенных выше уровенной поверхности, сопровождаются знаком плюс. Если точки расположены ниже уровенной поверхности, их считают отрицательными.

Чтобы определить, насколько одна точка земной поверхности выше или ниже другой, находят превышения. Обозначают превышение через  $h$  и находят как разность высот двух точек.

Например, если высоты точек  $A$  и  $B$  соответственно равны  $H_A = 156,37$  м;  $H_B = 162,49$  м, превышение точки  $B$  над точкой  $A$  будет равно

$$h = H_B - H_A = 162,49 - 156,37 = + 6,12 \text{ м.}$$

Превышение может быть положительным и отрицательным. Например, превышение точки  $A$  над точкой  $B$  имеет отрицательное значение:

$$h = H_A - H_B = 156,37 - 162,49 = - 6,12 \text{ м.}$$

В Советском Союзе принята общегосударственная система координат. Начальной точкой в принятой в нашей стране системе координат является центр круглого зала Пулковской

астрономической обсерватории (близ Ленинграда). За начало счета высот точек земной поверхности принят нуль Кронштадтского футштока. Футшток — медная рейка с нулевым делением, закрепленная на гранитном устое моста Финского залива Балтийского моря в Кронштадте. Такая система отсчета высот называется Балтийской.

## § 5. Проектирование земной поверхности на плоскость

В результате геодезических работ на местности получают данные о пространственных формах земной поверхности. Для изображения контуров участка местности на бумаге проектируют их на поверхность фигуры Земли (эллипсоида). Затем по определенным математическим правилам переходят от проекции на поверхности эллипсоида (или шара) к проекциям на плоскости. При проектировании сферической поверхности на плоскость неизбежны искажения из-за кривизны Земли. Разность  $\Delta d$  между касательной  $d$  ( $A'B'C'$ ) и дугой  $l$  сфероида  $ABC$  выражается формулой

$$\Delta d = l - d = l^3 : 12R^2, \quad (1)$$

где  $l$  — длина дуги  $ABC$ ;  $d$  — длина касательной  $A'B'C'$ ;  $R = 6371$  км — радиус земного шара (рис. 6, а).

При длине дуги  $l = 20$  км величина  $\Delta d = 1,64$  см; при длине дуги  $l = 50$  км разность  $l - d$  возрастает, достигая величины  $\Delta d = 0,26$  м.

Относительная ошибка (выражающая точность линейных измерений) определяется по формуле

$$\Delta d : d = 1 : (d : \Delta d) = 1 : (50\,000 : 0,26) = 1 : 192\,307.$$

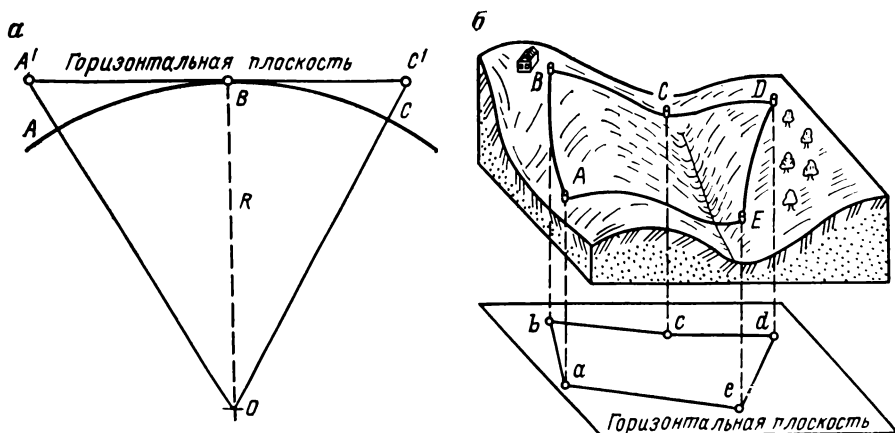


Рис. 6.. Проекция на горизонтальную плоскость:  
а — сферической поверхности; б — участка местности

Такая ошибка меньше высокоточных линейных измерений на местности. С увеличением дуги  $l$  погрешность  $\Delta d$  будет резко возрастать.

При  $l=100$  км разность  $l-d$  достигает 1,03 м. Относительная погрешность при этом будет находиться в пределах 1:50 000.

Поэтому проектируемые контуры участка местности с диаметром до 50 км изобразятся на плоскости без заметных искажений, вызываемых кривизной Земли.

Небольшие участки местности проектируют на горизонтальную плоскость методом прямоугольных проекций, т. е. опускают отвесные линии, которые пересекают плоскую поверхность под прямым углом. Полученная при таком методе проекция на горизонтальной плоскости называется горизонтальным проложением участка местности (рис. 6, б).

## **§ 6. Виды геодезических съемок. Единицы мер, применяемые в геодезии**

Совокупность различных измерительных работ на местности, в результате которых получают необходимые данные для изображения земной поверхности, называют геодезической съемкой.

В геодезии различают съемки наземные и аэрофотографические. Наземные геодезические съемки подразделяются на следующие виды:

1. Горизонтальная (теодолитная), при которой определяют положение точек участка земной поверхности на горизонтальной плоскости. Выполняют такую съемку преимущественно геодезическим прибором — теодолитом. В результате горизонтальной съемки получают горизонтальную проекцию местности.

2. Вертикальная съемка (нивелирование), при которой определяют высоты точек земной поверхности, характеризующие положение точек земной поверхности на вертикальной плоскости. Высоты точек земной поверхности определяют с помощью нивелира. В результате вертикальной съемки получают профили местности по заданному направлению (см. § 8).

3. Комбинированная (тахеометрическая) съемка, представляющая совокупность горизонтальной и вертикальной съемок. При этой съемке определяют положение точек земной поверхности как в горизонтальной плоскости, так и по высоте. Комбинированную съемку выполняют тахеометрами. В результате такой съемки получают план с горизонталями.

4. Фототеодолитная съемка выполняется фототеодолитом или специальными фотокамерами. Представляет собой комплекс работ по наземной фотосъемке местности, в результате которых получают топографические планы. Наиболее применима на открытой местности со сложным рельефом.

В настоящее время широкое распространение имеет аэрофотосъемка, позволяющая значительно быстрее, чем наземная,

получить фотопланы больших площадей земной поверхности. При выполнении геодезических съемок производят линейные и угловые измерения.

За единицу линейных измерений принят метр (м). XI международная конференция по мерам и весам, состоявшаяся в Париже в 1960 г., постановила считать длину метра равной  $1\,650\,763,73$  длины волны в вакууме излучения атома криптона-86. Эталон метра № 28 находится в Ленинграде, во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева и является эталоном длины. С этим эталоном сравнивают образцовые жезлы из сплава стали (58 %) и никеля (42 %). По образцовым жезлам определяют точную длину линейных мерных приборов.

#### *Единицы длины*

|                |            |
|----------------|------------|
| Километр (км)  | = 1 000 м  |
| Метр (м)       | = 1 000 мм |
| Метр (м)       | = 100 см   |
| Метр (м)       | = 10 дм    |
| Дециметр (дм)  | = 10 см    |
| Сантиметр (см) | = 10 мм    |
| Миллиметр (мм) |            |

#### *Единицы площади*

|                                        |                            |
|----------------------------------------|----------------------------|
| Квадратный километр (км <sup>2</sup> ) | = 1 000 000 м <sup>2</sup> |
| Квадратный километр (км <sup>2</sup> ) | = 100 га                   |
| Гектар (га)                            | = 100 а                    |
| Гектар (га)                            | = 10 000 м <sup>2</sup>    |
| Ар (а)                                 | = 100 м <sup>2</sup>       |
| Квадратный метр (кв. м)                | = 100 дм <sup>2</sup>      |

Для измерения углов приняты единицы угловых мер, основанные на делении прямого угла на 90 градусов, а окружности на 360 градусов.

|             |          |                 |
|-------------|----------|-----------------|
| 1° (градус) | содержит | 60' (минут)     |
| 1° (градус) | »        | 3 600" (секунд) |
| 1' (минута) | »        | 60" (секунд)    |

Обозначения угловых мер ставят после их значения сверху:  $10^{\circ}25'30''$ ;  $72^{\circ}3,5'$ .

Нередко в геодезии пользуются радианной мерой углов. Известно, что радиан — это центральный угол, дуга которого равна радиусу окружности.

В градусной мере радиан ( $\rho$ ) равен

$$\rho = 180^{\circ} : \pi = 180^{\circ} : 3,1415926 = 57,3^{\circ} = 3438' = 206\,265''.$$

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Назовите основные научные дисциплины, на которые делится геодезия, их задачи.
2. В каких отраслях народного хозяйства применяется геодезия?
3. Расскажите о применении геодезии на железнодорожном транспорте и в путевом хозяйстве.
4. Дайте понятие о формах и размерах Земли.
5. Какие координаты применяют для определения положения точек на местности?
6. Что называют географическими широтой и долготой?
7. Изобразите оси плоской системы прямоугольных координат.
8. Дайте понятие о полярной системе координат.
9. В чем отличие абсолютных и относительных высот точек земной поверхности?

10. Что называют превышением точки земной поверхности и по какой формуле его определяют?

11. Каким методом получают горизонтальное проложение участка местности?

12. Какие виды съемок применяют в геодезии, их задачи?

13. Перечислите основные единицы мер, применяемые в геодезии.

## Глава 2

## РЕЛЬЕФ МЕСТНОСТИ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ

### § 7. Масштабы, их виды, точность, применение

Горизонтальные проложения линии местности невозможно нанести на бумагу в натуральную величину. Их изображают в некотором уменьшении. Отношение длины отрезка линии на чертеже к длине горизонтального проложения этой линии на местности называют **масштабом**.

Масштабы различают численные и графические.

#### *Численный масштаб*

Численный масштаб выражается дробью, числитель которой единица, а знаменатель — число, показывающее, во сколько раз длина горизонтального проложения линии на местности уменьшена при перенесении на чертеж.

Например, численные масштабы 1:1000; 1:5000; 1:10 000 показывают, что уменьшение горизонтальных проекций линий местности произведено соответственно в тысячу, в пять тысяч и в десять тысяч раз. Масштаб 1:2000 указывает, что 1 см на чертеже соответствует 2000 см на местности или 20 м. Знаменателем масштаба подбирают круглое число, что создает удобство пользования им.

Геодезические чертежи принято составлять в следующих стандартных масштабах:

|             |                                  |                                  |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1:500       | (1 см на чертеже соответствует   | 5 м на местности)                |
| 1:1 000     | (1 см                      То же | 10 м на местности)               |
| 1:2 000     | (1 см                      » »   | 20 м на местности)               |
| 1:5 000     | (1 см                      » »   | 50 м на местности)               |
| 1:10 000    | (1 см                      » »   | 100 м на местности)              |
| 1:25 000    | (1 см                      » »   | 250 м на местности)              |
| 1:50 000    | (1 см                      » »   | 500 м на местности)              |
| 1:100 000   | (1 см                      » »   | 1 000 м или 1 км на местности)   |
| 1:200 000   | (1 см                      » »   | 2 000 м или 2 км на местности)   |
| 1:500 000   | (1 см                      » »   | 5 000 м или 5 км на местности)   |
| 1:1 000 000 | (1 см                      » »   | 10 000 м или 10 км на местности) |

Различают масштабы **крупные** и **мелкие**. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем масштаб крупнее, и, наоборот, чем больше знаменатель, тем масштаб мельче. Например, масштаб 1:1000 в пять раз крупнее масштаба 1:5000, тогда как масштаб 1:10 000 мельче в десять раз масштаба 1:1000.

Планы масштабов 1 : 10 000 и крупнее называют крупномасштабными, а планы масштабов 1 : 25 000 и мельче — мелкомасштабными.

Численный масштаб применяют при решении следующих практических задач:

1. Зная длину линии на чертеже, вычислить длину горизонтального проложения этой линии на местности.

Пример. Масштаб плана 1 : 5000 (1 см — 50 м). Длина линии на плане  $d_{пл}=2,6$  см. Определить соответствующую ей линию на местности  $d_m$ .

Решение:

$$d_m = d_{пл} \cdot a, \quad (2)$$

где  $a$  — число метров на местности, соответствующее 1 см плана. Для масштаба 1 : 5000 в 1 см — 50 м.

$$d_m = 2,6 \cdot 50 = 130 \text{ м.}$$

2. Зная длину горизонтального проложения линии на местности, вычислить соответствующую ей длину на плане в заданном масштабе.

Пример. Длина линии на местности (ее горизонтальное проложение) равна  $d_m=162,48$  м. Определить, какой будет ее длина  $d_{пл}$  на плане масштаба 1 : 2000, с точностью 0,1 мм.

Решение:

$$d_{пл} = d_m : a, \quad (3)$$

где  $a$  — число метров на местности, соответствующее 1 см плана.

Для масштаба 1 : 2000 в 1 см — 20 м.  $d_{пл}=162,48 : 20=8,124$  см = 81,24 мм = 81,2 мм.

Численный масштаб неудобен в практической работе тем, что для определения расстояния на планах прибегают к арифметическим вычислениям. При значительном объеме эти вычисления утомительны. Поэтому в практике вместо численных применяют графические масштабы, которые бывают двух видов — линейные и поперечные.

#### *Линейный масштаб*

Так называют графическое изображение численного масштаба. Для построения линейного масштаба проводятся две параллельные прямые линии на расстоянии 2—3 мм одна от другой, на которых несколько раз откладывают равные отрезки, называемые основанием масштаба. Основание линейного масштаба выбирают таким по размеру, чтобы оно в данном численном масштабе выражало круглое число метров на горизонтальной проекции местности. Чаще всего за основание линейного масштаба принимают отрезок, равный 2 или 2,5 см. Масштаб с основанием, равным 2 см, называют нормальным линейным масштабом (рис. 7, а).

Рассмотрим пример построения линейного масштаба для численного 1 : 10 000 (1 см плана соответствует 100 м на местности). Проводят две параллельные горизонтальные линии, на которых вертикальными черточками откладывают основания масштаба — равные отрезки длиной 2 см (см. рис. 7, а). Первый

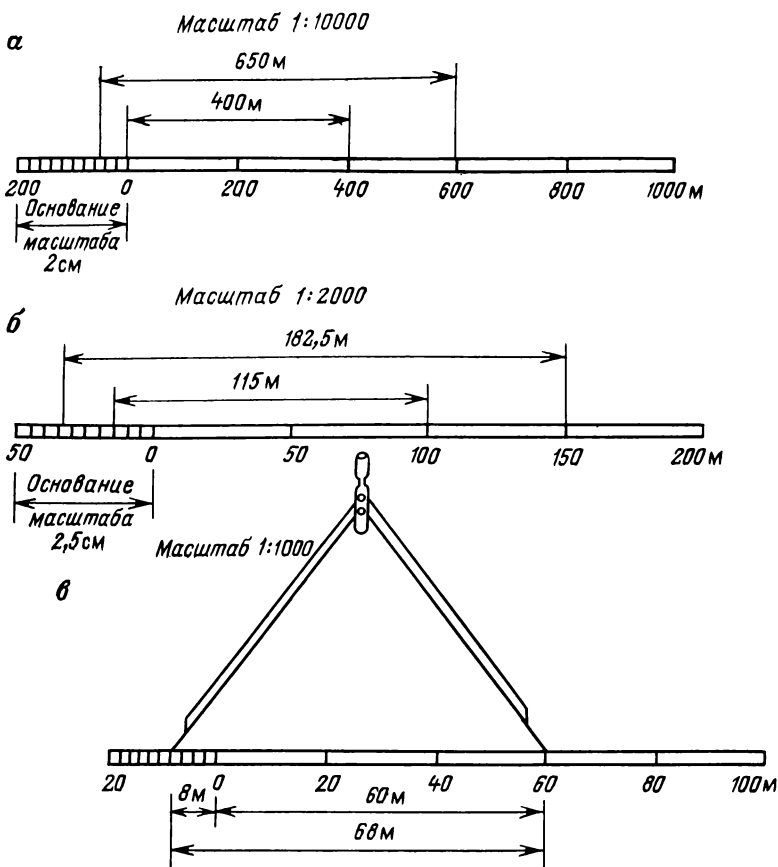


Рис. 7. Линейные масштабы

левый отрезок делят на 10 равных частей по 2 мм, которые называют делениями основания масштаба. В конце каждого основания подписывают длину линии на местности в метрах: 200, 400, 600, 800 и т. д., соответствующую длине отрезков масштаба. Нулевой штрих подписывают в конце левого основания. Он обозначает начало отсчета длин от него влево и вправо. Для построения линейного масштаба 1:2000 за основание удобно взять отрезок в 2,5 см (рис. 7, б). Пользование линейным масштабом несложно. Для того чтобы определить расстояние на местности, соответствующее отрезку на плане заданного масштаба, надо взять раствор циркуля-измерителя, равный этому отрезку. Затем правую иглу циркуля-измерителя ставят на одно из делений масштаба. Левая игла циркуля-измерителя при этом расположится или на нулевом делении (если длина линии содержит целое число оснований), или в пределах левого основания

ния масштаба, имеющего десять мелких делений. Подсчитав число целых мелких делений, оценивают на глаз оставшуюся долю деления. Из рис. 7, в видно, что каждый отрезок составляет сумму двух частей: от нуля до правой иглы и от нуля до левой иглы циркуля-измерителя. Точность определения длин линий по линейному масштабу без оценки «на глаз» ограничено расстоянием, равным 0,1 основания масштаба.

#### Поперечный масштаб

Этот масштаб применяют для измерения линий на планах с повышенной точностью. Поперечный масштаб — это график, построенный на основе линейного масштаба. За основание масштаба принимают обычно отрезок в 2 см. На рис. 8, а приведен поперечный масштаб с основанием  $OA$ . Для его построения откладывают на прямой  $AE$  несколько раз отрезки, равные основанию масштаба. В концах каждого отрезка восстанавливают перпендикуляры. На крайних перпендикулярах откладывают 10 отрезков равной длины. Через точки деления проводят прямые линии. Нижнее и верхнее основания (левое крайнее) делят на 10 равных частей. Нулевой штрих  $O$  нижнего основания соединяют с первым штрихом  $M$  верхнего основания. Через остальные точки деления проводят ряд параллельных линий, называемых трансверсалими. Такой масштаб называют сотенным или нормальным. Отрезок  $MN$  называют наименьшим делением поперечного масштаба. Величину отрезка  $MN$  нормального масштаба определяют из подобия треугольников  $OMN$  и  $Omn$ ; из пропорции

$$mn : MN = On : ON \quad (4)$$

следует:

$$mn = MN \frac{On}{ON}. \quad (5)$$

По условиям построения отрезок  $On$  составляет  $1/10 ON$ , а отрезок  $MN$  —  $1/10$  основания масштаба  $OA$ . Следовательно, наименьшее деление нормального (сотенного) поперечного масштаба составляет одну сотую его основания:

$$mn = 1/100 OA. \quad (6)$$

Половина наименьшего деления нормального поперечного масштаба, которую можно различить на глаз, равна 0,1 мм. Горизонтальное проложение линий на местности, соответствующее 0,1 мм на плане, называют точностью масштаба.

Точность зависит от численного масштаба и по абсолютной величине различна:

|                      |       |       |         |         |         |          |          |
|----------------------|-------|-------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Численный масштаб    | 1:200 | 1:500 | 1:1 000 | 1:2 000 | 1:5 000 | 1:10 000 | 1:25 000 |
| Точность масштаба, м | 0,02  | 0,05  | 0,1     | 0,2     | 0,5     | 1,0      | 2,5      |

На рис. 8, б и в приведены поперечный масштаб 1:5000 с основанием 2 см и поперечный масштаб 1:10 000 с основанием

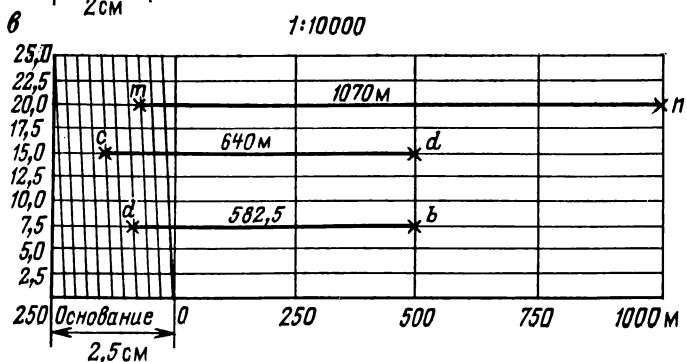
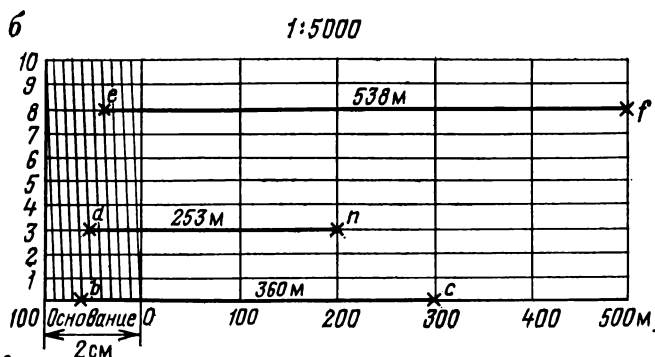
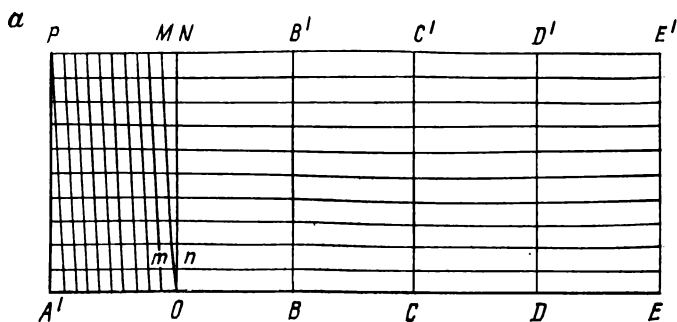


Рис. 8. Поперечные масштабы

2,5 см. Для определения расстояния на местности, соответствующего отрезку  $BC$  на плане, с помощью поперечного масштаба берут этот отрезок в раствор циркуля-измерителя. Циркуль-измеритель переносят на нижнюю линию масштаба так, чтобы правая его игла находилась на одном из делений основания масштаба (точка  $c$ ). Если левая игла точно совпадает с делениями левого основания масштаба, производят отсчет (точка  $b$ ). Например, отрезок  $bc$  соответствует 360 м на местности (см. рис. 8, б). При несовпадении левой иглы точно

с делением масштаба нижней линии циркуль-измеритель перемещают вверх по параллельным линиям таким образом, чтобы правая его игла находилась на одной из вертикальных линий, а левая — на одной из наклонных крайнего левого основания масштаба. Например, отрезок  $dn$  соответствует 253 м, а отрезок  $ef$  — 538 м на местности.

Чтобы отложить на плане отрезок  $AB$ , соответствующий длине 582,5 м на местности, располагают циркуль-измеритель на поперечном масштабе так, чтобы правая его игла находилась на вертикальной линии с оцифровкой 500, а левая игла — на трансверсали, соответствующей 82,5 (см. рис. 8, *в*). При этом линия, проходящая через иглы циркуля-измерителя, должна быть параллельна основанию масштаба, т. е. обе иглы должны находиться на одной горизонтальной линии масштаба. При работе с поперечным масштабом необходимо знать, что откладываемые линии состоят из суммы трех отрезков, например:

1) числа целых оснований, взятых от нулевого штриха до правой иглы циркуля:  $2 \times 250 = 500$  м;

2) числа десятых делений основания, взятых от левой иглы до наклонной линии, проходящей через нулевой штрих:  $3 \times 25 = 75$  м;

3) числа сотых долей основания, заключенных между вертикальной и наклонной линиями, выходящими из нулевого штриха: 7,5 м.

Общая длина отложенной линии составит на местности:  $500 + 75 + 7,5 = 582,5$  м.

Аналогично отложены линии  $cd = 640$  м и  $mn = 1070$  м (см. рис. 8, *в*).

## § 8. План, профиль, карта. Понятие о номенклатуре топографических карт

Планом называют уменьшенное и подобное изображение горизонтальной проекции небольшого участка земной поверхности на плоскости (рис. 9). При рассмотрении § 5 указывалось, что при проектировании небольших по размерам участков местности можно пренебречь кривизной Земли.

Если на плане показаны только контуры ситуации местности (границы пашен, кустарников, лесов, болот, дорог, рек, озер и других элементов местности), его называют контурным (рис. 9, *а*).

Планы, на которых кроме ситуации изображен рельеф местности, называют топографическими (рис. 9, *б*). Каждый план составляют в разных масштабах для использования его в определенных целях, в зависимости от этого различают следующие планы:

Планы станций и полосы отвода, на которых изображают станционные пути и контуры сооружений, контуры насыпей,

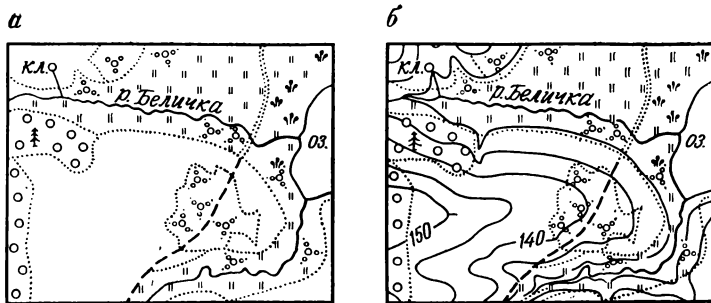
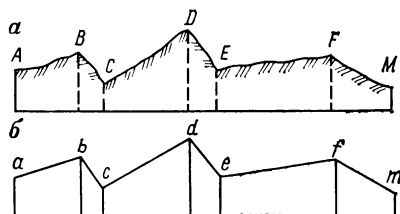


Рис. 9. Планы местности:

а — контурный; б — топографический

Рис 10. Вертикальный разрез местности и его профиль



выемок, искусственных сооружений. Такие планы выполняют в крупных масштабах;

городские — планы кварталов городских застроек, проездов, городских коммуникаций;

лесные — планы лесопитомников, лесонасаждений, лесных кварталов, лесозащитных полос;

сельскохозяйственные — планы сельскохозяйственных угодий, границ землепользований и др.

**Профиль** — уменьшенное изображение на плоскости вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Физическая поверхность Земли, выраженная криволинейным очертанием (рис. 10, а), изображается на профиле ломаными линиями (рис. 10, б). Построенный по характерным точкам местности профиль наглядно выражает ее рельеф по линии разреза, например по оси железнодорожного пути или водоотводного сооружения. Профили широко используют при проектировании железных и автомобильных дорог, линии водопровода, канализации и др.

### Карта

Для изображения на бумаге больших по площади участков земной поверхности необходимо учитывать кривизну Земли (см. § 5). Спроектированные контуры местности на сферическую поверхность при перенесении на плоскость (бумагу) претерпевают изменения. Это происходит потому, что сферическую поверхность нельзя развернуть на плоскости без разрывов или складок. Поэтому на картах искажаются длины линий, величины углов и площадей (если расстояние между удаленными точками

более 50 км). Отсутствие полного геометрического подобия контура местности — главное отличие карты от плана. Следовательно, картой называют уменьшенное и обобщенное изображение на плоскости поверхности всей Земли или значительных ее частей с учетом кривизны уровенной поверхности.

По своему содержанию карты делятся на общегеографические и специальные (тематические).

На общегеографических картах изображают контуры ситуации, рельеф местности, растительный покров, водные пространства, населенные пункты, пути сообщения, линии электропередач и связи и другие объекты.

Карты, выполненные в масштабах 1 : 100 000 и крупнее, называют топографическими. Наиболее распространены топографические карты масштабов 1 : 100 000; 1 : 50 000; 1 : 25 000; 1 : 10 000. Такие крупномасштабные карты составляют в равноугольной цилиндрической проекции Гаусса, что позволяет сохранить на них подобие земной поверхности в самых малых ее частях. На топографических картах с большой подробностью изображают сравнительно небольшие части земного эллипсоида при сохранении постоянства масштаба в любом направлении. Поэтому крупномасштабными топографическими картами можно пользоваться, как планами для решения различных технических задач при проектировании и строительстве железных дорог, мостов, зданий и других инженерных сооружений.

Карты, на которых кроме рельефа местности и контуров ситуации изображаются более подробно, чем на общегеографических картах, данные специального характера по гидрологии, геологии, растительности, почвам, транспорту, сельскому хозяйству и другие, называют специальными (тематическими).

По назначению карты могут быть учебными, экономическими, дорожными, политико-административными и т. п.

#### *Понятие о номенклатуре топографических карт*

Границами листов топографических карт с востока и запада служат меридианы, а с севера и юга — параллели. Они образуют рамки листов карты, имеющих форму равносторонних трапеций. Деление листа карты одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называют разграфкой. Для удобства пользования многolistными картами введена система обозначения (нумерация) отдельных листов, называемая номенклатурой.

За основу номенклатуры топографических карт в СССР принята Государственная карта масштаба 1 : 1 000 000. Построение меридианов и параллелей отдельных листов Государственной карты совпадает с международной разграфкой карты мира. Для этого всю поверхность делят меридианами и параллелями на колонны и ряды (пояса). Меридианы проводят, начиная от Гринвичского, через каждые 6° по долготе, образуя колонны.

Счет колонн ведут против часовой стрелки, начиная от меридиана с долготой 180°. Номера колонн обозначают арабскими



### Таблица 1

| Масштаб карты | Число листов<br>в одном листе<br>карты масштаба<br>1 : 1 000 000 | Номенклатура<br>листов<br>на рис. 12 | Размер рамки |            |
|---------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------|
|               |                                                                  |                                      | по широте    | по долготе |
| 1 : 500 000   | 4                                                                | P-45-Г                               | 2°           | 3°         |
| 1 : 200 000   | 36                                                               | P-45-XII                             | 40′          | 1°         |
| 1 : 100 000   | 144                                                              | P-45-24                              | 20′          | 30′        |

цифрами от 1 до 60. Следовательно, колонна с номером 31 ограничена меридианами, имеющими долготу 0 и 6° (рис. 11). Такая разграфка на колонны соответствует разбивке земной поверхности на шестиградусные зоны (см. рис. 5), но номер колонны равен номеру зоны, увеличенному на 30 раз.

Горизонтальные ряды (пояса) образуются параллелями через  $4^\circ$  по широте, счет которых ведут в обе стороны от эква-

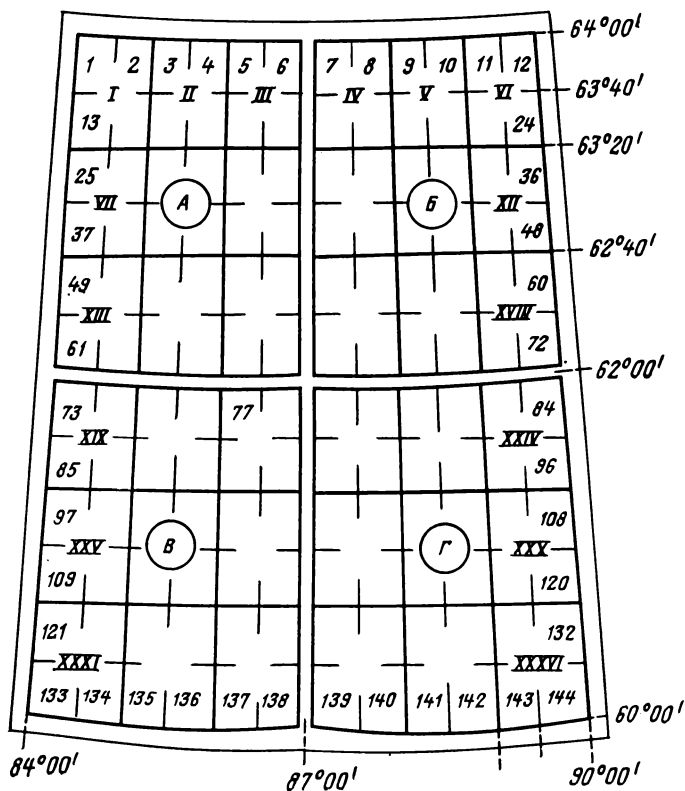


Рис. 12. Схема разграфки на листы карты масштаба 1 : 1 000 000

### Таблица 2

| Масштаб карты | Число листов<br>в одном листе<br>карты масштаба<br>предыдущего | Номенклатура<br>заштрихованных<br>листов на рис. 13 | Размер рамки |            |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|------------|
|               |                                                                |                                                     | по широте    | по долготе |
| 1 : 100 000   | —                                                              | P-45-77                                             | 20'          | 30'        |
| 1 : 50 000    | 4                                                              | P-45-77-Г                                           | 10'          | 15'        |
| 1 : 25 000    | 4                                                              | P-45-77-Б-2                                         | 5'           | 7,5'       |
| 1 : 10 000    | 4                                                              | P-45-77-Б-6-4                                       | 2,5'         | 3,75'      |
| 1 : 5000      | 256                                                            | P-45-77-(16)                                        | 1'15"        | 1'52,5"    |

тора к Северному и Южному полюсам. Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита (см. рис. 11).

Название каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 состоит из буквы, обозначающей ряд, и числа, указывающего номер колонны. Так, лист карты, на которой находится г. Москва, обозначается № 37. Это значит, что данный лист карты

P-45-77

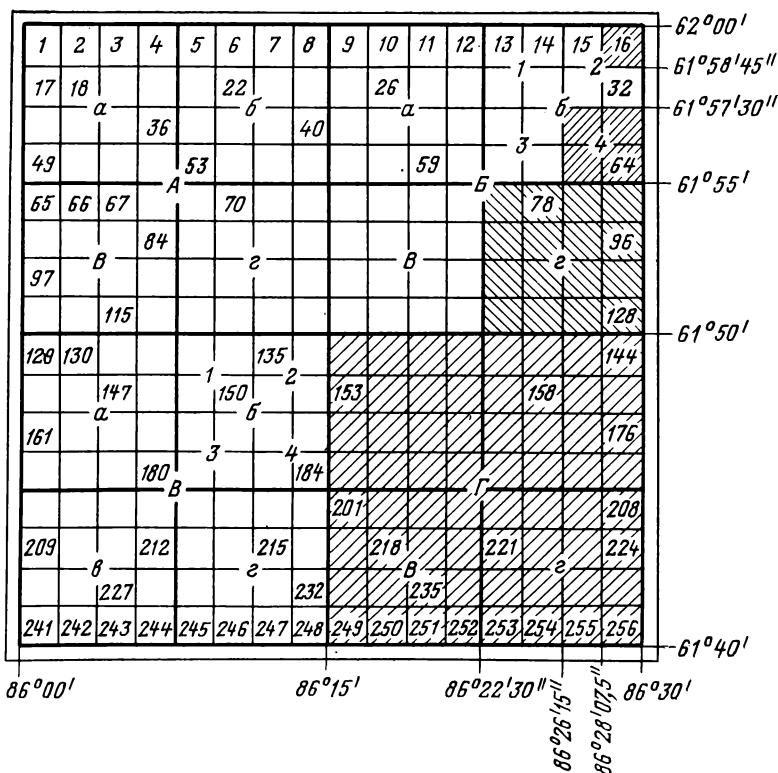


Рис. 13. Схема разграфки листа карты масштаба 1 : 100 000 на листы карт масштабов 1 : 50 000—1 : 5000

Таблица 3

| Масштаб                         | Число листов в одном листе предыдущего масштаба                                            | Номенклатура последнего листа | Размер рамки квадрата в см |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 : 2000<br>1 : 1000<br>1 : 500 | 9 в листе масштаба 1 : 5000<br>4 в листе масштаба 1 : 2000<br>16 в листе масштаба 1 : 2000 | 5-Г<br>5-Г-IV<br>5-Г-16       | 50×50<br>50×50<br>50×50    |

находится в ряду  $N$  и в 37-й колонне (см. рис. 11). Листы карты масштаба 1 : 500 000 получаются делением на 4 части каждого листа карты масштаба 1 : 1 000 000 (табл. 1). Каждую из четырех полученных частей обозначают буквами русского алфавита  $A, B, B, Г$  (рис. 12).

В каждом листе карты 1 : 1 000 000 содержится 36 листов карт масштаба 1 : 200 000, обозначаемых римскими цифрами, и 144 листа карт масштаба 1 : 100 000, которые обозначаются арабскими цифрами (см. рис. 12). Лист карты масштаба 1 : 100 000 служит основой для разграфки и номенклатуры листов карт более крупного масштаба. Каждый лист карты масштаба 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 делят на 4 листа карты следующего за ним более крупного масштаба, т. е. 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000 соответственно. Номенклатура их приведена в табл. 2 (рис. 13).

Одному листу карты масштаба 1 : 100 000 соответствуют 256 листов плана масштаба 1 : 5000, обозначаемых цифрами, заключенными в скобки. В одном листе плана масштаба 1 : 5000 содержится 9 листов плана масштаба 1 : 2000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита  $a, б, в, г, д, е, ж, з, и$ , заключенными в скобки (см. табл. 3). Для детального проектирования инженерных сооружений применяют крупномасштабные планы 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500.

Номенклатура и разграфка крупномасштабных планов приведены применительно к листу 5 масштаба 1 : 5000 в табл. 3.

## § 9. Условные знаки планов и карт

На планах и картах изображаются все местные предметы земной поверхности: растительность, населенные пункты, пути сообщения, сельскохозяйственные угодия, водные пространства, различные сооружения и другие подробности, которые называют ситуацией местности.

Изображение всех элементов ситуации производят стандартными условными знаками [20, 21], обязательными для всех ведомств и учреждений СССР. Все условные знаки разделяют на контурные (масштабные), внесмасштабные и линейные.

Контурными (масштабными) знаками изображают элементы местности в масштабе плана или карты (луга, леса, пашни, огороды, озера). При помощи контурных условных знаков можно определить месторасположение объекта ситуации, его форму и размеры. На планах и картах площади внутри каждого отдельного контура заполняют установленной формы условными знаками. Границы пашни, леса, луга и других контуров, если они не совпадают с дорогами, канавами, береговыми линиями, обозначают пунктирной линией (см. прил. 3 № 333).

Внемасштабные условные знаки применяют для изображения предметов местности, которые по своим размерам не могут быть выражены в масштабе плана (карты). Поэтому такие предметы, как километровые столбы, светофоры, указатели дорог, колодцы, заводские трубы и т. п., изображают на планах и картах без сохранения масштаба. Внемасштабные знаки указывают на точное месторасположение предмета, которое определяется центрами этих знаков (см. прил. 3 № 1—12).

Линейными условными знаками изображают железные и автомобильные дороги, линии связи и электропередачи, реки и другие объекты линейного очертания. Положение горизонтального проложения длины каждого изображаемого объекта (дороги, линии электропередачи и др.) на планах и картах наносят в точном соответствии с масштабом. Однако ширина таких вытянутых по длине объектов показывается несколько увеличенной, т. е. не соответствует масштабу плана (см. прил. 3 № 140—144).

Большинство условных знаков выполняют черным цветом. Контуры водоемов (озер, рек, каналов), болот, заливных лугов, солончаков обводят зеленым цветом.

Коричневой краской (жженная сиена) показывают пески, рельеф местности; автомобильные дороги изображают красным и оранжевым цветом; грунтовые — желтым.

Для обозначения на планах и картах дополнительных сведений и характеристик ситуационных объектов применяют пояснительные надписи. К ним относятся: написание высоты насыпи (+3,5) или глубины выемки (—4,7) железнодорожной линии (прил. 3 № 140), ширины автодороги, глубины реки, высоты деревьев, их породы и др. Все надписи на планах и картах выполняют параллельно нижней и верхней рамкам. Названия рек, направление и скорости их течения выполняют вдоль их направлений. Все надписи на планах и картах выполняют черным цветом. Ряд условных знаков топографических планов приведен в прил. 3.

## § 10. Основные формы рельефа земной поверхности

Физическая поверхность земли имеет возвышенности, впадины и другие неровности. Совокупность различных по форме неровностей физической поверхности называется рельефом.

В зависимости от сочетания различных форм (характера) рельефа, разности высот точек местность может быть равнинной, холмистой, горной. Равнинная местность характеризуется отсутствием заметно выраженных неровностей и представляет собой горизонтальную или с небольшим наклоном плоскую поверхность земли (рис. 14, а).

Холмистая местность отличается заметным непрерывным чередованием повышений и понижений поверхности земли с разностью высот точек до 200 м (рис. 14, б).

Горная местность — это сочетание горных цепей с крутыми склонами, лежащими выше 500 м над уровнем моря (рис. 14, в). Разность отметок возвышенностей и понижений в горной местности — более 200 м.

Все многообразные по сочетанию формы рельефа разделяют на положительные (выпуклые) и отрицательные (вогнутые). К положительным относят следующие:

**Гора** — конусообразная или куполообразная возвышенность, высота которой более 200 м.

У горы различают: вершину, склоны (скаты), подошву (подножие). Остроконечную вершину называют пиком, а плоскую, в виде площадки — плато. Склоны горы ясно выраженные, крутые (рис. 15, а). Площадка на склоне горы называется уступом или террасой.

**Холм** — сравнительно небольшая (до 200 м) возвышенность с пологими, плавными склонами.

**Курган** — искусственно насыпанная возвышенность высотой до 50 м.

**Хребет** — вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении горная возвышенность с крутыми склонами в обе стороны (рис. 15, б). Линия, проходящая по самым высоким точкам хребта, называется водораздельной или водоразделом. Водораздел проходит по волнистой линии пересечения склонов хребта, называемой гребнем.

Основными отрицательными формами рельефа являются:

**Котловина** или **впадина** — чашеобразное углубление на поверхности земли. Котловина имеет дно, скаты и бровку (окраину) — границу перехода котловины в равнину (рис. 15, в).

**Лощина** — вытянутое углубление земной поверхности, понижающееся в одном направлении. Линию, проходящую по самым низким точкам лощины, называют водотоком или тальвегом (рис. 15, г). В обе стороны от тальвега поднимаются пологие склоны лощины, постепенно переходящие в равнину. Лощина обычно имеет спуск к реке. Лощины с широко-раздвинутыми пологими склонами называют долинами. В горных районах встречаются узкие и глубокие лощины с крутыми скатами, называемые ущельями. Под действием стекающей воды на склонах местности образуются промоины. Промоины больших размеров с сильно изрезанными крутыми

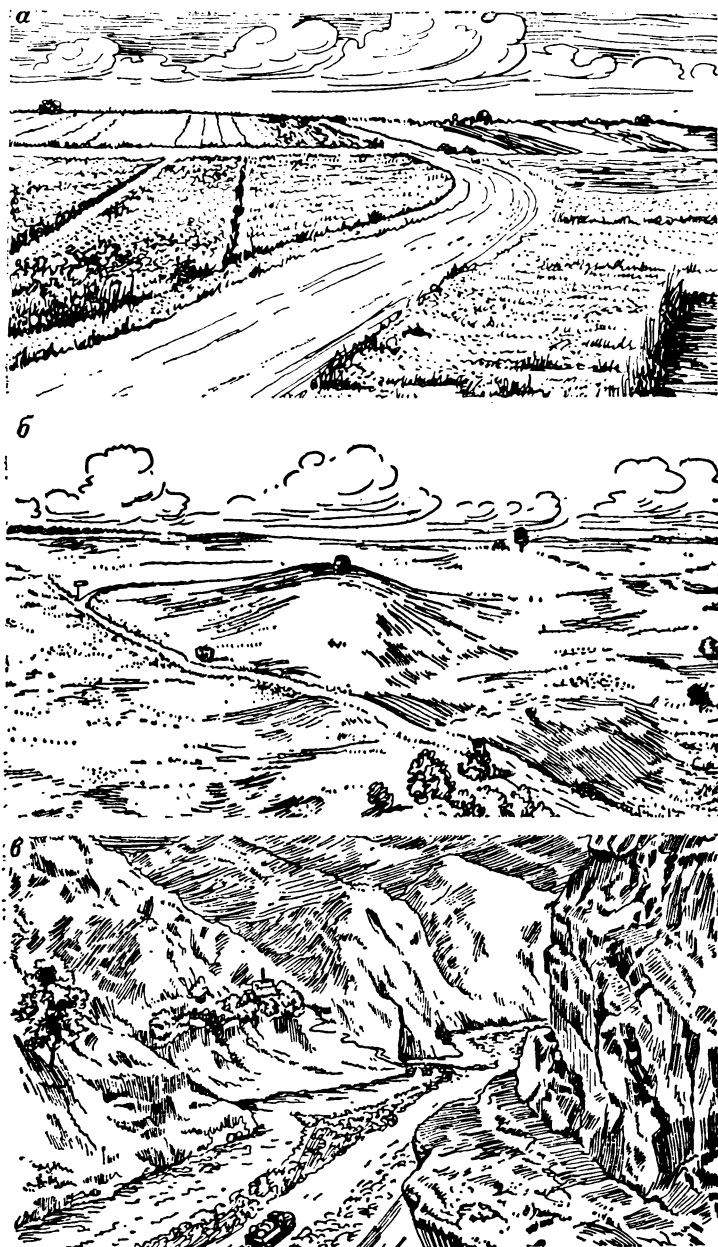


Рис. 14. Местность:  
 а — равнинная; б — холмистая; в — горная

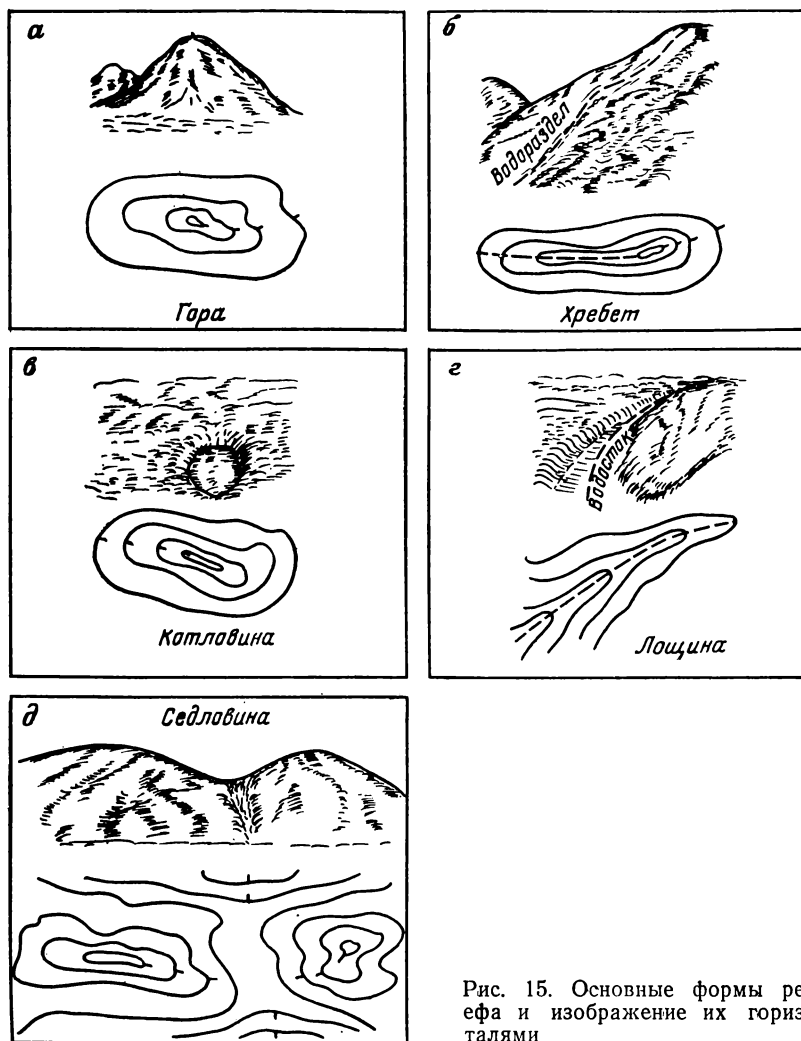


Рис. 15. Основные формы рельефа и изображение их горизонталями

склонами называют оврагами. Овраг, покрытый растительностью и имеющий пологие склоны, называется балкой.

Седловина — пониженная часть хребта между двумя соседними горными вершинами, по форме напоминающая седло (рис. 15, д). Местность в пределах седловины в две противоположные стороны (вдоль хребта) повышается, а в две другие (поперечные хребту) — понижается. Низкие места водоразделов называют перевалами. Через них проходят горные дороги.

Знание рельефа местности имеет исключительно важное значение при проектировании и строительстве железных дорог и различных инженерных сооружений.

## § 11. Изображение рельефа на планах и картах.

### Горизонтали, их построение

Рельеф местности изображают на планах и картах в виде соответствующих условных знаков, которые должны наглядно и точно передавать рельеф, обеспечить возможность определения отметок отдельных точек, крутизну скатов, превышений отдельных точек. Различают следующие способы изображения рельефа на планах и картах: указанием абсолютных отметок, плоской окраской, горизонталями и комбинированный.

Наиболее совершенный — способ горизонталей, дополненный отметками отдельных характерных точек местности. Указанный способ позволяет наиболее точно передать форму рельефа, он нагляден и прост для использования.

#### *Горизонтали*

Кривые линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками (линии равных высот), называют горизонталями. Горизонталь представляет собой след от пересечения поверхности земли уровнями поверхностью.

Рассмотрим сущность способа построения горизонталей. Представим себе возвышенность, омываемую водной поверхностью, с отметкой, равной  $O$ . Рассечем эту возвышенность горизонтальными равноотстоящими плоскостями, параллельными уровенной поверхности (рис. 16, *a*).

След береговой линии, образованной пересечениями поверхности воды с возвышенностью, и будет горизонтально с отметкой, равной  $O$ . Отвесное расстояние между горизонтальными секущими плоскостями называют высотой рельефа ( $h_{\text{сеч}}$ ). На рис. 16, *a* высота сечения рельефа принята  $h_{\text{сеч}} = 10$  м. Высоты сечения принимают равными 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 10; 20; 25; 50 м и т. д. Их величина зависит от характера рельефа, масштаба и назначения карты или плана. Чем мельче масштаб и чем больше крутизна скатов местности, тем больше должна быть высота сечения рельефа.

Чем меньше высота сечения рельефа, тем рельеф местности выражается на плане точнее.

Линии пересечения (следы) секущих плоскостей с возвышенностью являются горизонталями, отметки которых 10 и 20 м. Проекция этих следов на горизонтальную плоскость в уменьшенном виде образуют изображение возвышенности горизонталями. Горизонтали на топографических планах и картах вычерчивают тонкими сплошными линиями коричневой тушью (жженая сиена). В разрывах горизонталей пишут их отметки, ставя цифры так, чтобы верх цифры был обращен в сторону повышения склона. Каждую пятую или десятую горизонталь обводят вдвое. Начало счета ведут от нулевого уровня. Чтобы на планах и картах можно было отличить возвышенность от углубления, кроме подписи отметок на некоторых горизонталях ставят короткие черточки в сторону пони-

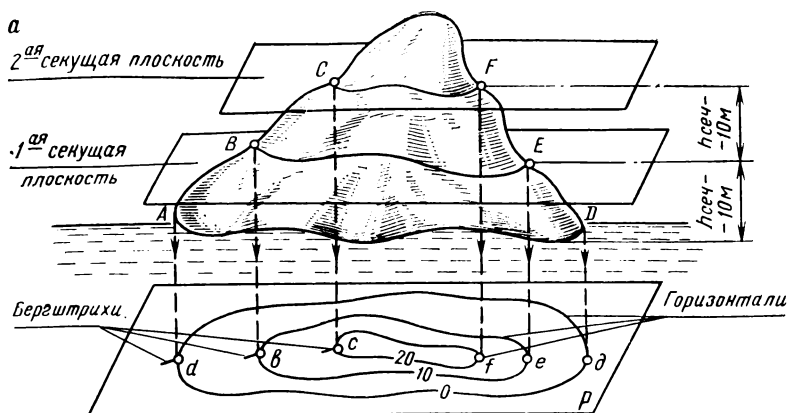


Рис. 16. Формы и схема изображения скатов возвышенностей горизонталями

жения ската. Такие черточки называют бергштрихами (см. рис. 16, а). Для уточнения рельефа местности, если он в полной мере не отражается основными горизонталями, проводят прерывистые линии с половинным, а иногда и с четвертным значением горизонтали. Такие дополнительные горизонтали называют полугоризонталями и четвертьгоризонталями. Основные формы рельефа, изображенные горизонталями, приведены на рис. 15.

### Свойства горизонталей

1. Как видно из рис. 15, 16, горизонтали — замкнутые кривые линии. Если горизонталь не замыкается в пределах площади плана, она замыкается за его пределами.

2. Все точки, лежащие на горизонтали, имеют одинаковые отметки.

3. Горизонтали не могут пересекаться на плане, так как они получаются пересечением земной поверхности горизонтальными плоскостями, лежащими на разных высотах. Исключением из этого правила является изображение горизонталями нависшего утеса.

4. Крутизна ската склона характеризуется расстоянием (заложением) между горизонталями. Чем меньше заложение — расстояние между горизонталями на плане, тем скат круче.

Формы скатов различают следующие: ровный, выпуклый, вогнутый, волнистый. Ровный (плоский) скат выражается параллельными горизонталями, отстоящими друг от друга на одинаковых расстояниях (рис. 16, б).

Выпуклый свет изображается на планах горизонталями, расстояние между которыми уменьшается от вершины склона к его подошве (рис. 16, в).

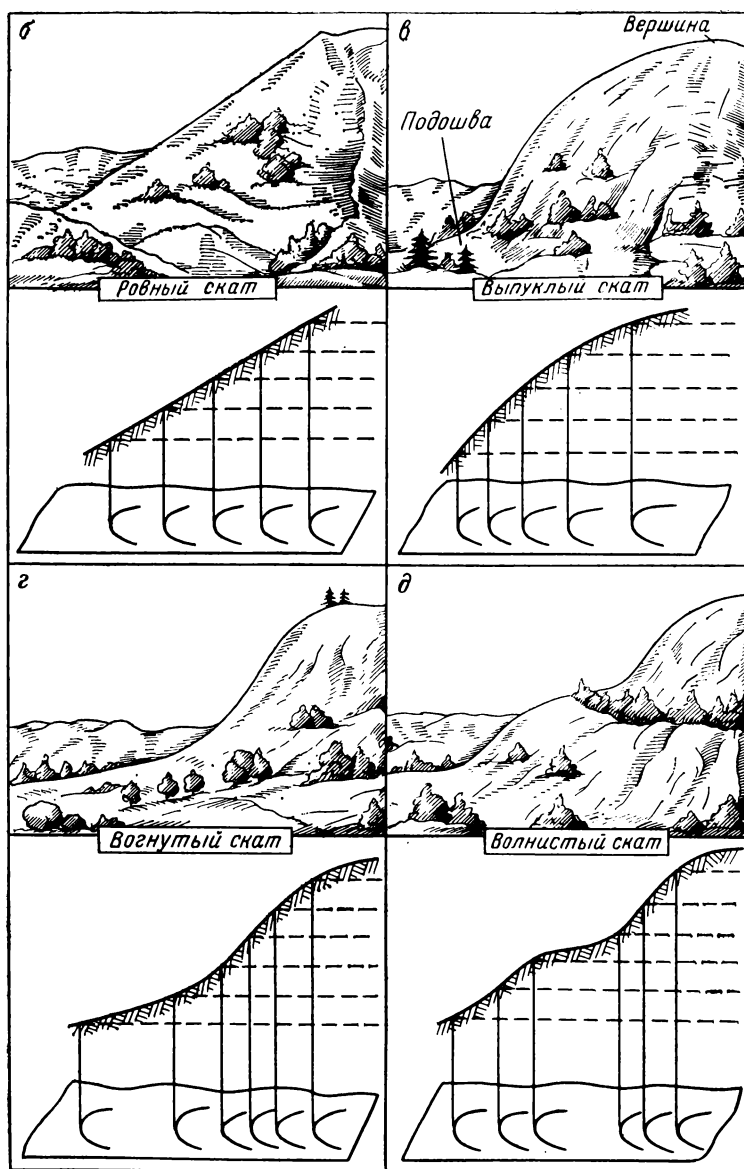


Рис. 16.

Если расстояние между горизонталями уменьшается от подошвы к вершине, скат вогнутый (рис. 16, г).

Волнистый скат представляет собой чередование первых трех форм скатов и выступов. Выступы выделяются увеличенным расстоянием между горизонталями (рис. 16, д).

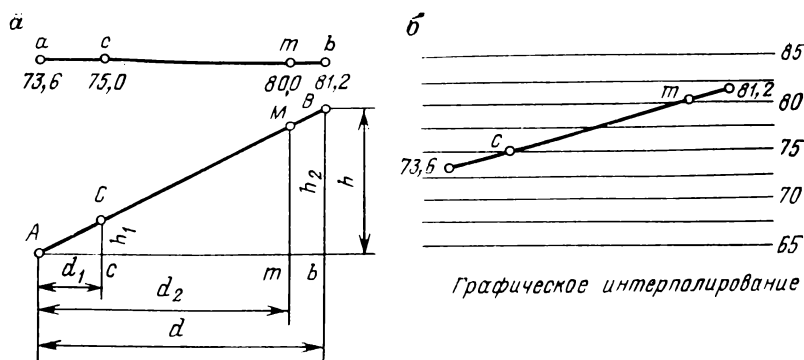


Рис. 17. Схема построения горизонталей по заданным высотам точек

### Построение горизонталей

Для построения на планах и картах горизонталей, которые бы выражали рельеф местности, необходимо знать отметки всех характерных точек местности и их положение на горизонтальной плоскости. Все эти данные определяют в процессе различного вида съемок, рассмотренных далее в настоящем учебнике. На план наносят характерные точки рельефа, подписывают их отметки и соединяют прямыми линиями пары точек, между которыми крутизна ската одинакова. Отыскание точек пересечения линии ската горизонталями называют интерполяцией. Аналитическое или математическое интерполирование выполняют в следующем порядке.

На плане нанесены точки  $a$  и  $b$  с отметками  $H_a=73,6$  м,  $H_b=81,2$  м. Скат, на котором лежат эти точки, перегибов не имеет. Требуется найти положение горизонтали на отрезке  $ab$ , если высота сечения горизонталей 5 м. Искомые горизонтالي должны иметь отметки, кратные 5, и быть выражены целыми числами. Поэтому между заданными точками  $a$  и  $b$  пройдут горизонтали с отметками 75,0 и 80,0 м. Расстояние  $d_1$  от точки  $a$  до искомой горизонтали с отметкой 75,0 м вычисляют из подобия треугольников  $cAC$  и  $bAB$  (рис. 17, а):

$$d_1 = dh_1 : h, \quad (7)$$

где  $d=ab$  — расстояние между точками, определяемое по масштабу;  $h_1$  — разность отметок горизонтали и точки  $a$ ,  $h_1=75,0-73,6=1,4$  м.

Определим  $d_1$  при  $d=210$  м:

$$d_1 = \frac{1,4}{7,6} \times 210 = 38,6 \text{ м.}$$

Аналогично определяют расстояние  $d_2$ :

$$d_2 = \frac{80,0 - 73,6}{7,6} \times 210 = \frac{6,4}{7,6} \times 210 = 176,8 \text{ м.}$$

Откладывают от точки  $a$  по направлению к точке  $b$  отрезок  $d_1 = 38,6$  м и  $d_2 = 176,8$  м, получают точки  $c$  и  $m$ , которые соответствуют положению горизонталей с отметками 75,0 и 80,0 м.

Рассмотренный способ довольно трудоемкий, особенно при большом количестве точек.

Наиболее предпочтительным на практике является способ графической интерполяции.

Он основан на том свойстве, что прямая линия пересекается параллельными линиями, делится на части, пропорциональные расстояниям между этими линиями. Для графического интерполирования применяют обычно кальку, на которой нанесен ряд параллельных равноотстоящих друг от друга линий с подписанными отметками, соответствующими принятой высоте сечения, например 5 м. Такой график, нанесенный на кальку, иногда называют палеткой.

Накладывают палетку на план и передвигают ее так, чтобы концы интерполируемой линии  $ab$  расположились на линиях палетки соответственно своим отметкам 73,6 и 81,2 м (рис. 17, б). Места пересечения прямой  $ab$  с линиями палетки, подписанными отметками 75,0 и 80,0 м, накалываем иглой циркуля-измерителя или острием карандаша. Так, на прямой  $ab$  будут найдены точки  $c$  и  $m$  пересечения прямой  $ab$  горизонталями с отметками 75,0 и 80,0 м. Аналогично интерполируют все другие прямые, расположенные на плане. Полученные точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми линиями — горизонталями.

Если рельеф довольно сложный, таких графиков (палеток) применяют несколько с разными расстояниями между параллельными линиями. Это позволяет интерполировать прямые линии, расположенные на склонах различной крутизны.

## § 12. Задачи, решаемые по плану с горизонталями

При работе с планами и картами, имеющими горизонтали, решают ряд задач, связанных с инженерными изысканиями и проектированием железных дорог.

1. Определение отметок точек.

1.1. Точка лежит на горизонтали.

Если точка находится на горизонтали, ее отметка равна отметке горизонтали. Например, отметка точки  $A$ , лежащей на горизонтали с отметками 260 м, равна этой величине:  $H_A = 260$  м (рис. 18, а).

1.2. Точка лежит между горизонталями, например с отметками 256 и 258 м (рис. 18, а). Отметка точки  $B$  будет больше отметки ближайшей меньшей горизонтали на величину превышения  $h$ :

$$H_B = H_{гор} + h. \quad (8)$$

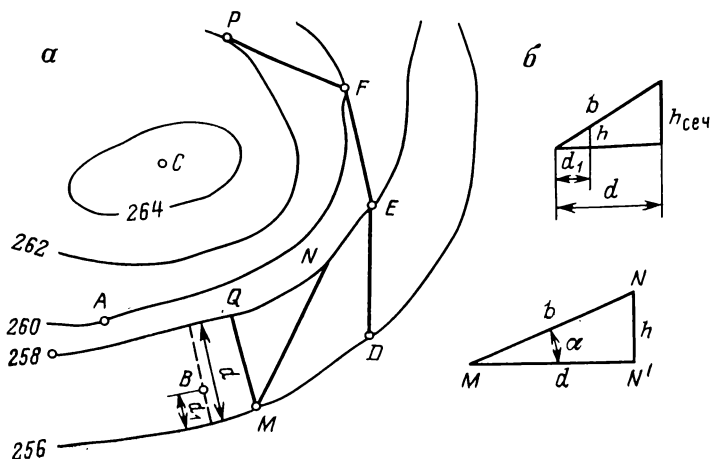


Рис. 18. Задачи, решаемые по плану с горизонталями

Превышение определяют из пропорции

$$\frac{h}{h_{\text{сеч}}} = \frac{d_1}{d}; \quad h = \frac{d_1}{d} h_{\text{сеч}}. \quad (9)$$

Отрезки  $d$  и  $d_1$  (рис. 18, б) измеряют циркулем и с помощью масштаба определяют их длину. Отметку искомой точки  $B$ , лежащей между горизонталями, определяют по формуле

$$H_B = H_{\text{гор}} + \frac{d_1}{d} h_{\text{сеч}}. \quad (10)$$

В рассматриваемом примере ( $d_1 = 40$  м,  $d = 120$  м):

$$H_B = 256,0 + \frac{40}{120} \times 2 = 256,0 + 0,67 = 256,67 \text{ м.}$$

1.3. Точка находится внутри сомкнутой горизонтали или между горизонталями с одинаковыми отметками, например точка  $C$  (рис. 18, а). В этом случае значение отметки  $H_C$  принимают равным отметке горизонтали  $H_{\text{гор}}$  плюс (минус) половина сечения  $h_{\text{сеч}}$ :

$$H_C = H_{\text{гор}} \pm \frac{h_{\text{сеч}}}{2}. \quad (11)$$

Отметка точки  $C$ :

$$H_C = 264 + \frac{2}{2} = 265,0 \text{ м.}$$

## 2. Определение уклона линии.

Уклоном линии называют тангенс угла наклона к горизонту.

Уклон линии обозначается буквой  $i$ . Если линия местности  $MN$  наклонена к линии горизонта  $MN'$  под углом  $\alpha$ , то ее уклон равен отношению превышения  $h$  к горизонтальному проложению  $d$  (заложению) наклонной линии  $MN$  (рис. 18, в):

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}. \quad (12)$$

Если  $d = 1000$  м,  $i = h/1000 = i \text{ ‰}$ .

Если необходимо определить на плане с горизонталями уклон линии  $MN$  (см. рис. 18, а), поступают так: находят превышение точки  $N$  над точкой  $M$  по отметкам концов отрезка, лежащих на горизонталях с отметками 256 и 258 м.

Длину линии  $MN$  определяют по масштабу плана. Например,  $d = 223$  м. Тогда уклон линии  $MN$

$$i = \frac{258 - 256}{223} = \frac{2}{223} = 0,0089 \approx 0,009,$$

или, выразив уклон в тысячных, получим  $i = 9 \text{ ‰}$ .

### 3. Построение на плане линии заданного уклона.

В практике проектирования железных дорог возникает необходимость в плане с горизонталями проводить линии с определенным уклоном. Например, из точки  $D$  в направлении точки  $O$  необходимо построить ряд линий с уклоном  $i = 12 \text{ ‰}$ . Для этого определим величину заложения  $d$  (раствора циркуля) из формулы (12)

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{h}{i}. \quad (13)$$

Превышение  $h$  находят по величине сечения горизонталей  $h_{\text{сеч}} = 2$  м (см. рис. 18, а), тогда

$$d = \frac{2}{0,012} = 166,66 \text{ м.}$$

По масштабу плана берут раствор циркуля, равный 166,7 м, и от начальной точки  $D$  делают засечку на соседней горизонтали в заданном направлении. Так получают точку  $E$ . Аналогично тем же раствором циркуля делают засечку из точек  $E$  и  $F$ . Полученная ломаная линия  $DEFP$  будет иметь заданный уклон  $i = 12 \text{ ‰}$ .

4. Определение крутизны ската. Построение графиков заложений. Направление ската определяют по линии наибольшей крутизны, по которой будет стекать вода с данного склона. Крутизну ската определяют по углу наклона линии ската к горизонту или уклону. Линия наибольшей крутизны ската имеет кратчайшее расстояние между смежными горизонталями. Из рис. 18, а видно, что линия  $MQ$  меньше, чем линии  $MN$  и  $DE$ , а высота сечения горизонталей одна и та же — 2 м.

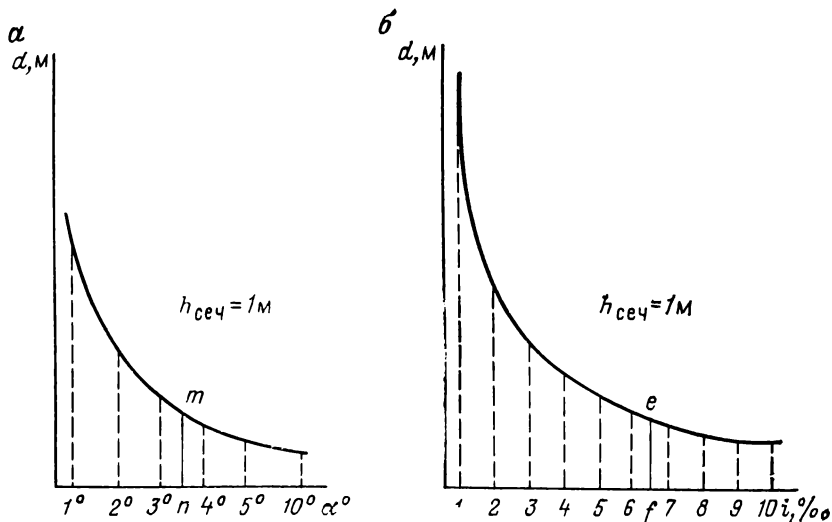


Рис. 19. Графики:  
а — заложений; б — уклонов

Следовательно, линия, соответствующая заложению  $MA$ , имеет наибольшую крутизну  $\alpha$  и наибольший уклон  $i$ .

Крутизну и уклон скатов определяют на плане с горизонталями по графику заложений и графику уклонов, называемым иногда масштабами заложений и уклонов. Для построения графика (масштаба) заложений формулу (13) записывают так:

$$d = h \operatorname{ctg} \alpha. \quad (14)$$

Примем  $h = 1$  м и последовательно вычислим, пользуясь таблицами тригонометрических функций, заложения  $d$ , придавая углу наклона значения, указанные ниже:

|                    |                |             |             |             |             |              |
|--------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $\alpha$ . . . . . | $0^{\circ}30'$ | $1^{\circ}$ | $2^{\circ}$ | $3^{\circ}$ | $5^{\circ}$ | $10^{\circ}$ |
| $d_m$ . . . . .    | 114,6          | 57,3        | 28,6        | 19,1        | 11,4        | 5,7          |

По горизонтальной прямой откладывают произвольные, но равные отрезки, подписанные заданными значениями углов наклона (рис. 19, а). На концах отрезков восставляют перпендикуляры, на которых откладывают заложения [определенные по формуле (14)] в масштабе плана.

График (масштаб) уклонов строят аналогично графику заложений, находя из формулы (12) значение заложения  $d$ :

$$d = \frac{h}{i}. \quad (15)$$

Придавая соответствующие значения  $i$ , найдем величины заложений  $d$ , приведенные ниже:

|                         |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $i, \text{‰}$ . . . . . | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| $d, \text{м}$ . . . . . | 1000 | 500 | 333 | 250 | 200 | 167 | 143 | 125 | 111 | 100 |

Откладывают на горизонтальной прямой произвольные, но равные отрезки и подписывают уклоны в тысячных, а на перпендикулярах к этой линии откладывают вычисленные заложения  $d$  в масштабе плана. Получают график уклонов (рис. 19, б).

Для определения крутизны ската линии на плане с высотой сечения  $h=1$  м берут раствор циркуля, равный отрезку  $mn$ , и находят по графику, что заложению  $mn$  соответствует угол, равный  $3^{\circ}30'$  (см. рис. 19, а).

Раствор циркуля  $ef$  соответствует уклону  $6,5\text{‰}$  на плане с сечением 1 м.

Графики заложений и уклонов строят только для определенного плана и при определенной высоте сечения рельефа.

5. Построение профиля местности по заданному направлению на плане с горизонталями.

На плане с горизонталями проведена линия  $AB$ , профиль местности по направлению которой необходимо построить. На миллиметровой бумаге проводят прямую линию  $ab$  и на ней в масштабе плана откладывают точки 1, 2, 3, 4 пересечения линии  $AB$  с горизонталями (рис. 20). Отметки точек 1, 2, 3 и т. д. равны соответствующим горизонталям, на которых они лежат или получают интерполированием. Из полученных точек 1, 2, 3, 4 восставляют перпендикуляры, на которых откладывают отметки этих точек в выбранном масштабе (обычно в 10 раз крупнее масштаба плана). Соединив концы перпендикуляров прямыми линиями, получаем ломаную линию, которая и будет профилем местности по линии  $AB$ . На профиле указывают горизонтальный и вертикальный масштабы, отметки точек и горизонтальные проложения между ними (см. рис. 20).

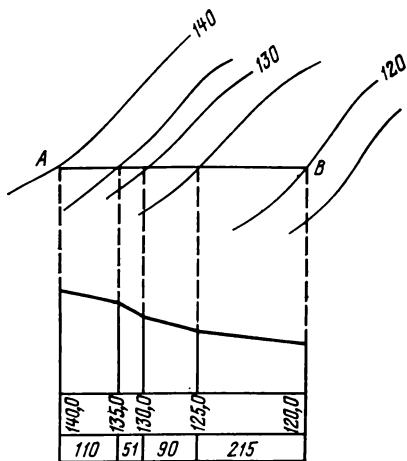


Рис. 20. Схема построения профиля по линии  $AB$

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды масштабов, применяемых в геодезии.
2. Что называют основанием масштаба?
3. Как построить линейный масштаб, если известны его основание и численный масштаб?
4. Что такое точность поперечного масштаба?
5. Как пользоваться поперечным масштабом?
6. Что называют планом, картой, профилем?
7. Дайте понятие о номенклатуре топографических карт.
8. В чем отличие контурных условных знаков от внемасштабных?

9. Приведите примеры линейных условных знаков.
10. Назовите выпуклые и вогнутые формы рельефа.
11. Какие линии называют горизонталями и как их изображают на планах?
12. Перечислите основные свойства горизонталей.
13. Как построить горизонтали на плане способом графической интерполяции?
14. Как определить высоту точки на плане, если она расположена между горизонталями?
15. По какой формуле определяют уклон линии на плане с горизонталями?
16. Определите раствор циркуля (заложение) для построения линии с уклоном 10‰ на плане с горизонталями сечением через 5 м.
17. Как пользоваться масштабом заложений?
18. Для чего применяют график уклонов и как им пользоваться?
19. Как построить продольный профиль по заданному направлению на плане с горизонталями?

## Глава 3

### ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

#### § 13. Классификация погрешностей измерений, их свойства

Все измерения, производимые геодезистами в зависимости от способа получения находимых величин, делят на непосредственные и косвенные.

Непосредственными измерениями называют такие, при которых искомые величины находят путем непосредственного сравнения их с единицей измерений. Например, укладывая мерную ленту по оси железнодорожного пути, находят длину участка трассы. Или измеряют теодолитом угол поворота трассы.

Косвенными называют такие измерения, при которых искомые величины получают в результате вычислений, как функции других, ранее измеренных величин. Так, катет прямоугольного треугольника определяют по значениям другого катета и острому углу по формуле

$$a = b \operatorname{tg} \alpha. \quad (16)$$

Если многократные измерения искомой величины выполнены одним и тем же прибором, одинаковыми приемами и при одинаковых условиях окружающей среды, их называют равноточными. Во всех других случаях измерения будут неравноточными. Результаты измерений, как бы тщательно они не выполнялись, неизбежно сопровождаются погрешностями. При повторных равноточных измерениях всегда получают различные величины. На результат измерения оказывают влияние такие условия, как сам объект и способ изме-

рения, состояние окружающей среды, качество прибора, квалификация исполнителя.

Погрешности измерений делятся на грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешности или промахи возникают в результате невыполнения правил измерения, невнимательности в работе. Такие погрешности выявляют и устраняют повторными измерениями.

Систематические погрешности повторяются по величине и знаку, подчиняясь определенному закону. Например, при измерении неверной, удлинённой лентой длина измеряемой линии всегда укорочена, а пользование укороченной лентой даёт увеличенную длину линий. Кроме неверного прибора, систематические погрешности могут возникать от температурных и других изменений окружающей среды, неточности установки прибора и других условий. Причины таких погрешностей должны быть выявлены, а сами погрешности исключены введением соответствующих поправок.

Случайные погрешности возникают от воздействия самых разнообразных причин, влияние которых учесть и предусмотреть практически невозможно. Случайные погрешности неустраняемы, но их значение может быть уменьшено правильным выбором прибора и способа измерения, многократными измерениями.

Значение случайной погрешности  $\Delta$  находят как разность между измеренным значением величины  $l$  и точным значением этой постоянной величины  $X$

$$\Delta = l - X. \quad (17)$$

Значение величины  $X$  можно подвергнуть ряду многократных равноточных измерений  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , получив  $n$  случайных погрешностей  $\Delta$ :

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= l_1 - X; \\ \Delta_2 &= l_2 - X; \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta_n &= l_n - X. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Сопоставление рядов случайных погрешностей позволяет обнаружить следующие основные свойства случайных погрешностей:

1. По абсолютной величине случайные погрешности  $\Delta$  не могут превышать некоторого известного предела  $\Delta_{\text{пред}}$ .

2. Малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще больших.

3. Равные по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности встречаются одинаково часто.

4. Среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при неограниченно большом числе измерений:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} = \frac{[\Delta]}{n} = 0, \quad (19)$$

где квадратными скобками в теории погрешностей принято обозначать знак суммы по К. Ф. Гауссу.

Из приведенного выше ряда случайных погрешностей (18) сложением почленно левых и правых частей равенств ряда образуется сумма таких погрешностей.

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) - nX. \quad (20)$$

Заменяя по Гауссу суммы квадратными скобками, получим

$$[\Delta] = [l] - nX, \quad (21)$$

откуда

$$\frac{[\Delta]}{n} = \frac{[l]}{n} - X, \quad (22)$$

где  $\frac{[l]}{n}$  — среднее арифметическое всех результатов (22) измерений.

На основании четвертого свойства случайных погрешностей (19) формула (22) примет вид

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[l]}{n} = X. \quad (23)$$

Следовательно, среднее арифметическое (арифметическая середина) из бесконечно большого числа измерений стремится к истинному значению измеряемой величины. Поскольку в практике геодезических измерений точное значение  $X$  неизвестно, арифметическая середина принимается за окончательное значение измеряемой величины.

## § 14. Характеристика точности измерений.

### Средняя квадратическая погрешность измерений

Точность какого-либо ряда измерений приближенно характеризуется средним арифметическим значением погрешности измерения:

$$\theta = \pm (|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|)/n = [|\Delta|]/n. \quad (24)$$

Полученное значение арифметической середины случайных погрешностей является недостаточным критерием точности измерения, потому что в нем сглаживаются отдельные крупные погрешности. Поэтому точность равноточных измерений предпо-

читают оценивать по средней квадратической погрешности  $m$ , вычисляемой по формуле К. Ф. Гаусса:

$$m = \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2)/n} = \sqrt{[\Delta^2]/n}. \quad (25)$$

Эта формула применима в том случае, когда известно истинное значение измеряемой величины. Обычно истинное значение величины неизвестно. Тогда многократными измерениями находят среднее арифметическое значение измеряемой величины  $L$  и вероятнейшие погрешности каждого измерения  $v$ :

$$\left. \begin{aligned} l_1 - L &= v_1 \dots v_1^2; \\ l_2 - L &= v_2 \dots v_2^2; \\ l_3 - L &= v_3 \dots v_3^2; \\ &\dots \dots \dots \\ l_n - L &= v_n \dots v_n^2 \\ \hline L &= \frac{[l]}{n} \quad v = 0 [v^2]. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Сумма всех вероятнейших погрешностей равняется 0 независимо от числа измерений. Среднюю квадратическую погрешность одного измерения по вероятнейшим погрешностям  $v$  определяют по формуле О. В. Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}. \quad (27)$$

Зная среднюю квадратическую погрешность одного измерения  $m$ , можно определить среднюю квадратическую погрешность арифметической середины  $M$  из всех измерений:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}}. \quad (28)$$

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины в  $\sqrt{n}$  раз меньше средней квадратической погрешности измерения  $m$ . Средняя квадратическая погрешность характеризует степень точности измерения.

Если рядом с вероятнейшим значением величины записывают ее среднюю квадратическую погрешность  $M$ , например  $194,75 \pm 0,06$  м, это значит, что точное значение длины линии может быть больше или меньше указанной на 0,06 м.

Предельная случайная погрешность принимается равной утроенному значению средней квадратической погрешности:

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m. \quad (29)$$

Если случайная погрешность превышает 3  $m$ , ее считают грубой, т. е. недопустимой для последующей обработки.

Точность измерения длин линий, площадей характеризуется не только абсолютным значением средней квадратической погрешности, но и ее отношением к результату измерения. Такая погрешность называется относительной. Например, если длина участка трассы, составляющая 263,76 м, измерена со средней квадратической погрешностью 0,08 м, ее относительная средняя квадратическая погрешность составит

$$\frac{0,08}{263,76} = \frac{1}{263,76 : 0,08} = \frac{1}{3297}.$$

Все геодезические измерения производят с определенной точностью, которая устанавливается действующими стандартами. Исходя из технико-экономических и качественных показателей строящегося объекта, определяют допускаемые предельные погрешности геодезических измерений при его проектировании и строительстве. Зная требуемую точность измерений, геодезисты подбирают заранее геодезические приборы, приемы и способы работы, которые бы обеспечили требуемую точность.

## § 15. Понятия о правилах и технических средствах вычислений

Все геодезические вычисления должны иметь исходные данные, которыми являются полевые материалы геодезических съемок. К обработке результатов геодезических съемок приступают только после тщательной проверки всех числовых значений, полученных в процессе измерения тех или иных величин на местности.

Обработывая материал, надо всегда знать, с какой точностью должны быть получены результаты вычислений, чтобы не работать с излишним числом знаков. Излишняя точность, а следовательно, и число знаков значительно увеличивают затраты времени на вычисление. Снижение числа знаков против требуемого не обеспечивает точность, достигнутую при геодезической съемке. Если окончательный результат вычисления получен с большим числом знаков, чем это требуется,— производят округление чисел. Округлить число до  $n$  знаков — значит сохранить в нем первые  $n$  значащих цифр. Значащие цифры числа — это все его цифры, начиная с первой слева, кроме нуля, до последней справа.

Например, число 25,684 имеет 5 значащих цифр, а число 0,028 имеет 2 значащие цифры. При округлении числа пользуются следующими правилами:

1. Если первая цифра из отбрасываемых меньше 5, последняя оставляемая цифра сохраняется без изменения.

Например, число 145,274 после округления до 5 значащих цифр будет 145,27.

2. Если первая из отбрасываемых цифр будет больше 5, последняя оставляемая цифра в числе увеличивается на еди-

ницу. Число 169,287 при округлении до четырех значащих цифр будет 169,3.

3. Если последней цифрой округляемого числа является цифра 5 и она должна быть отброшена, то предшествующую ей цифру увеличивают на единицу только тогда, когда она нечетная. Например, 156,735 и 194,265 после округления до 5 значащих цифр будут соответственно: 156,74 и 194,26.

Результаты геодезических съемок являются всегда приближенными к истинному значению. При действиях с приближенными числами необходимо руководствоваться правилами приближенных вычислений:

1. Сложение и вычитание приближенных чисел производят, сохраняя столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством десятичных знаков, плюс еще один запасной знак. Например, прежде чем сложить числа

$$\begin{array}{r} 2568,6 \\ 83,528 \\ 140,731 \\ 0,07, \end{array}$$

их округляют:

$$\begin{array}{r} 2568,6 \\ 83,53 \\ + 140,73 \\ 0,07 \\ \hline 2792,93. \end{array}$$

Полученный результат округляют до одного десятичного знака: 2792,9.

2. При умножении двух приближенных чисел в результате оставляют столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе, у которого меньше значащих цифр, чем у остальных чисел. Например,  $56,23 \times 0,118 = 6,63514 \approx 6,64$ .

3. При делении двух приближенных чисел в частном оставляют столько значащих цифр, сколько их в числе, имеющем меньшее количество значащих цифр. Например,  $538,27 : 26,3 = 20,466539 \approx 20,5$ .

4. При возведении числа в степень в результате оставляют столько значащих цифр, сколько их имеет основание степени:  $23,42^2 = 548,4964 \approx 548,5$ ;  $8,13^3 = 573,85619 \approx 574$ .

5. При извлечении квадратного корня из приближенного числа в результате оставляют столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное выражение. Например,  $\sqrt{8256} = 90,862533 \approx 90,86$ ;  $\sqrt{56,7} = 7,5299402 \approx 7,53$ .

6. При выполнении нескольких арифметических действий в промежуточных результатах надо удерживать на один знак больше, чем это требуется в конечных результатах или исходных данных.

При обработке результатов геодезических съемок пользуются таблицами, номограммами, микрокалькуляторами, механическими и электронно-вычислительными машинами.

Таблицы содержат численные значения функций, данных с определенной точностью для последовательно расположенных значений аргументов. Таблицы бывают общие и специальные. К общим относят таблицы натуральных значений тригонометрических функций, таблицы логарифмов и др. К специальным таблицам относят таблицы поправок за наклон линий, таблицы приращений координат, тахеометрические таблицы и др.

В главах IV, VIII, XII, XVII настоящего учебника рассматриваются ряд специальных таблиц и правила пользования ими. При нахождении натуральных значений тригонометрических функций и логарифмировании надо пользоваться таблицами с количеством знаков, обеспечивающим заданную точность. Значительно упрощает пользование таблицами натуральных значений тригонометрических функций перевод количества секунд в десятые доли минуты. Например:  $15'' = 0,25'$ ;  $30'' = 0,5'$ ;  $20'' = 0,33'$

Табличную разность, которая дается в таблицах на  $1'$ , надо разделить на 10 — это будет поправка за  $0,1'$  аргумента. Полученную величину надо помножить на количество десятых, которые имеет аргумент.

Если в таблицах приведены поправки на десятые доли минуты для функций  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\operatorname{tg}$ ,  $\operatorname{ctg}$ , таких вычислений делать не следует.

Номограммы представляют графическое изображение функциональных зависимостей некоторых величин. Точность номограмм сравнительно невысока, поэтому их применяют в тех случаях, когда надо иметь результат с 2—3 значащими цифрами.

Для обработки результатов геодезических съемок наиболее удобны и приемлемы портативные электронно-вычислительные машины — микрокалькуляторы «Электроника».

Наша промышленность выпускает микрокалькуляторы трех основных групп: простейшие (массовые), инженерные и программированные калькуляторы.

Источниками автономного питания микрокалькуляторов могут быть аккумуляторы и миниатюрные батарейки постоянного тока. Большинство микрокалькуляторов могут питаться от сети переменного тока через блок питания. Портативные микрокалькуляторы с автономным питанием имеют массу от 0,1 до 0,4 кг, настольные — от 1,0 до 2,5 кг.

Простейшие микрокалькуляторы предназначены в основном для выполнения четырех арифметических действий: сложения, вычитания, умножения и деления. Некоторые простейшие микрокалькуляторы позволяют выполнить извлечение квадратного корня и процентные вычисления.

Простейшие микрокалькуляторы выпускаются следующих марок: БЗ-14; БЗ-23; БЗ-24Г; БЗ-26; БЗ-33; БЗ-30; БЗ-39; БЗ-05М; СЗ-22; МК-42; МК-44 и др.

Инженерные микрокалькуляторы используют для арифметических действий, вычислений тригонометрических и обратных тригонометрических функций, натуральных и десятичных логарифмов и антилогарифмов, извлечения корней, возведения в степень, вычислений обратных величин для любых действительных чисел.

Наиболее распространены следующие марки инженерных микрокалькуляторов: СЗ-15, БЗ-18, БЗ-32, БЗ-35, БЗ-36, БЗ-37, БЗ-38, МК-41 и др.

Программируемые калькуляторы выпускают марок БЗ-21, БЗ-24, настольные — МК-46, МК-56 и др.

Ввод данных информации в микрокалькулятор осуществляют с помощью клавиш вручную. Контроль ввода исходных цифровых данных в результате вычислений осуществляется на индикаторе визуально (рис. 21). Индикаторы бывают трех типов: на жидких кристаллах, на светодиодах и вакуумные люминесцентные. Индикаторы на жидких кристаллах имеют черные цифры на сером фоне. Их изображение неяркое. Достоинством этих индикаторов является малая потребляемая мощность, благодаря чему от одного комплекта батареек или от

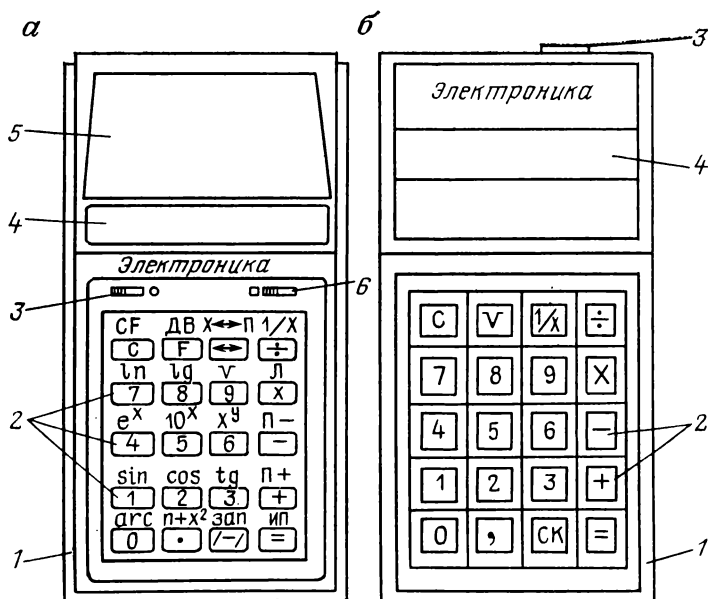


Рис. 21. Микрокалькуляторы:

а — инженерный БЗ-37; б — простейший БЗ-14М; 1 — корпус; 2 — клавиатура; 3 — выключатель питания; 4 — табло индикатора; 5 — крышка; 6 — переключатель радиан-градус

одной зарядки аккумулятора микрокалькулятор работает сотни часов.

Индикаторы на светодиодах дают яркое, красное или зеленое свечение цифр. Они потребляют несколько большую мощность. Комплект батарей обеспечивает работу микрокалькулятора на несколько часов.

Светоидные индикаторы малочувствительны к вибрациям, что является преимуществом для их эксплуатации в полевых условиях. Люминесцентные индикаторы дают зеленое свечение с большим углом обзора —  $150^\circ$ . У светоидных индикаторов этот угол не превышает  $30^\circ$ .

Выполнение вычислительных операций микрокалькулятором весьма несложно. Большинство из них осуществляют нажатием одной, иногда двух клавиш.

Правила пользования и порядок выполнения операций микрокалькуляторами несколько различны в зависимости от марки и типа их. Все они приводятся в руководстве по эксплуатации, которым снабжен каждый микрокалькулятор.

При выполнении вычислений необходимо выбрать и пользоваться теми средствами, при помощи которых можно получить искомые результаты с требуемой точностью и в кратчайшие сроки.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. На какие виды делятся погрешности измерений?
2. Как находят среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений?
3. По какой формуле определяют среднюю квадратическую погрешность измерений?
4. Приведите основные правила округления чисел.
5. Назовите основные правила приближенных вычислений.
6. Назовите наиболее распространенные марки отечественных программированных микрокалькуляторов.

## Глава 4

### **ОБОЗНАЧЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТОЧЕК НА МЕСТНОСТИ. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

#### **§ 16. Временные и постоянные геодезические точки и знаки**

При выполнении геодезических съемок все геодезические точки в зависимости от назначения и длительности закрепляются временными или постоянными точками.

Временная геодезическая точка — это деревянный колышек длиной до 30 см, вбитый на 1—2 см выше поверхности земли. Рядом с ним забивают второй колышек длиной до 50—60 см, выступающий над поверхностью земли на 30 см, называемый сторожкой. На сторожке графитным ка-

Рис. 22. Временная геодезическая точка

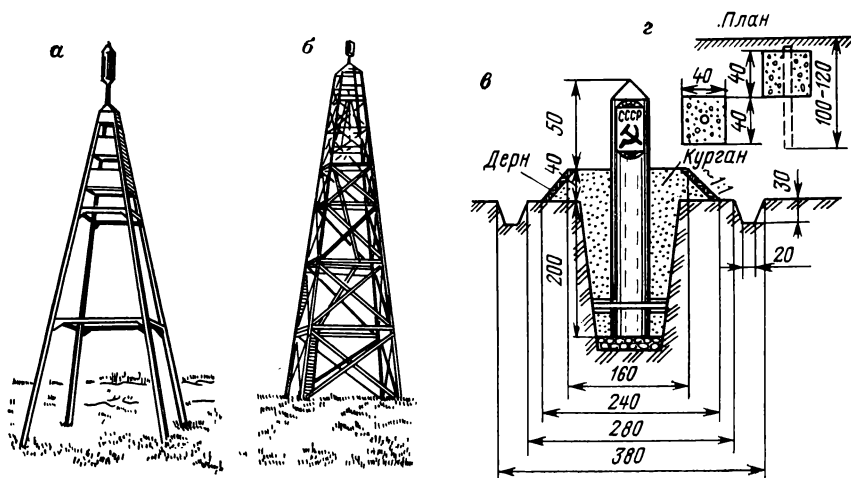
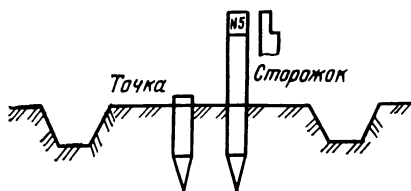


Рис. 23. Постоянные геодезические точки и знаки:

*а* — металлическая пирамида; *б* — деревянный сигнал; *в* — граничный знак железнодорожной полосы отвода; *г* — стальной стержень, заделанный в бетонный монолит

рандашом указывают номер данной точки. Чтобы облегчить отыскание закрепленной временной точки, вокруг колышков окапывается канавка в виде квадрата, треугольника или окружности (рис. 22).

В скальных грунтах и на дорожных покрытиях закрепление временных точек производят стальными костылями, штырями или отмечают масляной краской. Временные точки рассчитаны на короткий период службы, после чего они могут быть ликвидированы.

Постоянные геодезические точки устанавливают на длительный период эксплуатации. Для того чтобы постоянные точки сохраняли свое положение надолго, их обозначают деревянными столбами, железобетонными монолитами или обрезками металлических труб. Каждый из названных видов знаков устанавливают в земле несколько ниже глубины промерзания грунта и окапывают канавкой. Металлические трубы бетонируют в заглубленных основаниях. На рис. 23, *в* показан деревянный граничный столб железнодорожной полосы отвода. Такие столбы устраивают и из железобетона. При съемке

железнодорожных станций опорные точки теодолитных ходов закрепляют стальными стержнями или обрезками труб, заделанными в бетонный монолит (рис. 23, *з*).

Для обеспечения видимости удаленных друг от друга фундаментально закрепленных точек над ними возводят сигнальные знаки в виде пирамид или сигналов (рис. 23, *а*, *б*). Если нет видимости с поверхности земли на другие пункты, геодезические приборы устанавливают на специальной площадке в верхней части сигнала. Наведение геодезических приборов производят на визирную цель, устраиваемую в вершине пирамиды или сигнала. Вертикальная ось визирной цели (цилиндрической болванки) совпадает с центром знака, закрепленного в основании пирамиды или сигнала.

Пирамиды и сигналы обычно строят из дерева — круглых бревен диаметром до 15 см. Вместе с этими монтируют и металлические сигналы из профильного проката.

## § 17. Подготовка линий к измерению. Способы вешения линий

Все отрезки линии местности, подлежащие измерению, закрепляются по концам временными геодезическими точками. Чтобы обеспечить видимость положения линии на местности, измеряемой различными приборами, ее концы обозначают вешками. Геодезические вешки изготавливают из дерева (реже из алюминиевых труб) длиной 2—2,5 м и диаметром 4 см. Один конец вехи заострен и на него насажен металлический наконечник. Вешки раскрашивают через 25 см попеременно в черный и белый или в красный и белый цвета для того, чтобы они отличались от других предметов на местности. Ставят веху в непосредственной близости с обозначаемой точкой.

Если длина измеряемой линии более 100 м, ее предварительно необходимо провешить. Вешением называют установку вех в вертикальной плоскости, проходящей через конечные точки данной линии. Называют такую вертикальную плоскость **створом**.

Вешение линии производят на глаз или с помощью бинокля или теодолита. Применение теодолита обеспечивает наиболее высокую точность вешения линий. Расстояние между вешками, которые устанавливают в створе, зависит от характера местности и способов измерения линий. В практике геодезических работ наиболее применимы следующие способы вешения.

### 1. Вешение «на себя» (между двумя точками).

Если необходимо провешить линию, конечные точки которой взаимно видны, наблюдатель становится на продолжении линии *А—В* в 2—3 м от вехи *А* (рис. 24, *а*). Рабочий по сигналам наблюдателя перемещает веху *1* вправо или влево так, чтобы она находилась в створе линии *А—В*. Аналогично ставят вехи *2*, *3*, *4* и т. д. Каждую из вех ставят отвесно. Для

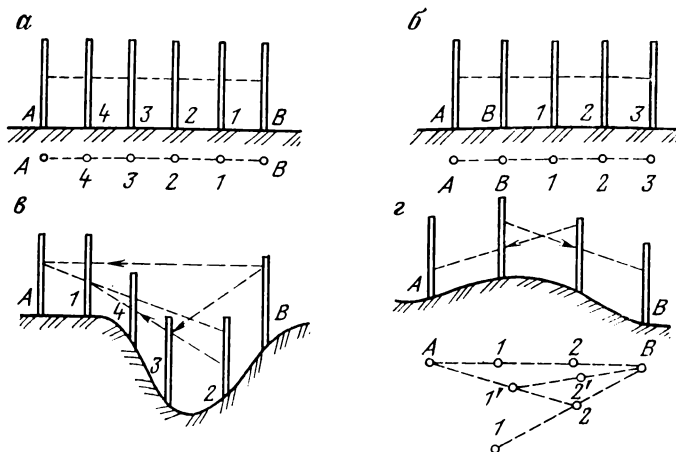


Рис. 24. Схемы вешения линий

обеспечения большой точности вешение ведется от дальней точки  $B$  к вехе  $A$  (к наблюдателю). Наблюдатель подает взмахом руки сигналы о перемещении рабочему «вправо», «влево», «ставь веху».

## 2. Вешение «от себя» (продолжение линии).

Этот способ применяют в том случае, когда линию  $A—B$  необходимо продолжить (рис. 24, б). Отойдя от вехи  $B$  за несколько десятков метров, рабочий, держа веху  $1$  на вытянутой руке, ставит ее так, чтобы она закрывала собой вехи  $A$  и  $B$ . Проверив правильность установленной вехи  $1$ , рабочий, продвигаясь вперед, аналогично ставит вехи  $2$ ,  $3$  и т. д. Данный способ менее точен, чем вешение «на себя».

## 3. Вешение через овраг.

Если линию  $A—B$  необходимо провесить через овраг, вначале надо установить вехи  $1$  и  $2$  на противоположных склонах оврага (рис. 24, в). Так, веха  $1$  установлена способом «на себя» в створе  $A—B$ , а веха  $2$  — способом «от себя» в створе вех  $A—1$ . Далее, опустившись на дно оврага, устанавливают веху  $3$  в створе  $1—2$ , а веху  $4$  — в створе  $1—3$ .

## 4. Вешение через возвышенность.

При отсутствии взаимной видимости конечных точек  $A$  и  $B$  из-за находящейся между ними возвышенности производят вешение из середины данной линии (рис. 24, г). Первый рабочий, поднимаясь по склону, ставит веху  $1$  так, чтобы была видна веха  $B$ . Второй рабочий ставит свою веху  $2$  по указанию первого рабочего в створе  $1—B$ . Затем второй рабочий дает команду первому рабочему поставить веху в точку  $1$ , в створ  $2—A$ . Такие действия рабочие выполняют поочередно, пока веха  $1$  не будет в створе  $2—A$ , а веха  $2$  не будет в створе  $1—B$ . Это будет свидетельствовать о том, что все вехи находятся в створе  $A—B$ .

## § 18. Непосредственное измерение линий на местности

Измерение линии на местности выполняют двумя способами: непосредственно вдоль измеряемой линии и косвенно, с помощью дальномера (§ 42).

Непосредственное измерение линии выполняют землемерными лентами, рулетками и мерными проволоками.

Землемерные ленты изготавливают двух видов: ЛЗ — ленты землемерные и ЛЗШ — ленты землемерные штриховые. Выполнены из стальных полос шириной 10—15 мм и толщиной 0,4—0,5 мм. Штриховые землемерные ленты изготавливают марок ЛЗ-20, ЛЗ-24, ЛЗ-50 длиной 20; 24 и 50 м. Длина ленты определяется между штрихами, нанесенными на скошенных вырезах ее концов (рис. 25, б). Цена деления ленты — 1 дм. Метровые деления обозначены выбитыми цифрами на пластин-

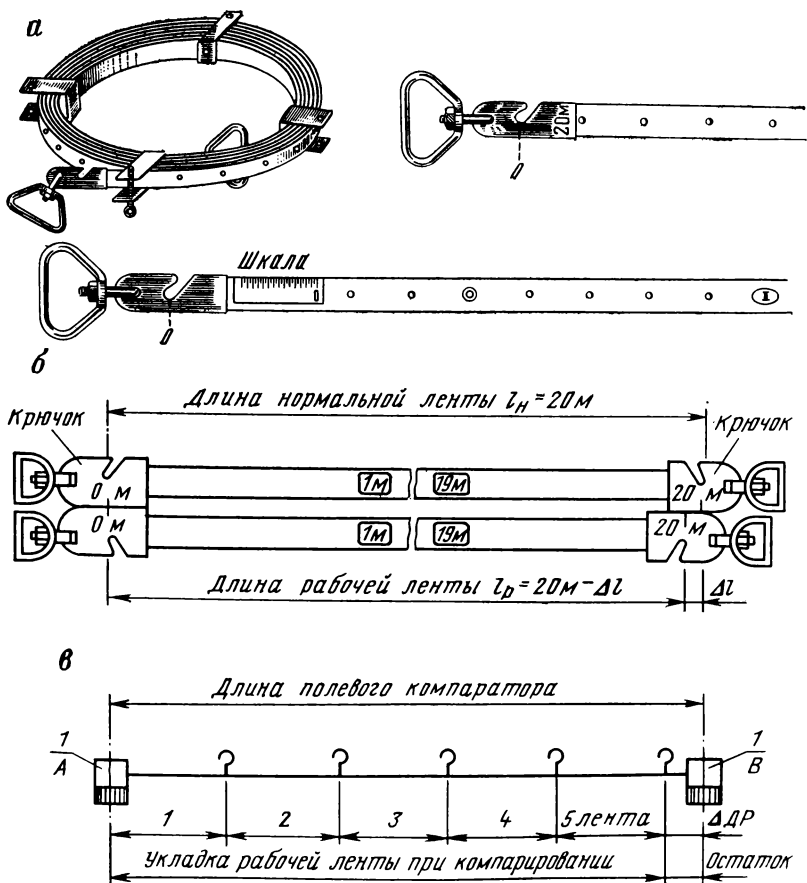


Рис. 25. Землемерные ленты и схема их компарирования

ках с двух сторон ленты. Полуметровые деления обозначены заклепками с шайбами, а дециметровые — отверстиями диаметром 2 мм. Сантиметры оцениваются на глаз. В нерабочем состоянии лента наматывается на кольцо с тремя хомутиками и закрепляется винтами (рис. 25, а). Ленты снабжаются комплектами шпилек из 6 или 11 штук (длиной 30—40 см и диаметром 5—6 мм) для фиксации концов ленты при укладке ее на местности. При измерении шпильки переносятся надетыми на проволочное кольцо, которых в комплекте два. 24-метровые ленты применяются для контрольных измерений.

Шкаловые землемерные ленты выпускают трех марок: ЛЗШ-20, ЛЗШ-24 и ЛЗШ-50, длина которых 20, 24 и 50 м.

Шкаловые землемерные ленты на концах на протяжении 1 дм имеют шкалы с миллиметровыми делениями. Рабочая длина определяется между нулевыми делениями шкал (см. рис. 25, б). Точность отсчетов по шкалам — 0,2 мм. При каждом отложении ленты положение нулевых делений шкал фиксируется специальными иглами или плоскими остриями. Землемерные шкаловые ленты применяют для измерения расстояний с повышенной точностью.

Рулетки применяют для измерения небольших расстояний.

Стальные рулетки согласно стандартам выпускают типа РЗ, длиной 2, 5, 10, 20, 30, 50, 75 и 100 м в закрытом корпусе (З) и открытом — (О). Рулетки 1 класса изготавливают из инвара, а 2 и 3 классов — из нержавеющей (Н) или с антикоррозийным покрытием (У) стали. Закрытый корпус рулетки имеет круглую форму, а открытый в виде вилки (типа РВ) длиной 20, 30 и 50 м или крестовины (РК) — длиной 50, 75 и 100 м, с грузом-лотом (РЛ). Ширина стальной полосы рулетки 10—15 мм, толщина — 0,22—0,25 мм. Цена деления стальных рулеток 1 и 10 мм, с оцифровкой через 1 дм. Рулетки типа РК и РВ могут быть снабжены динамометрами, обеспечивающими натяжение 10 кгс. Начало шкалы у рулетки может совпадать с торцом ее или быть удалено от торца.

Тесьмяные рулетки типа РТ в соответствии со стандартами изготавливают из пропитанной и окрашенной ткани с включениями в виде металлических нитей. Тесьмяные рулетки длиной 5 и 10 м (РТ-5 и РТ-10) выпускают в закрытом круглом пластмассовом корпусе с рукояткой для наматывания. Деления рулетки нанесены через 1 см, с надписями через 1 дм. Недостатком тесьмяных рулеток является ее сравнительно быстрая изнашиваемость и вытягивание при намокании. Поэтому тесьмяной рулеткой нельзя измерять длину рельсов, элементов искусственных сооружений.

Мерные инварные проволоки применяют для точных линейных измерений. Проволоки длиной 24 и 48 м при измерении подвешивают и натягивают на специальных станках.

## § 19. Понятие о компарировании мерных лент

Перед началом линейных измерений землемерные ленты компарируют, т. е. длину каждой рабочей ленты проверяют сравнением с выверенной контрольной лентой, истинная длина которой известна (рис. 25, в). Для этого контрольную и рабочую ленты укладывают рядом на ровной площадке, совмещая нулевые штрихи, и закрепляют гвоздями в скошенных вырезах лент. После этого ленты натягивают динамометром с одинаковым усилием в 10 кгс. Миллиметровой линейкой измеряют разность  $\Delta l$  между нулевыми штрихами лент. Если длина проверяемой рабочей ленты  $l_p$  (например, РЗ-20) отличается от контрольной  $l_0$  на величину большую, чем  $\pm 2$  мм, — вводят поправку за компарирование  $\Delta l_k$ :

$$\Delta l = l_p - l_0, \quad (30)$$

а длину рабочей ленты определяют по формуле

$$l_p = l_0 + \Delta l_k. \quad (31)$$

Например, при сравнении с контрольной лентой длина рабочей ленты № 175 отличалась на величину  $\Delta l_k = -8$  мм. Длина рабочей ленты

$$l_{175} = 20,00 - 0,008 = 19,992 \text{ м.}$$

Стальные рулетки компарируются аналогично землемерным лентам. Землемерные штриховые ленты ЛЗШ и контрольные штриховые ЛЗ компарируют на стационарном компараторе, длина которого измерена точными приборами — инварными жезлами. На концах базиса имеются металлические шкалы с миллиметровыми делениями. Поверяемая лента натягивается усилием в 10 кгс. При определении поправки учитывается температура, при которой происходило компарирование.

Полевой компаратор представляет собой закрепленный на ровной поверхности земли, точно измеренный базис длиной 100—120 м. Концы базиса в уровень с землей закреплены бетонными столбиками с металлическими штырями  $I$ , на торце которых нанесены насечки (см. рис. 25, в). Расстояние  $AB$  между насечками штырей, многократно измеренное контрольной лентой с учетом температуры, принимают за длину компаратора  $D_k$ .

Это расстояние измеряют поверяемой рабочей лентой, после чего находят среднее значение  $D_{ср}$ . Отклонение рабочей ленты от контрольной находят из уравнения

$$\Delta l = \frac{D_k - D_{ср}}{D_k} 20. \quad (32)$$

Длину рабочей ленты определяют по формуле

$$l_p = 20 + \Delta l_k. \quad (33)$$

Пример. Длина компаратора  $D_k = 120$  м. Результаты измерения рабочей лентой:  $D_1 = 119,96$  м;  $D_2 = 120,05$  м;  $D_3 = 120,08$  м.

Определить длину рабочей ленты.

Решение. Находят среднее значение результатов измерения рабочей лентой

$$D_{\text{ср}} = (119,96 + 120,09 + 120,08) : 3 = 120,043 \text{ м.}$$

Определяют поправку (отклонение) рабочей ленты от контрольной

$$\Delta l_k = \frac{120,00 - 120,043}{120,00} \times 20,00 = -0,007 \text{ м.}$$

Длина рабочей ленты

$$l_p = 20,00 + (-0,007) = 19,993 \approx 19,99 \text{ м.}$$

## § 20. Измерение линий штриховой лентой. Точность измерения

Перед измерением концы линии должны быть закреплены точками и обозначены вехами. Линии длиной более 100 м провешивают. На всем протяжении линию расчищают от кустарника, травы и валежника. Измерение линии выполняют два рабочих-мерщика и техник в следующем порядке.

Задний мерщик получает одну шпильку, а передний 5 или 10 шпилек (при комплекте из 6 или 11 шпилек). Ленту осторожно, не допуская петель, сматывают с кольца и растягивают вдоль измеряемой линии. Винты ввинчивают в хомутики на кольцо, которое помещают в брезентовую сумку для переноски мелких инструментов и принадлежностей. Оцифровка делений ленты должна возрастать по направлению измерения. Задний мерщик ставит свою шпильку в начальную точку измерения и зацепляет за нее косой вырез нулевого штриха ленты (рис. 26, б). Передний мерщик, держа ленту в левой руке, по указанию заднего рабочего укладывает ее в створе, встряхивает, и, натянув ее, ставит правой рукой свою первую шпильку в вырез конца ленты (рис. 26, а). После откладывания первой ленты задний мерщик вынимает свою шпильку, а передний выводит ленту из зацепления, оставляя в земле шпильку № 1. Оба рабочих, держа ленту за ручки, идут вперед. Дойдя до первой шпильки, мерщики откладывают вторую ленту аналогично откладыванию первой ленты.

При натягивании землемерной ленты передний мерщик должен так держать ее, чтобы не закрывать собой стоящую впереди веху, по которой ориентируется задний рабочий. Измерение линии продолжают до тех пор, когда все 5 или 10 шпилек будут выставлены передним рабочим.

Задний мерщик, дойдя до последней шпильки и зацепив за нее косой вырез с нулевым делением ленты, передает

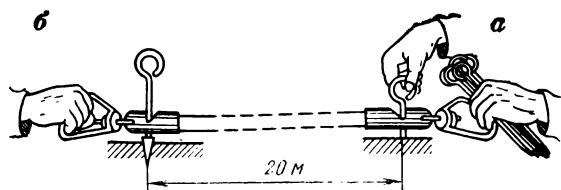


Рис. 26. Схема измерения линии землемерной лентой:

а — передний мерщик; б — задний мерщик

переднему мерщику собранные 5 или 10 шпилек (кроме одной, находящейся в земле).

Число передач записывается в журнал измерения техником, который руководит работой мерщиков и контролирует ее. В конце измеряемой линии определяют остаток 20. При измерении остатка ленту протягивают за конечную точку и отсчитывают: число целых метров — по цифрам на ленте, дециметров — по количеству отверстий и оценивая сантиметры на глаз.

Каждую линию измеряют дважды: в прямом  $D_n$  и обратном  $D_o$  направлениях.

Измеренную длину линий вычисляют по формуле при 6 шпильках в комплекте

$$D = m \cdot 100 + n \cdot 20 + q, \quad (34)$$

при 11 шпильках в комплекте

$$D = m \cdot 200 + n \cdot 20 + q, \quad (35)$$

где  $m$  — число передач шпилек;  $n$  — число шпилек у заднего рабочего (не считая последней шпильки, которая находится в земле);  $q$  — длина остатка.

Расхождение двух измерений (прямо и обратно) составляет абсолютную погрешность измерения

$$\Delta D = D_n - D_o. \quad (36)$$

Причинами ошибки при измерении линий землемерной штриховой лентой могут быть:

- неточное фиксирование концов ленты;
- уклонение ленты от створа;
- неравномерное натяжение ленты;
- искривление ленты в зависимости от характера местности;
- непостоянство температуры в процессе измерения;
- ошибка при отсчетах остатка (неполной ленты).

Результаты измерения линии по пересеченной местности (болота, кустарники, пашня, овраги и т. п.) характеризуются малой точностью. Измерения по твердому грунту и ровной местности (проезжие части дорог, их обочина, скошенные луга и т. п.) отличаются более высокой точностью.

Для оценки точности результатов измерения определяют относительную ошибку, как частное от деления абсолютной ошибки на среднюю длину измеряемой линии  $\Delta D/D_{cp}$ :

$$D_{cp} = (D_n + D_o)/2. \quad (37)$$

Относительная ошибка считается допустимой, если она не превышает:

для местности I категории (благоприятные условия измерения, ровная местность) —  $1/2000$ ;

для местности II категории (местность со средними условиями измерения) —  $1/1500$ ;

для местности III категории (с неблагоприятными условиями измерения) —  $1/1000$ .

При допустимой относительной ошибке за окончательный результат принимают среднее арифметическое двух измерений.

Пример. Определить длину линий по данным журнала измерения длин линий.

| Прямо       |              | Обратно     |              |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 3 передачи  | ( <i>m</i> ) | 3 передачи  | ( <i>m</i> ) |
| + 2 шпильки | ( <i>n</i> ) | + 2 шпильки | ( <i>n</i> ) |
| + 12,40     | ( <i>q</i> ) | + 12,58     | ( <i>q</i> ) |
| <hr/>       |              | <hr/>       |              |
| 352,40 м    |              | 352,58 м    |              |

Комплект шпилек — 6 штук. Местность — II категории.

Определяют длину измеряемой линии по формуле (34):

$$D_n = 3 \times 100 + 2 \times 20 + 12,40 = 352,40 \text{ м};$$

$$D_o = 3 \times 100 + 2 \times 20 + 12,58 = 352,58 \text{ м}.$$

Определяют абсолютную ошибку измерения (36)

$$\Delta D = 352,58 - 352,40 = 0,18 \text{ м}.$$

Средняя длина линии

$$D_{cp} = (352,40 + 352,58)/2 = 352,49 \text{ м}.$$

Относительная ошибка измерения

$$\frac{\Delta D}{D_{cp}} = \frac{1}{D_{cp} : \Delta D} = \frac{1}{352,49 : 0,18} = \frac{1}{1958}.$$

Для местности II категории  $1/1958 < 1/1500$ .

Полученная ошибка меньше допустимой.

За окончательный результат принимают  $D_{cp} = 352,49 \text{ м}$ .

Если измерение линии производят рабочей лентой, которая длиннее или короче контрольной более чем на  $\pm 2 \text{ мм}$ , вводят поправку  $\Delta l_k$  за компарирование. Длину линии при измерении неверной лентой определяют по формуле

$$D = D' \pm [\Delta l_k n], \quad (38)$$

где  $D$  — исправленная длина линии;  $D'$  — длина линии, измеренная неверной лентой;  $\pm \Delta l_k$  — поправка за компарирование;  $n$  — количество отложенных лент.

Поправка берется со знаком «+», если рабочая лента длиннее контрольной, и со знаком «−» — если она короче.

Пример. Определить исправленную длину линии, найденную в предыдущем примере, если она измерена рабочей лентой, которая короче контрольной на 7 мм. Результат измерения  $D' = 352,49 \text{ м}$ .

Определяют исправленную длину линии:

$$\begin{aligned} D &= 352,49 - 0,007 \times 352/20 = 352,49 - 0,007 \times 17,6 = \\ &= 352,49 - 0,12 = 352,37 \text{ м.} \end{aligned}$$

При измерении линии с высокой точностью, кроме поправки за компарирование, учитывают поправку за температуру  $\Delta D_t$ .

Если измерение производят при температуре  $t$ , а компарирование ленты произведено при температуре  $t_0$ , в измеренную длину отрезка  $D'$  вводят поправку за температуру  $\Delta D_t$ , определяемую по формуле

$$\Delta D_t = D' \alpha'_t (t - t_0), \quad (39)$$

где  $\alpha$  — коэффициент расширения стали ( $12,5 \times 10^{-6}$ ).

Температуру ленты измеряют специальным термометром.

**Пример.** Измеренная длина линии с учетом поправки за компарирование  $D = 352,37$  м. Определить ее длину с учетом поправки за температуру, если температура ленты при измерении  $t = 25^\circ$ , а температура ленты при компарировании  $t_0 = 16^\circ$ .

Определяют поправку за температуру измеренной линии

$$\begin{aligned} \Delta D_t &= 352,37 \times 12,5 \times 10^{-6} (25 - 16) = 352,37 \times 12,5 \times 10^{-6} \times 9 = \\ &= + 0,0396 \approx + 0,04 \text{ м.} \end{aligned}$$

Исправленное значение длины линии

$$D = 352,37 + 0,04 = 352,41 \text{ м.}$$

## § 21. Измерение наклонных линий. Вычисление горизонтальных проложений. Эклиметры

При измерении линий на неровной местности для составления планов необходимо знать не наклонные отрезки линий, а их проекции на горизонтальную плоскость — горизонтальные проложения. Для этого на местности измеряют длину наклонной линии  $D$  и угол наклона  $\alpha$  (рис. 27, а). Горизонтальное проложение вычисляют по формуле

$$d = D \cos \alpha. \quad (40)$$

Разность между  $D$  и  $d$  называют поправкой за наклон

$$\Delta D_\alpha = D - d. \quad (41)$$

Подставив значение  $d$  в (41), получим

$$\Delta D_\alpha = D (1 - \cos \alpha) = 2D \sin^2 (\alpha/2). \quad (42)$$

Зная поправку за наклон, определяют горизонтальное проложение

$$d = D - \Delta D_\alpha. \quad (43)$$

По формуле (42) составлены таблицы поправок за наклон линии к горизонту (прил. 1). При углах наклона, меньших  $2^\circ$ , поправки за наклон местности малы и их не учитывают.

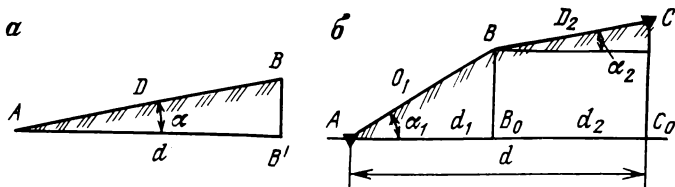


Рис. 27. Горизонтальное проложение

Если измеряемая линия имеет разные углы наклона на своем протяжении, поправки за наклон определяют отдельно для каждого отрезка. После этого находят общее горизонтальное проложение, суммируя горизонтальные проложения отдельных наклонных линий.

**Пример.** При измерении на местности линии  $ABC$  (рис. 27, б) получено:

$$\begin{aligned} D_1 &= 167,54 \text{ м}; & \alpha_1 &= 4^\circ; \\ D_2 &= 79,20 \text{ м}; & \alpha_2 &= 5^\circ 40'. \end{aligned}$$

Определить горизонтальное проложение  $d$  линии  $ABC$ .

По таблице поправок за наклон (прил. 1) находим поправки  $\Delta D_1$  и  $\Delta D_2$ :

| $\alpha_1 = 4^\circ$ |                          | $\alpha_2 = 5^\circ 40'$ |                          |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $D_1, \text{ м}$     | $\Delta D_1, \text{ см}$ | $D_2, \text{ м}$         | $\Delta D_2, \text{ см}$ |
| 100 . . . . .        | 24                       | 70 . . . . .             | 34,2                     |
| 60 . . . . .         | 14,6                     | 9 . . . . .              | 4,4                      |
| 7 . . . . .          | 1,7                      | 0,20 . . . . .           | 0,09                     |
| 0,54 . . . . .       | 0,1                      |                          |                          |
| <hr/>                |                          | <hr/>                    |                          |
| 167,54 . . . . .     | 40,4                     | 79,20 . . . . .          | 38,69                    |

Поправка:

$$\begin{aligned} \Delta D_1 &= 40,4 \text{ см} \approx 0,40 \text{ м}; \\ \Delta D_2 &= 38,7 \text{ см} \approx 0,39 \text{ м}. \end{aligned}$$

Горизонтальное проложение линии  $d_1$  и  $d_2$ :

$$\begin{aligned} d_1 &= 167,54 - 0,40 = 167,14 \text{ м}; \\ d_2 &= 79,20 - 0,39 = 78,81 \text{ м}. \end{aligned}$$

Общее горизонтальное проложение  $d$  линии  $ABC$ :  $d = d_1 + d_2$ ;

$$d = 167,14 + 78,81 = 245,95 \text{ м}.$$

Углы наклона линий к горизонту определяют теодолитом (см. § 38) или эклиметром. Наибольшее распространение имеет эклиметр с маятниковым диском (рис. 28, а, б). Он состоит из пустотелой четырехгранной трубки 1 с двумя диоптрами: глазным 3 и предметным 2. Глазной диоптр имеет узкую горизонтальную прорезь, а предметный — горизонтальную нить. Справа к боковой поверхности трубки прикреплен кожух 4, в котором при нажатии стопорной кнопки 5 свободно вращается диск. На ободе диска нанесены градусные деления со



на то, что эклиметр верен. Если окажется, что углы наклона отличаются на какую-либо величину  $\pm\Delta\alpha$ , значит, нуль-пункт нанесен с ошибкой.

При установлении стабильности ошибки  $\Delta\alpha$  углы наклона вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2},$$

где  $\alpha$  — средний угол наклона;  $\alpha_1$  — угол наклона, определенный в прямом направлении;  $\alpha_2$  — угол наклона, определенный в обратном направлении.

Наибольшую точность при измерении угла наклона получают, измеряя его по вертикальному кругу теодолита (см. § 38).

### *Вопросы для самопроверки*

1. Приведите виды постоянных геодезических точек планового обоснования.
2. Какие Вы знаете способы вешения и в каких случаях они производятся?
3. Как выполнить вешение через небольшую возвышенность?
4. Дайте краткую характеристику основных марок землемерных лент.
5. Назовите виды и марки рулеток, применяемых для измерения на местности.
6. Что такое компарирование землемерных лент?
7. Как прокомпарировать землемерную ленту на полевом компараторе?
8. Расскажите порядок измерения линии на местности землемерной лентой.
9. Как определяют абсолютную и относительную погрешности измерений?
10. Приведите величины предельно допустимых ошибок измерений в зависимости от категории местности.
11. По какой формуле вводят поправку за компарирование при измерении неверной землемерной лентой?
12. Как учитывают поправку за температуру при измерении землемерной лентой?
13. Как определить горизонтальное проложение линий на местности, зная угол наклона и длину наклонной линии?
14. Как пользоваться таблицей поправок за наклон линий местности?
15. Расскажите об устройстве эклимметра.
16. Как измерить угол наклона эклиметром?

## Глава 5

## **ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ**

### **§ 22. Понятие об ориентировании линий. Географические и магнитные меридианы**

При выполнении геодезических работ на местности или при работе с топографической картой возникает необходимость в ориентировании линий. Ориентировать линию — значит опре-

делить ее положение на местности или на чертеже относительно направления, принятого за начальное. При ориентировании линий измеряют угол между начальным направлением и линией. При геодезических съемках за начальное (исходное) принимают направление меридиана: географического, магнитного или осевого меридиана зоны. Направление истинного или географического меридиана (см. § 4), неизменное в каждой точке земной поверхности, определяют из астрономических наблюдений. На планах направление истинного меридиана условно принимают параллельно боковым рамкам чертежа, так, чтобы север был вверху, юг — внизу, восток — справа, а запад — слева.

Направление магнитного меридиана определяют при помощи магнитной стрелки, которая под действием земного магнетизма направлена вдоль магнитного меридиана.

### § 23. Азимуты и дирекционные углы

Азимутом линии называют угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления меридиана до ориентированной линии. Величина азимута изменяется в пределах от 0 до  $360^\circ$  (рис. 29, а). Азимут, отсчитываемый от полученной \* линии истинного или географического меридиана, называется географическим. Если азимут отсчитывают от магнитного меридиана, его называют магнитным.

Различают азимуты прямые и обратные. Азимут, измеренный в начале линии, называют прямым, а в конце линии — обратным (рис. 29, б). Угол  $A$  — прямой магнитный азимут линии  $MK$  в точке  $M$ . Угол  $A_1$  — обратный истинный азимут ли-

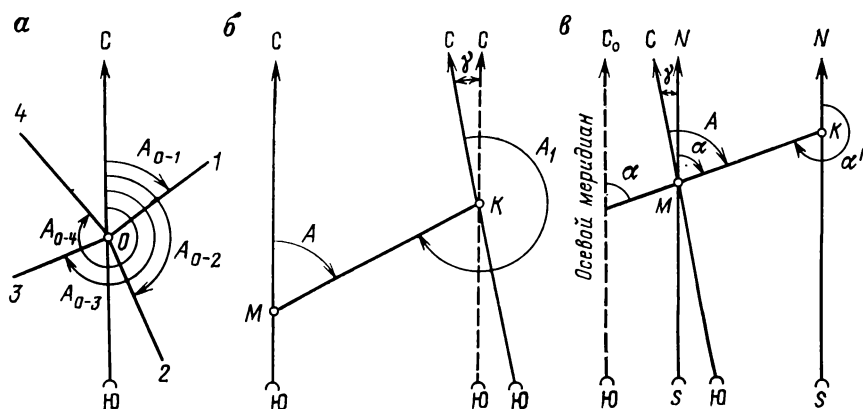


Рис. 29. Азимуты линий и дирекционные углы

\* Линия, касательная к дуге меридиана в данной точке, называется полуденной линией этой точки.

нии  $МК$  в точке  $K$ , при этом принято направление линии  $МК$  от точки  $M$  к точке  $K$ . Как видно из рис. 29, б, полуденные линии истинных меридианов в точках  $M$  и  $K$  между собой не параллельны, а составляют угол  $\gamma$ , называемый углом сближения меридианов, или сближением меридианов.

Зависимость между прямым и обратным азимутами с учетом сближения меридианов выражается формулой

$$A_1 = A \pm 180^\circ + \gamma. \quad (44)$$

Если меридианы проведены через конечные точки прямой, длина которой менее 1 км, их можно считать параллельными и сближением меридианов можно пренебречь:

$$A_1 = A \pm 180^\circ. \quad (45)$$

Знак минус применяют при  $A > 180^\circ$ .

Для ориентирования линий относительно осевого меридиана в пределах каждой зоны применяют дирекционные углы. За исходное направление принимают осевой меридиан шестиградусной или трехградусной зоны или параллельное ему положительное направление оси абсцисс  $X$  (см. § 4).

Дирекционным углом называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны или линии, ему параллельной, до ориентируемой линии (рис. 29, в). Градусная величина дирекционного угла изменяется от 0 до  $360^\circ$ . На рис. 29, в через точку  $M$  проходят истинный меридиан СЮ и линия  $NS$ , параллельная осевому меридиану. Угол  $\gamma$  — сближение меридианов. Угол  $\alpha$  — дирекционный угол, а угол  $A$  — географический азимут. Зависимость между ними выражается так:

$$\alpha = A - \gamma; \quad A = \alpha + \gamma. \quad (46)$$

Дирекционный угол  $\alpha$  для линии направления  $МК$  будет прямым, а дирекционный угол  $\alpha'$  противоположного направления  $КМ$  — обратным, так как направление  $NS$  параллельно осевому меридиану:

$$\alpha' = \alpha \pm 180^\circ. \quad (47)$$

Следовательно, обратный дирекционный угол равен прямому плюс  $180^\circ$  или прямой и обратный дирекционные углы отличаются один от другого всегда на  $180^\circ$ . Из рис. 29, в видно, что дирекционный угол одной и той же линии в любой ее точке остается постоянным.

## § 24. Румбы линий. Зависимость между дирекционными углами и румбами

Румбом линии называется горизонтальный угол между данной линией и ближайшим (северным или южным) направлением меридиана. Градусная величина румба изменяется от 0

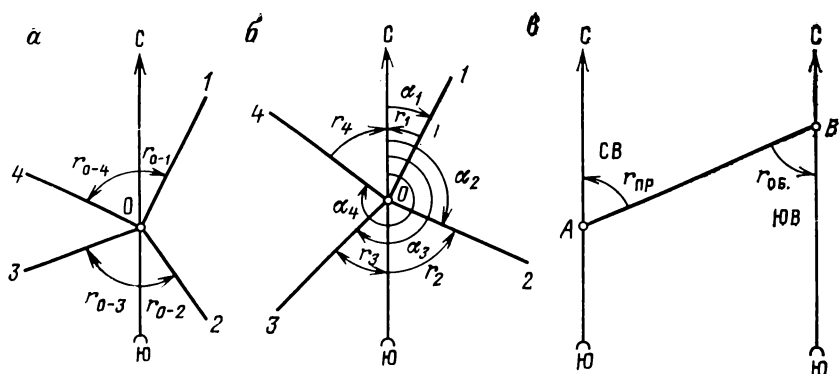


Рис. 30. Румбы линий

до  $90^\circ$ . Значения румба сопровождаются его названием, зависящим от четверти, в которой расположена ориентируемая линия. На рис. 30, а изображены румбы четырех линий:  $r_{0-1} = \text{СВ} : 25^\circ$ ;  $r_{0-2} = \text{ЮВ} : 37^\circ$ ;  $r_{0-3} = \text{ЮЗ} : 71^\circ$ ;  $r_{0-4} = \text{СЗ} : 63^\circ$ . Читают эти румбы так: румб линии  $0-1$  Северо-Восток  $25^\circ$ ; румб линии  $0-2$  Юго-Восток  $37^\circ$ ; румб линии  $0-3$  Юго-Запад  $71^\circ$  и румб линии  $0-4$  Северо-Запад  $63^\circ$ . Румбы называют географическими, если они ориентированы по географическому меридиану, и магнитными — если ориентированы по магнитному. Если румб ориентирован от осевого меридиана или линии, параллельной осевому меридиану, его называют осевым или просто румбом. Румбы, измеренные в начале линии, называют прямыми, а румбы, измеренные в конце линии, — обратными (рис. 30, в), прямые и обратные румбы равны по градусной величине и противоположны по названию. Например: прямой румб линии  $AB-\text{СВ} : 32^\circ$ , а обратный румб этой же линии —  $\text{ЮЗ} : 32^\circ$ .

Между румбами  $r$  и дирекционными углами  $\alpha$  линий, расположенными в разных четвертях, существует зависимость, которая выражается следующими формулами (рис. 30, б):

$$\left. \begin{array}{lll} \text{I четверть СВ} & \alpha_1 = r_1 & \text{или } r_1 = \alpha_1; \\ \text{II четверть ЮВ} & \alpha_2 = 180^\circ - r_2 & \text{или } r_2 = 180^\circ - \alpha_2; \\ \text{III четверть ЮЗ} & \alpha_3 = 180^\circ + r_3 & \text{или } r_3 = \alpha_3 - 180^\circ; \\ \text{IV четверть СЗ} & \alpha_4 = 360^\circ - r_4 & \text{или } r_4 = 360^\circ - \alpha_4. \end{array} \right\} \quad (48)$$

Зная такую зависимость, можно переводить дирекционные углы в румбы и наоборот.

1. Дирекционный угол  $\alpha = 76^\circ 15'$ . Румб этой линии равен СВ:  $76^\circ 15'$  ( $r = \alpha$ ).
2. Дирекционный угол  $\alpha = 163^\circ 24'$ . Румб этой линии равен ЮВ:  $16^\circ 36'$  ( $r = 180^\circ - \alpha$ ).

3. Дирекционный угол  $\alpha = 252^\circ 11'$ . Румб этой линии определяют по формуле  $r = \alpha - 180^\circ = 252^\circ 11' - 180^\circ = \text{ЮЗ} : 72^\circ 11'$ .

4. Румб линии  $r = \text{СЗ} : 22^\circ 53'$ . Дирекционный угол равен  $\alpha = 360^\circ - r = 360^\circ - 22^\circ 53' = 337^\circ 07'$ .

## § 25. Зависимость между внутренними и дирекционными углами и румбами

Если известны дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$  линии 1—2 и внутренний (правый по ходу) угол  $\beta_2$ , можно вычислить дирекционный угол  $\alpha_{2-3}$  линии 2—3.

Из рис. 31, а видно, что

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2, \quad (49)$$

аналогично

$$\alpha_3 = \alpha_2 + 180^\circ - \beta_3 \quad (50)$$

или

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n. \quad (51)$$

Дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс  $180^\circ$  и минус внутренний угол, правый по ходу. Если  $\alpha_{n-1} + 180^\circ$  окажется меньше угла  $\beta_n$ , к этой сумме прибавляют  $360^\circ$ .

Зная дирекционные углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  двух прямых 1—2 и 2—3, внутренний угол  $\beta_2$  определяют из формулы (49)

$$\beta_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \alpha_2 \quad (52)$$

или

$$\beta_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \alpha_n. \quad (53)$$

Внутренний угол, правый по ходу, между двумя прямыми равен дирекционному углу предыдущей линии плюс  $180^\circ$  и минус дирекционный угол последующей линии. Если  $\alpha_{n-1} + 180^\circ$  окажется меньше  $\alpha_n$ , к этой сумме прибавляют  $360^\circ$ . Формулы (51) и (53) имеют практическое значение при обработке полевых материалов геодезических съемок.

Величину внутреннего угла  $\beta_2$  правого по ходу, по румбам  $r_1$  и  $r_2$  сторон, его образующих, определяют в зависимости от названия румбов (рис. 31, б) по следующим формулам.

Если в названии румбов одинаковы вторые буквы: СВ и ЮВ; СЗ и ЮЗ, то

$$\beta_2 = r_1 + r_2. \quad (54)$$

Если в названии румбов одинаковы первые буквы: СВ и СЗ; ЮВ и ЮЗ, то

$$\beta_2 = 180^\circ - (r_1 + r_2). \quad (55)$$

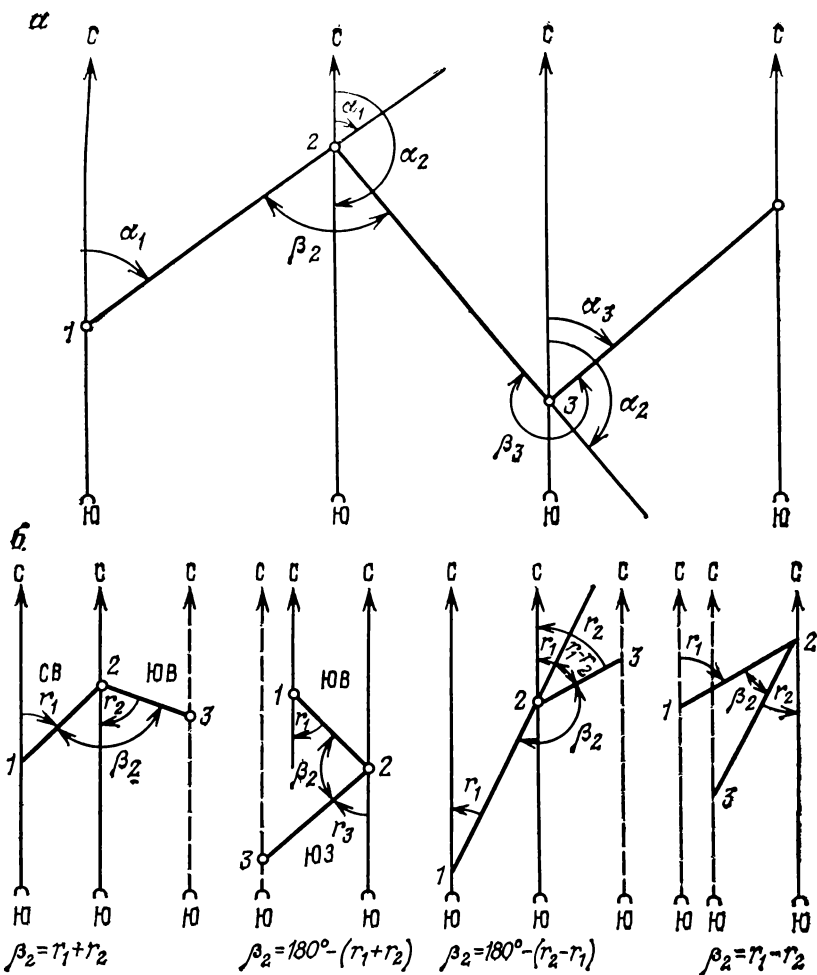


Рис. 31. Зависимость между внутренними и дирекционными углами и румбами

Если в названии румбов одинаковы обе буквы: СВ и СВ; ЮВ и ЮВ; СЗ и СЗ; ЮЗ и ЮЗ, то

$$\beta_2 = 180^\circ - (r_2 - r_1). \quad (56)$$

Если в названии румбов обе буквы разные: СЗ и ЮВ; СВ и ЮЗ, то

$$\beta_2 = r_1 - r_2. \quad (57)$$

## § 26. Магнитные азимуты и румбы

Определение положения истинного или географического меридиана на местности требует специальных приемов и методов измерений и значительного времени. Практически при геодезических съемках ориентирование линий производят по магнитному меридиану. Направление магнитного меридиана определяют с помощью магнитной стрелки. Свободно подвешенная магнитная стрелка под действием земного магнетизма устанавливается в направлении магнитного меридиана, соединяющего магнитные полюсы земли и проходящего через данную точку. При уравнивании магнитная стрелка, насаженная на острие, одним (темным) концом показывает всегда на север, другим (светлым) — на юг. Это свойство магнитной стрелки используют для ориентирования линий.

Азимуты и румбы, отсчитанные от направления магнитного меридиана, называют магнитными. Магнитным азимутом линии называют угол (отсчитываемый по ходу часовой стрелки) между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии. Величина магнитного азимута изменяется от 0 до  $360^\circ$ .

Магнитным румбом называют угол между направлением линии и ближайшим направлением магнитного меридиана (северным или южным). Магнитный румб изменяется от 0 до  $90^\circ$ .

Магнитные азимуты и румбы, как и истинные, могут быть прямыми и обратными. Зависимость между магнитными азимутами и магнитными румбами такая же, как и между дирекционными углами и румбами. Все магнитные меридианы как в северном, так и в южном полушариях сходятся каждые в своих точках — магнитных полюсах Земли. Магнитные

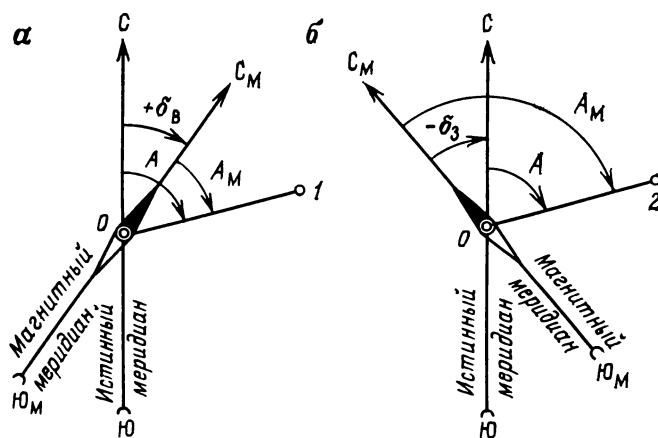


Рис. 32. Склонение магнитной стрелки:  
а — восточное; б — западное

полюсы не совпадают с географическими полюсами, поэтому направление магнитного меридиана, как правило, не совпадает с направлением истинного меридиана, проходящего через данную точку.

Угол отклонения оси магнитной стрелки от направления истинного меридиана называют углом склонения и обозначают буквой  $\delta$ . Склонение называют восточным, если северный конец отклоняется к востоку, и западным — если он отклоняется к западу (рис. 32). Восточное склонение обозначают знаком «+», а западное — знаком «—».

Если известны склонение магнитной стрелки и магнитный азимут линии, можно определить истинный азимут этой линии

$$A = A_m + \delta. \quad (58)$$

При восточном склонении истинный азимут равен магнитному плюс величина восточного склонения

$$A = A_m - \delta. \quad (59)$$

При западном склонении азимут истинный равен азимуту магнитному минус величина западного склонения. Величину магнитного склонения можно определить опытным путем или найти по топографической карте, специальной карте склонений или получить для данного района на ближайшей метеорологической станции. Склонение магнитной стрелки различно для разных точек земной поверхности. В связи с тем, что положение магнитных полюсов Земли не остается постоянным, склонение магнитного меридиана в одной и той же точке земной поверхности также непостоянно. Различают следующие виды изменения склонений: вековое, годовое и суточное. Величина изменения склонения магнитной стрелки для точек, лежащих в средних широтах, составляет до 6—8' в год. Период таких систематических медленных изменений примерно за пять столетий достигает до 22,5°. Суточные изменения склонения магнитной стрелки находятся в пределах 15'.

Случайные изменения склонений магнитной стрелки (до 2°) возникают во время гроз, полярных сияний и других явлений, связанных с изменением интенсивности солнечного излучения. В районах больших залежей магнитной руды (например, Курская магнитная аномалия) возникают магнитные аномалии, где ориентирование по магнитному меридиану невозможно.

Магнитная стрелка, свободно подвешенная в центре тяжести, отклоняется от горизонтального положения на некоторый угол, который называется наклонением. Это наклонение изменяется при перемещении магнитной стрелки от полюсов к экватору. Для устранения наклонения магнитную стрелку уравнивают перемещением муфточки вдоль ее южного конца.

## § 27. Буссоль, гониометр, их устройство и применение

Для ориентирования линии на местности по магнитному меридиану применяют буссоли. С помощью буссоли можно измерить магнитные азимуты и румбы и определить направление магнитного меридиана. Некоторые буссоли применяют как часть таких геодезических приборов, как теодолит, гониометр, а другие используют как самостоятельные приборы для простейших съемок. К ним относятся: ручные, которыми работают, держа буссоль в руке, штативные, устанавливаемые на штативе, и настольные (накладные), которые накладывают на планшет или план для их ориентирования по магнитному меридиану.

Буссоль (рис. 33, а) состоит из круглой коробки 1, закрытой сверху стеклом, к которой прикреплено кольцо 2 с градусными делениями, подписанными через  $10^\circ$ . Магнитная стрелка свободно вращается на острей шпиль, укрепленного в центре коробки. Для предохранения острей шпиль от затупления магнитная стрелка с помощью арретирного устройства, состоящего из рычажка 4 и винта 3, прижимается к стеклу коробки. Кольца буссоли имеют азимутальную оцифровку, если деления подписаны от 0 до  $360^\circ$  против хода часовой стрелки, и румбическую оцифровку, при которой деления подписаны от 0 до  $90^\circ$  в каждой четверти.

Для ориентирования линии на местности буссоль центрируют в точке (начало линии), нулевой диаметр буссоли визи-

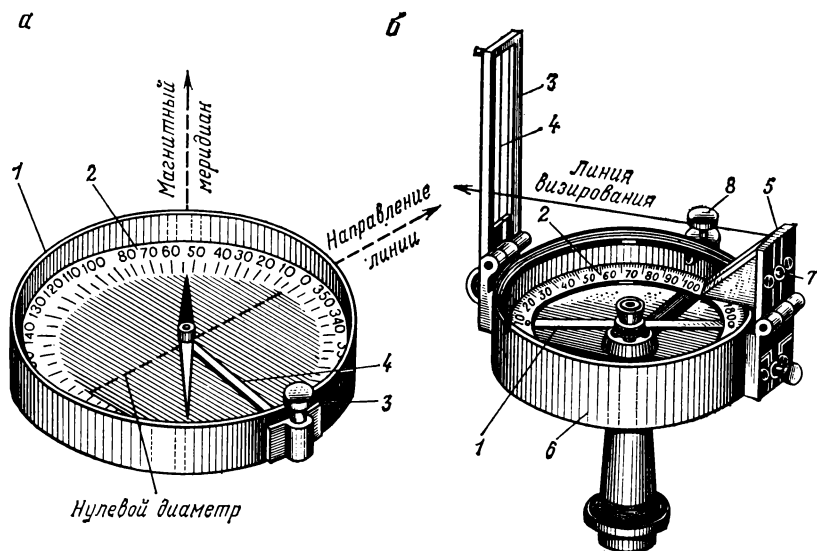


Рис. 33. Буссоли:

а — гониометра; б — ручная типа БШ

руют по направлению линии. Величину азимута (например,  $52^\circ$ ) отсчитывают на азимутальном кольце по северному (темному) концу магнитной стрелки (см. рис. 33, а). Если кольцо буссоли румбическое, величину румба отсчитывают на кольце по ближайшему (северному или южному) концу магнитной стрелки.

Ручная призенная буссоль типа БШ (рис. 33, б) состоит из коробки 6, в центре которой вращается магнитная стрелка 1 с прикрепленным к ней легким алюминиевым кольцом 2 с градусными делениями. Нулевой диаметр кольца  $0-180^\circ$  совпадает с осью магнитной стрелки. К наружной поверхности коробки шарнирно прикреплены диоптры: предметный 3 и глазной 5. В середине предметного диоптра укреплена тонкая нить 4. Глазной диоптр имеет узкую прорезь 7 и стеклянную призму, позволяющую отсчитывать деления на кольце буссоли. Магнитная стрелка буссоли снабжена винтом арретира 8. Находясь в начале линии и удерживая буссоль в руке, визируют глазной и предметный диоптры по направлению линии. Азимут ориентируемой линии отсчитывают на кольце буссоли по нити предметного диоптра. Если буссоль типа БШ имеет втулку, ее можно устанавливать на легком штативе или на колу.

Перед началом работы буссоль должна быть поверена. Проверка заключается в определении следующих условий, которым должна отвечать исправленная буссоль.

1. Стрелка буссоли должна быть уравновешена. Уравновешивание стрелки буссоли производят после приведения ее в горизонтальное положение передвижением муфточки от центра к южному концу стрелки.

2. Магнитная стрелка должна быть достаточно намагничена и иметь свободное вращение на острие шпиля.

Для соблюдения этого условия проверяют отточенность острия шпиля и шлифовку агата в оправе, которым стрелка опирается на острие. Если магнитная стрелка отклонилась поднесенным к ней стальным предметом и приняла прежнее положение, условие выполнено. В противном случае буссоль ремонтируют в мастерских.

Плохо намагниченная стрелка колеблется на острие довольно долго, тогда как хорошо намагниченная стрелка «успокаивается» быстро. Недостаточно намагниченную стрелку, вынув из коробки, подмагничивают. Это делается двумя магнитами, которыми несколько раз проводят по стрелке от центра к концам разными полюсами.

3. Геометрическая ось стрелки не должна иметь эксцентриситета. Отсчеты по двум концам магнитной стрелки (северным и южным) не должны отличаться между собой более чем на  $180^\circ$  по азимутальному кольцу и должны быть одинаковы по румбическому кольцу буссоли.

Если отсчет по северному концу буссоли равен  $62^\circ$ , а по южному  $244^\circ$ , эксцентриситет равен

$$C = \frac{244^\circ - 62^\circ - 180^\circ}{2} = \frac{2^\circ}{2} = 1^\circ.$$

При наличии эксцентриситета за окончательный отсчет принимают среднее арифметическое значение по двум концам стрелки.

У призматической буссоли БШ эксцентриситет определяют измерением прямого и обратного азимутов одной и той же линии, которые должны отличаться в исправной буссоли на  $180^\circ$ . Если буссоль имеет эксцентриситет, ее ремонтируют в мастерской.

### Гониометр

Гониометр — это простейший геодезический прибор, который применяют для измерения и разбивки горизонтальных углов, ориентирования линий по магнитному меридиану. Применяют гониометр при геодезических съемках, не требующих высокой точности. Гониометр ГР-2 (рис. 34, а) состоит из двух полых цилиндров. Нижний цилиндр 1 имеет лимб 7, представляющий кольцо, градуированное от 0 до  $360^\circ$ . Градусные деления подписаны через  $10^\circ$  по ходу часовой стрелки. Торец нижнего цилиндра закрыт основанием со втулкой 11, в которую вставляется конический вкладыш 10. При помощи конического вкладыша гониометр ставится на штатив или кол. Вкладыш крепится во втулке с помощью закрепительного винта 9. В нижнем цилиндре для визирования на предметы имеется одна пара диоптров (предметный 8 и глазной). Через узкую прорезь глазного диоптра и нить предметного диоптра проходит коллимационная плоскость, совпадающая с делениями лимба 0— $180^\circ$ . На верхнем цилиндре 2 находится буссоль 3 с коль-

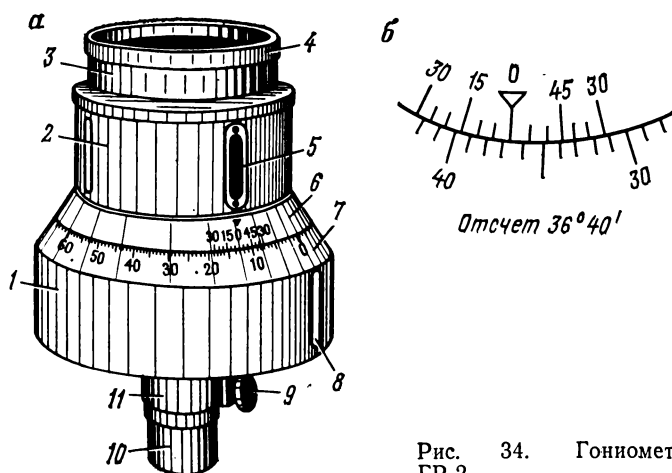


Рис. 34. Гониометр ГР-2

цом арретира 4 для закрепления магнитной стрелки в нерабочем положении. Коническая поверхность верхнего цилиндра служит алидадой 6 с двумя верньерами, нулевые деления которых диаметрально противоположны. Верхний цилиндр имеет две пары диоптров 5, коллимационные плоскости которых пересекаются под углом  $90^\circ$ . Это устройство позволяет использовать гониометр для разбивки углов  $90^\circ$  на местности. Нулевые штрихи верньеров совпадают с коллимационной плоскостью одной пары диоптров верхнего цилиндра и с делениями буссоли  $0-180^\circ$ . При измерении углов отсчеты на лимбе производят по нулевым штрихам верньеров. Чаще бывает так, что нулевой штрих верньера устанавливается в промежутке между штрихами лимба. Для точного отсчета неполных делений лимба применяют верньеры, которые представляют шкалу с делениями (рис. 34, б). Дугу верньера, равную  $n-1$  делений лимба, разбивают на  $n$  делений величиной  $v$ . Градусную величину одного деления на лимбе называют ценой деления лимба  $l$ . Разность  $t$  между ценой деления лимба  $l$  и величиной деления верньера  $v$  называют точностью верньера:

$$t = l - v, \quad (60)$$

из равенства дуг верньера и лимба

$$vn = l(n-1) \quad (61)$$

находят величину одного деления верньера

$$v = l(n-1)/n, \quad (62)$$

подставив значение  $v$  в равенство (60), получают

$$t = l - l(n-1)/n = (ln - ln + l)/n = l/n. \quad (63)$$

Точность верньера равна цене деления лимба, деленной на число делений на верньере,

$$t = l/n. \quad (64)$$

Цена деления лимба гониометра ГР-2 равна  $1^\circ$ , а верньер разбит на 12 делений. Точность верньера гониометра равна

$$t = 1^\circ/12 = 60'/12 = 5'.$$

Отсчет на лимбе производят в такой последовательности: число целых делений на лимбе берут по нулевому штриху верньера  $36^\circ$ . Число минут отсчитывают по совпадающему штриху верньера со штрихом лимба. Определив порядковый номер совпадающего штриха, умножают его на точность верньера:  $8 \cdot 5' = 40'$  (см. рис. 34). Полученный результат прибавляют к отсчету по нулевому штриху:  $36^\circ + 40' = 36^\circ 40'$ . Практически это умножение не производят, потому что подписи штрихов на верньере есть результат такого умножения.

Гониометр должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

1. Оси вращения верхнего и нижнего цилиндров должны совпадать, т. е. гониометр не должен иметь эксцентриситета. Отсчеты по двум верньерам на лимбе, при соблюдении этого условия, не должны отличаться между собой на  $180^\circ \pm 2t$ , где  $t$  — точность гониометра.

При наличии эксцентриситета гониометр исправляют в мастерской.

2. Гониометр не должен иметь коллимационной ошибки. Для проверки этого условия визируют диоптры нижнего цилиндра на веху, удаленную на 40—50 м. Не сдвигая нижнего цилиндра, визируют одну из пар диоптров верхнего цилиндра на ту же веху. Отсчет по одному верньеру должен быть равен 0, а по второму  $180^\circ$ . Если условие не выполнено, отсчет по первому верньеру будет равен коллимационной ошибке, которую учитывают при каждом измерении угла. Чтобы измерить горизонтальный угол, гониометр устанавливают на штативе. С помощью отвеса центрируют его над вершиной угла. Совместив нулевые деления лимба и алидады, визируют диоптры нижнего цилиндра на левую веху. Вращая верхний цилиндр, наводят его нулевые диоптры на правую веху и берут отсчет по верньеру. Этот отсчет и будет величиной измеряемого угла.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Дайте понятие о географическом и магнитном меридианах.
2. Чем отличается азимут от дирекционного угла?
3. Приведите зависимость между румбами и дирекционными углами.
4. Как определить внутренний угол, зная дирекционные углы его сторон?
5. Приведите формулы для определения внутренних углов по известным румбам его сторон.
6. В чем отличие магнитных азимутов и румбов от географических?
7. Какие Вы знаете виды склонения магнитной стрелки?
8. Назовите виды буссолей и их основные части.
9. В чем состоит поверка буссоли?
10. Расскажите об устройстве гониометра.
11. Как выполняются поверки гониометра?
12. Как измерить горизонтальный угол гониометром?

# Раздел второй

## ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

### Глава 6

### ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

#### § 28. Принцип измерения горизонтальных углов. Теодолиты, их марки, типы, устройство

При выполнении геодезических съемок измеряют горизонтальные проекции углов, образованных линиями на местности. Так, для измерения угла  $BAC$  (рис. 35, *а*) стороны  $AB$  и  $AC$  проектируют на горизонтальную плоскость  $M$  в виде отрезков  $bA$  и  $cA$ . На отвесном ребре  $AA_1$  двугранного угла в точке  $a_1$  помещают горизонтальный круг с делениями (лимб) угломерного инструмента — теодолита. Отмечают дугу  $b_1c_1$ , образованную сторонами угла. Эта дуга и будет мерой центрального угла  $b_1a_1c_1$ , равного горизонтальному углу  $bAc$  ( $\beta$ ), измеряемому на местности. Деления на горизонтальном круге (лимбе) подписаны по ходу часовой стрелки. Тогда угол  $\beta$  определяют как разность отсчетов  $b_1$  и  $c_1$  на горизонтальном круге (лимбе)

$$\beta = b_1 - c_1. \quad (65)$$

Основным геодезическим прибором при теодолитной съемке является теодолит. Он предназначен для измерения и разбивки

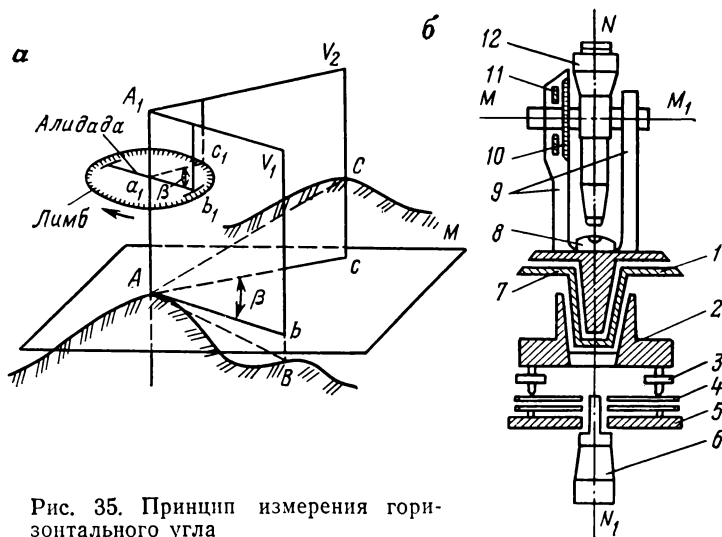


Рис. 35. Принцип измерения горизонтального угла

горизонтальных и вертикальных углов на местности, определения расстояний. С помощью буссоли теодолита ориентируют на местности линии по магнитному меридиану.

Теодолиты разделяют по конструкции на два типа: простые и повторительные. У простых теодолитов лимб наглухо скреплен с подставкой и вращаться не может. Лимб и алидада повторительных теодолитов имеют независимое вращение.

В зависимости от материала, из которого изготовлены круги (лимбы), различают теодолиты с металлическими кругами и со стеклянными лимбами (оптические). Металлические лимбы имеют теодолиты ТТ-50, ТТ-5, ТН, ТТП, ТМ-1. Теодолиты с металлическими лимбами с 1970 г. не изготавливают в нашей стране, но их еще применяют при выполнении геодезических съемок в путевом хозяйстве, в учебных заведениях. Поэтому в настоящем учебнике приводятся краткие сведения о них. Согласно ГОСТ 10529—79 отечественные заводы выпускают теодолиты только со стеклянными лимбами следующих марок:

высокоточные Т1 со средней квадратической погрешностью при измерении угла  $\pm 1''$ ;

точные Т2, Т5 со средней квадратической погрешностью  $\pm 2$  и  $\pm 5''$ ;

технические Т15, Т30, Т60, предназначенные для измерения углов со средней квадратической погрешностью от  $\pm 15''$  до  $\pm 60''$ .

Буква Т в марке теодолита обозначает теодолит, а цифра — его точность, которая характеризует среднюю квадратическую погрешность при измерении угла.

Теодолиты со стеклянными кругами (оптические) обладают меньшей массой и размерами, удобны в работе и обеспечивают более высокую точность измерений, чем теодолиты с металлическими лимбами.

#### *Устройство теодолита*

На рис. 35, б изображена схема повторительного теодолита, который устанавливают для измерения на местности горизонтального угла  $\beta_1$ , совмещая вертикальную ось с отвесной линией  $a_1A$ , проходящей через вершину А (см. рис. 35, а). Отсчеты  $b_1$  и  $c_1$  берут по лимбу 1 (см. рис. 35, б), плоскость которого приводят в горизонтальное положение. В пустотелой оси лимба вращается алидада 7, ось которой совпадает с осью лимба. На алидаде имеется нулевой штрих, по которому производят отсчеты на лимбе. Лимбы и алидада закрыты специальной обоймой (кожухом) с иллюминаторами (окошечками) для взятия отсчетов на лимбе по отсчетным приспособлениям.

Ось лимба вращается во втулке 2 трегера теодолита, который устанавливается в рабочее положение подъемными винтами 3. Винты через пружинящую пластинку 4 опираются на головку штатива 5. Трегер теодолита крепится к штативу станковым винтом 6. Для приведения оси теодолита  $NN_1$  в отвесное положение, а плоскости лимба в горизонтальное имеется

цилиндрический уровень 8. Вместе с алидадой горизонтального круга вращаются колонки (подставки) 9, в которых помещена зрительная труба теодолита 12.

Для измерения углов в вертикальной плоскости теодолит имеет вертикальный круг, состоящий из лимба 10 и алидады 11, имеющих независимое вращение вокруг горизонтальной оси  $ММ_1$ . Лимб вертикального круга наглухо соединен с осью зрительной трубы и вращается вместе с ней вокруг оси  $ММ_1$ . Для измерения магнитных азимутов и румбов на колонке (подставке) крепится буссоль. Все части теодолита, имеющие вращение, снабжены закрепительными винтами для закрепления какой-либо одной части в заданном положении. Плавное и малое перемещение вращающихся частей для точного их наведения обеспечивают наводящие винты. Устройство уровней, зрительной трубы, отсчетных приспособлений теодолитов приведены ниже.

## § 29. Цилиндрический и круглый уровни

Уровни геодезических приборов предназначены для приведения их осей и плоскостей в горизонтальное или вертикальное положение. Различают уровни цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 36, а) состоит из стеклянной запаянной ампулы (трубки), помещенной в металлическую оправу 2. Оправа прикрепляется к прибору и имеет исправительные винты 3 для юстировки (регулирования). Внутренняя поверхность ампулы уровня отшлифована по дуге радиуса до 200 м. В процессе изготовления ампулы заполняют нагретым эфиром или спиртом и запаивают. После охлаждения жидкость уменьшается в объеме и образуется пузырек 1 из паров жидкости, который занимает наивысшее положение в ампуле. На трубке уровня нанесены деления через 2 мм. Касательная

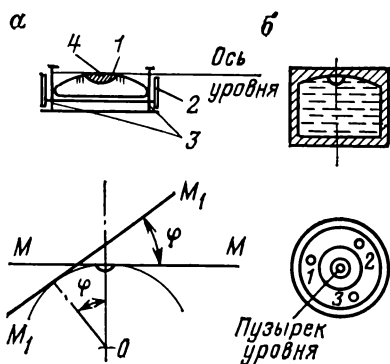


Рис. 36. Уровни геодезических приборов:

а — цилиндрический; б — круглый

к внутренней поверхности трубки в средней ее точке (нуль-пункте) 4 называется осью уровня. Угол  $\varphi$ , на который отклонится ось уровня  $М_1М_1$  от своего горизонтального положения  $ММ$  при перемещении пузырька на одно деление, называют ценой деления уровня. Цена деления зависит от радиуса внутренней поверхности ампулы при постоянной линейной величине одного деления данного уровня. Следовательно, уровни, у которых больше радиус кривизны внутренней поверхности ампулы, более чувствительны и имеют

меньшую цену деления. Уровни в технических теодолитах имеют цену деления в пределах 15—60". Для более точной установки пузырька в нуль-пункт применяют контактные уровни, устройство которых приведено в § 63.

Круглый уровень представляет собой стеклянную ампулу, верхняя часть которой отшлифована внутри по сферической поверхности. Ампула наполнена эфиром или спиртом. На наружной поверхности ампулы нанесены через 2 мм концентрические окружности (рис. 36, б). Ампула помещена в металлическую оправу, которая крепится к прибору и регулируется тремя исправительными винтами 1, 2, 3. Нуль-пунктом уровня является центр шаровой поверхности ампулы. Осью уровня называют радиус шаровой поверхности ампулы, проходящей через ее центр (нормаль, проходящая через центр). Круглый уровень применяют для предварительной грубой установки прибора в рабочее положение, так как он имеет меньшую чувствительность, чем цилиндрический.

### § 30. Зрительная труба

В геодезических приборах для визирования (наведения) на удаленные точки применяют зрительные трубы. Наибольшее применение имеют зрительные трубы с внутренней фокусировкой (рис. 37, а), имеющие постоянную длину. Зрительная труба состоит из объектива, обращенного к предмету наблюдения — объекту, и окуляра, обращенного к глазу. В окулярной части трубы установлена диафрагма (рис. 37, б), которая удерживается в корпусе зрительной трубы исправительными винтами 1. Диафрагма имеет небольшое отверстие, в которое вставлена стеклянная пластинка с нанесенной на ней сеткой нитей. На рис. 37, б показаны разные виды применяемых сеток нитей. Точка пересечения средней горизонтальной нити с вертикальной называется центром сетки нитей  $K$  (см. рис. 37, б).

Прямая, соединяющая центр сетки нитей и центр объектива, называется визирной осью трубы. Эта ось при вращении трубы вокруг своей горизонтальной оси образует коллимационную плоскость. Линия, проходящая через центры объектива и окуляра, называется оптической осью трубы.

Для получения четкого изображения сетки по глазу перемещают окулярную трубу вдоль оси трубы вращением окулярного кольца. Внутри трубы с помощью кремальеры (винта фокусировки) перемещается двояковогнутая линза. Эту линзу называют фокусирующей, так как при ее перемещении внутри трубы меняется положение фокуса объектива, что позволяет получать отчетливые изображения предметов, разноудаленных от прибора. На рис. 37, в изображена оптическая схема зрительной трубы. Предмет  $AB$  удален от объектива не менее чем на двойное фокусное расстояние. Изображение  $A_2B_2$  предмета, образованное лучами, проходящими через фокус  $F$  и объектив

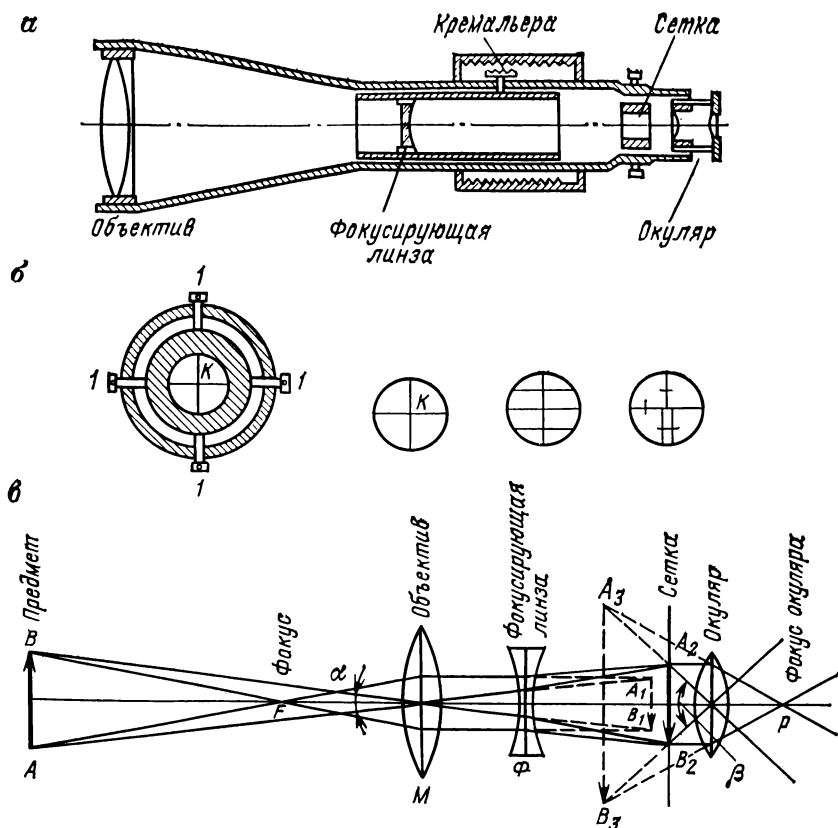


Рис. 37. Зрительная труба с внутренней фокусировкой

$M$ , будет действительным и обратным. При рассмотрении  $A_2B_2$  через окуляр получают изображение  $A_3B_3$ , которое будет обратным относительно  $AB$  и увеличенным.

Объективы и окуляры делают сложными, состоящими из нескольких линз для устранения сферической и хроматической аберраций, чем улучшается качество изображений.

Качество зрительных труб характеризуется следующими оптическими свойствами: увеличением, полем зрения, яркостью изображения.

Увеличение зрительной трубы — это отношение угла  $\beta$ , под которым изображение предмета видно в трубу, к углу  $\alpha$ , под которым виден этот предмет невооруженным глазом.

$$v = \beta/\alpha \quad \text{или} \quad v = f_{об}/f_{ок}, \quad (66)$$

где  $f_{об}$  и  $f_{ок}$  — фокусные расстояния объектива и окуляра. Чтобы определить увеличение зрительной трубы, в 10—20 м от

теодолита устанавливают рейку с делениями. Наблюдая одним глазом в трубу, а другим непосредственно на рейку, считают, какое количество делений, видимых без трубы, совпадает с одним делением, видимым в трубу. Это число и будет увеличением зрительной трубы. В технических теодолитах увеличение трубы находится в пределах от 20 до 25<sup>x</sup>.

Поле зрения трубы — это пространство, заключенное в конус, которое просматривается в трубу при неподвижном ее положении. Величину поля зрения определяют по формуле

$$\alpha = 38,2^\circ / v, \quad (67)$$

где  $v$  — увеличение трубы.

Из формулы (67) следует, что чем больше увеличение, тем меньше поле зрения, т. е. поле зрения обратно пропорционально увеличению трубы. Поле зрения труб геодезических приборов находится в пределах от 30' до 2°.

Яркость зрительной трубы зависит от качества шлифовки линз объектива и окуляра.

Установка трубы для наблюдения состоит в том, чтобы в зависимости от остроты зрения наблюдателя устанавливать окуляр по глазу вращением окулярного кольца до появления резкого изображения сетки нитей. Направив объектив трубы на наблюдаемый предмет, вращают винт фокусировки до получения четкого изображения предмета.

### § 31. Отсчетные приспособления

Для отсчитывания целых делений или их долей на лимбе применяют следующие отсчетные приспособления: верньеры, штриховые или шкаловые микроскопы (рис. 38).

**Верньеры.** Верньер теодолита представляет собой шкалу с делениями на алидаде. Угловую величину одного деления лимба называют ценой деления лимба  $l$ , а угловую величину одного деления алидады (верньера) — ценой деления верньера

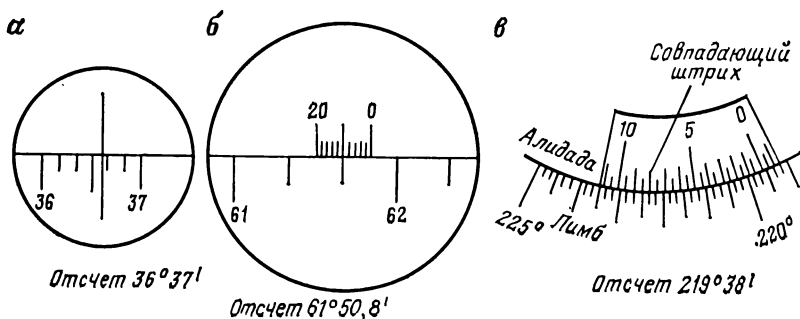


Рис. 38. Отсчетные приспособления теодолитов

*v.* Разность  $t$  между ценами делений лимба и алидады называют точностью верньера

$$t = l - v.$$

Из ранее приведенных формул (61), (62) и (63) (§ 27) следует, что точность верньера равна цене деления лимба  $l$ , деленной на число делений на верньере  $n$ ,  $t = l/n$ .

Точность верньера нижерассмотренного теодолита ТТ-5 равна цене деления лимба —  $10'$ , деленной на число делений на верньере —  $20$ :

$$t = l/n = 10'/20 = 0,5' = 30''.$$

Одно деление верньера меньше одного деления лимба на величину  $t$ , два деления верньера меньше двух делений лимба на  $2t$ , три деления — на  $3t$  и т. д.

Отсчет производят в такой последовательности. Записывают число целых делений на лимбе, пройденных нулевым штрихом верньера, например  $219^\circ 30'$  (рис. 38, *в*). Число минут, секунд берут по тому штриху верньера, который совпадает со штрихом лимба. Определив порядковый номер штриха верньера, умножают его на точность верньера:  $16 \cdot t = 16 \cdot 30'' = 8'$ .

Полученный результат прибавляют к отсчету на лимбе по нулевому штриху. Полный отсчет  $219^\circ 30' + 8' = 219^\circ 38'$ . Практически это умножение не производят, так как над штрихами верньера вместо порядковых номеров подписывают произведения этих номеров на точность верньера.

Штриховые и шкаловые микроскопы ставят на оптические теодолиты. Изображения делений стеклянных кругов передаются с помощью оптических устройств в поле зрения окуляра отсчетного или шкалового микроскопов, находящихся рядом с окуляром зрительной трубы.

В поле зрения штрихового микроскопа вместе с изображением деления лимба виден отсчетный штрих. На рис. 38, *а* видно, что цена деления лимба  $10'$ . Десятые доли деления лимба оценивают на глаз по штриху микроскопа с точностью до  $1'$ . Отсчет равен  $36^\circ 37'$ .

Шкаловый микроскоп обеспечивает более высокую точность отсчета, чем штриховой. Он имеет шкалу, разделенную на мелкие деления, например на  $10$ . Видимая в поле зрения микроскопа длина шкалы, нарезанная на стекле, равна одному делению лимба.

Цена деления лимба, приведенного на рис. 38, *б* поля зрения шкалового микроскопа, равна  $20'$ . Так как шкала разделена на  $10$  частей, цена одного деления ее равна  $2'$ . Доли деления шкалы оценивают на глаз с точностью  $0,2'$ . Один из штрихов лимба пересекает шкалу микроскопа. По этому штриху записывают число целых делений лимба и число целых делений шкалы микроскопа, например  $61^\circ 50'$  (см. рис. 38, *б*). Десятые доли деления шкалы микроскопа берут на глаз, общий отсчет равен  $61^\circ 50,8'$ .

## § 32. Конструкция теодолита ТТ-5

Это повторительный теодолит с металлическими кругами. Внешний вид его показан на рис. 39. Теодолит состоит из трегера 3, разъемносоединенного с рабочей частью, которая закрепляется винтом 4. Трегер имеет три подъемных винта 2, которые служат для приведения основной оси вращения прибора в вертикальное положение. Основания винтов опираются через пружинящую пластину на основную металлическую пластину 1. Пластины имеют втулку с резьбой 24 для станкового винта, которым трегер прикрепляют к штативу. Снизу трегер имеет крючок 23 для подвешивания отвеса.

Горизонтальный круг теодолита состоит из лимба и алидады, закрытых кожухом (обоймой) 9, наглухо скрепленным с алидадой. Коническая ось алидады входит в полую ось лимба и может свободно вращаться в ней. Алидада имеет закрепительный 7 и наводящий винт 8. Лимб имеет независимое вращение оси алидады, может быть закреплен винтом 5. Наводящий винт лимба 6 служит для точного наведения лимба при закрепленном винте 5. Для снятия отсчетов кожух имеет два иллюминатора (окошечка) и две неподвижно укрепленные лупы 10. Цена деления лимба  $10'$ , точность верньера —  $30''$ . Деления лимба подписаны через  $5^\circ$  по часовой стрелке. На кожухе алидады укреплен цилиндрический уровень для приведения основной оси теодолита в вертикальное положение. Один конец уровня имеет исправительный винт, а другой укреплен на шарнире. Зрительная труба теодолита 15 может вращаться вокруг горизонтальной оси на  $360^\circ$  в колонках (подставках) 11, неподвижно опирающихся на кожух алидады горизонтального круга.

Зрительная труба состоит из корпуса, объектива 18, окуляра 13, кольца кремальеры 14, передвигающего фокусирующую линзу. Оптика теодолита просветленная, т. е. поверхность линз покрыта тончайшим слоем специальной пленки, которая улучшает прохождение световых лучей через объектив. Исправительные винты сетки нитей закрыты со стороны окулярной части колпачком. Зрительная труба имеет закрепительный винт 17 и

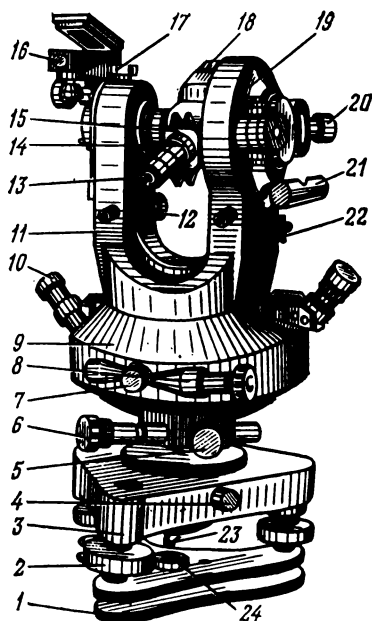


Рис. 39. Теодолит ТТ-5

наводящий винт 12. Увеличение зрительной трубы — 25,2х.

С горизонтальной осью трубы жестко скреплен лимб вертикального круга 19, который служит для измерения вертикальных углов.

Вертикальный круг состоит из лимба алидады с двумя верньерами, закрытыми кожухом (обоймой). Отсчеты на вертикальном круге производят с помощью двух неподвижных луп 20 через иллюминаторы (окошечки).

На вертикальном круге укреплен цилиндрический уровень 21, пузырек которого устанавливается в нуль-пункт наводящим винтом 22. К верхней части колонки трубы крепится ориентир-буссоль 16 для ориентирования линий по магнитному меридиану. Если совместить нулевые штрихи алидады и лимба, а затем вращением лимба установить концы магнитной стрелки против штрихов буссоли, визирная ось трубы будет ориентирована вдоль магнитного меридиана. При наведении трубы на точку заданной линии вращением алидады отсчет по верньеру горизонтального круга и будет магнитным азимутом данной линии.

После работы теодолит укладывают в металлический футляр, снабженный ремнями для его переноски.

**Штативы.** Предназначены для установки теодолитов при выполнении геодезических съемок на местности. Согласно ГОСТ 16740—79 для теодолитов применяют штативы раздвижные ШР-140, ШР-160 и нераздвижные ШН. Верхняя часть штатива (рис. 40, а) 1, имеет вид утолщенной металлической площадки, на которую ставят теодолит. В середине головки име-

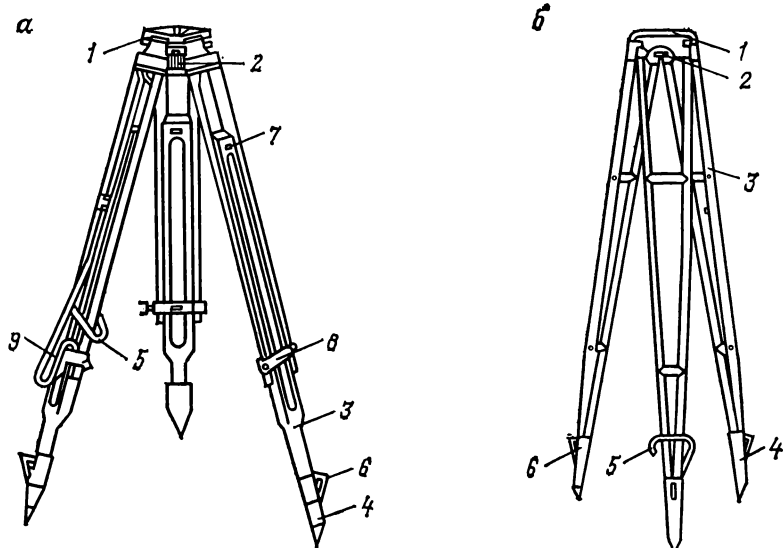


Рис. 40. Штативы теодолитов

ется отверстие, через которое становым винтом 2 крепится трегер теодолита к штативу. К головке штатива шарнирно крепятся три деревянные или металлические ножки 3, имеющие наконечники 4 с упорами 6 для нажатия ногой, чтобы наконечник вошел в землю. Нераздвижные штативы (рис. 40, б) имеют постоянную длину ножек, а раздвижные — переменную за счет выдвижения ножек на требуемую величину (см. рис. 40, а). Фиксацию ножек осуществляют с помощью зажимного устройства 8 и в сложенном виде — ограничителя 7. В нерабочем положении ножки штатива складывают, закрепляют ремнями 5 и переносят на плечевом ремне 9. С внутренней стороны одной из ножек штатива имеется пенал для хранения отвеса. Штатив должен обеспечивать устойчивость установленного на нем прибора и сопротивление крутящему моменту. Масса штативов находится в пределах 4—5 кг.

### § 33. Конструкция теодолита Т30

Теодолит Т30 относится к типу оптических теодолитов, выпускаемых отечественной промышленностью согласно ГОСТ 10529—79 взамен оптических теодолитов ТОМ, ОТШ и других, снятых с производства.

Малогабаритный повторительный теодолит Т30 (рис. 41, а) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов со средней квадратической ошибкой, не превышающей  $\pm 30''$ . Им можно определить расстояние по дальномеру и ориентировать линии. Треножник 1 скреплен с основанием, которое является дном металлического футляра и устанавливается вместе с ним на штативе. Центрирование теодолита над точкой производят с помощью отвеса или зрительной трубы, которую опускают объективом вниз, и визируют на точку через отверстие в вертикальной оси. Лимб горизонтального круга имеет два винта: закрепительный и наводящий 14.

Алидада вращается независимо от лимба, закрепляется винтом 12 и точно устанавливается наводящим винтом 13. Для установки вертикальной оси в отвесное положение на горизонтальном круге укреплен цилиндрический уровень 11 с исправительными винтами на одном конце и с шарниром на другом.

Зрительная труба 5 вращается в колонках (подставках) 8 и может переводиться через зенит обоими концами. На корпусе зрительной трубы укреплен визир 6 для приближенной наводки ее на наблюдаемый предмет. Зрительная труба закрепляется винтом 7 и точно наводится в вертикальной плоскости на предмет наводящим винтом 10. Фокусирование трубы производят вращением кремальеры 9. Для четкого изображения сетки нитей (установки ее по глазу) вращают окулярное кольцо 2. Сетка нитей имеет два дальномерных штриха. Увеличение зрительной трубы 20 $\times$ .

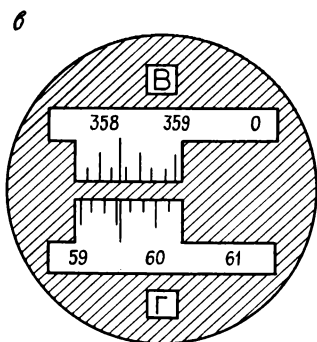
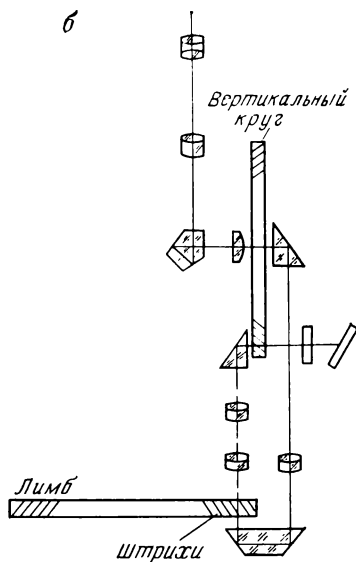
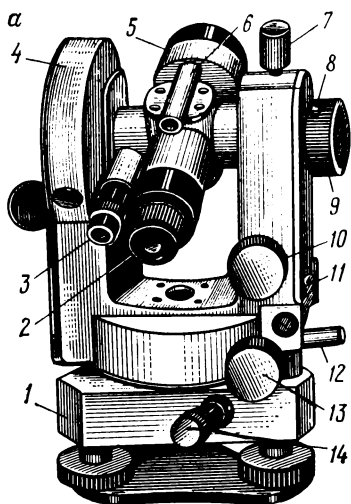


Рис. 41. Теодолит Т30:

*а* — внешний вид; *б* — оптическая схема; *а* — поле зрения отсчетного микроскопа

Вертикальный круг 4 уровня при алидаде не имеет, и для измерения углов наклона используют уровень 11 на горизонтальном круге с ценой деления  $45''$ . Лимбы горизонтального и вертикального кругов имеют цену деления  $10'$ . Отсчет по кругам выполняется только с одной стороны лимба по штриховому микроскопу. Окуляр 3 штрихового микроскопа расположен рядом с окуляром зрительной трубы. Конструкция оптической системы отсчетного микроскопа (рис. 41, б) позволяет передать в поле зрения отсчетного приспособления одновременно изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов, выполненных из стекла. Луч света, отраженный от зеркала 1, проходит через стекло 2 и попадает на вертикальный круг 3 с делениями (см. рис. 41, а). Пройдя через вертикальный круг, луч, преломившись в призме 4, проходит через линзы 5 и 6,

попадает на горизонтальный круг с делениями 7. Пройдя через стеклянный горизонтальный круг, луч, преломившись в призме 8, проходит линзу 9 и трехгранную призму 10, попадает на плоскую поверхность 11. На ней нанесен штрих для отсчета. Лучи, отражающие штрих отсчета и деления лимбов вертикального и горизонтального кругов, попадают на призму 12 и, преломившись, проходят в объектив 13 и окуляр отсчетного микроскопа 14. В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, отмеченной буквой В, изображаются штрихи вертикального круга, а в нижней части, отмеченной буквой Г,— штрихи горизонтального круга (рис. 41, в). Цена деления обоих кругов —  $10'$ . Отсчет производят по вертикальному неподвижному штриху-индексу, расположенному в центральной части поля зрения. Отсчет по штриху микроскопа состоит из градусов, десятков минут и части деления лимба, которая оценивается на глаз с точностью до  $1'$ . На рис. 41, в отсчет по горизонтальному кругу Г равен  $59^{\circ}32'$ , а по вертикальному В —  $358^{\circ}16'$ .

### § 34. Конструктивные особенности теодолитов Т15, Т5

Оптический повторительный теодолит Т15 (рис. 42, а) предназначен для измерения горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью  $15''$ , а вертикальных —  $20''$ .

Для центрирования теодолит имеет оптический центрир (отвес), который визируется на знак вершины угла. Горизонтальные и вертикальные круги теодолита снабжены цилиндрическими уровнями 1 с ценой деления 60 и  $30''$  соответственно. Зрительная труба теодолита имеет увеличение  $25\times$ . Она может переводиться через зенит обоими концами. На корпусе зрительной трубы укреплены два оптических визира. Рядом с окуляром 2 зрительной трубы расположен окуляр шкалового микроскопа 3. В поле зрения отсчетного микроскопа одновременно видны изображения штрихов горизонтального Г и вертикального В кругов. Цена деления каждого из лимбов  $1^{\circ}$ . Каждый штрих лимба оцифрован. Отсчеты берут по двум шкалам, которые находятся в верхней и нижней половинах поля зрения микроскопа. Каждая шкала, равная по длине одному делению лимба, разделена на 60 частей. Каждое деление шкалы соответствует  $1'$ . Оцифрован каждый десятый штрих. Оценка долей наименьших делений производится на глаз с погрешностью до  $0,1$  ( $6''$ ). На рис. 42, б отсчет по вертикальному кругу В равен  $2^{\circ}05,2'$ , а по горизонтальному Г —  $174^{\circ}55'$ .

На базе теодолита Т15 выпускается теодолит Т15К, у которого при вертикальном круге имеется самоустанавливающийся оптический компенсатор вместо цилиндрического уровня. Устройство компенсатора позволяет автоматически устранять ошибку при измерении углов наклона, вызванную отклонением вертикальной оси теодолита в пределах  $\pm 2'$ . В системе ком-

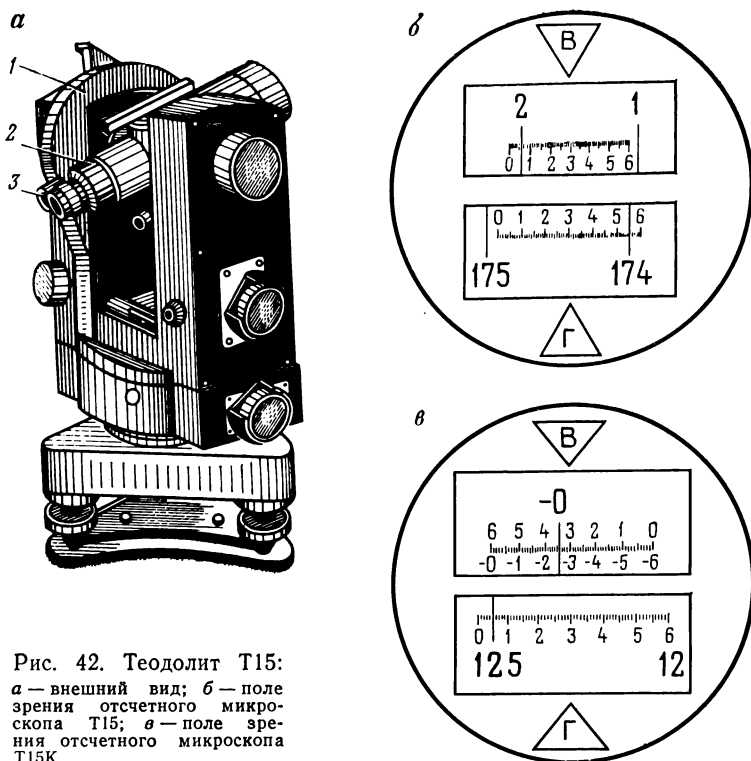


Рис. 42. Теодолит Т15:  
 а — внешний вид; б — поле зрения отсчетного микроскопа Т15; в — поле зрения отсчетного микроскопа Т15К

пенсатора применена прямоугольная призма, подвешенная на упругой пластинке. Воздушный успокоитель быстро гасит колебания компенсатора.

Зрительная труба теодолита имеет прямое изображение визируемых предметов. Вертикальный круг теодолита Т15К имеет секторную оцифровку, которая позволяет сразу отсчитывать углы наклона как положительные, так и отрицательные. Для этого вертикальный круг разбит на четыре сектора, из которых два противоположных имеют положительную оцифровку, а два других — отрицательную. Видимая в поле зрения верхняя шкала В имеет двойную оцифровку: верхняя оцифровка служит для отсчитывания положительных вертикальных углов, а нижняя оцифровка шкалы В — для отрицательных. На рис. 42, в отсчет по вертикальному кругу В равен  $0^{\circ}26'$ .

Если бы перед цифрой 0, штрих которой пересекает шкалу В, не было бы знака минус, то отсчет был бы равен  $+0^{\circ}34'$ . Отсчет по горизонтальному кругу равен  $125^{\circ}05'$ .

Теодолиты Т5, Т5К и 2Т5К относятся к точным теодолитам со шкаловыми микроскопами. Такие теодолиты применяют при строительстве и монтаже больших мостов, тоннелей и их отдельных конструктивных элементов.

Таблица 4

| Параметры                                                               | ТТ-5  | Т15   | Т30 | Т60 |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-----|-----|
| Увеличение зрительной трубы, крат                                       | 25    | 25    | 20  | 15  |
| Угол поля зрения трубы                                                  | 1°25' | 1°30' | 2°  | 2°  |
| Коэффициент дальномера                                                  | 100   | 100   | 100 | 100 |
| Наименьшее расстояние визирования, м                                    | 2     | 1,5   | 1,2 | 1   |
| Цена деления лимба                                                      | 10'   | 1°    | 10' | 10' |
| Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом, угл. с | ±30   | ±15   | ±30 | ±60 |
| Цена деления уровней на 2 мм, угл. с:                                   |       |       |     |     |
| горизонтального круга                                                   | 45    | 45    | 45  | 60  |
| вертикального круга                                                     | 30    | 30    | —   | 30  |
| Масса теодолита, кг                                                     | 3,2   | 3,0   | 2,0 | 2,0 |
| Масса теодолита с принадлежностями, кг                                  | 8,3   | 6,8   | 3,5 | 3,5 |

Горизонтальные и вертикальные круги этих теодолитов стеклянные с ценой деления 1°. Деление шкалы микроскопа соответствует 1'. Отсчеты по обоим кругам выполняются по шкаловому микроскопу с оценкой на глаз с погрешностью  $\pm 0,1'$  или 6". Отсчетное устройство теодолита Т5 аналогично отсчетному микроскопу теодолита Т15 (см. рис. 42, б). Вертикальный и горизонтальный круги теодолита Т5 имеют цилиндрический уровень с ценой деления 25—35". Цена деления круглого уровня, установленного на горизонтальном круге, — 10'. На горизонтальном круге теодолитов этого типа имеется барабанчик с фиксатором, нажатием которого передвигают лимб на небольшой угол.

В теодолитах Т5К и 2Т5К имеется узел компенсатора вертикального круга, позволяющий, аналогично компенсатору теодолита Т15К, устранять ошибки, возникающие при измерении углов наклона, если вертикальная ось теодолита отклонена на угол  $\pm 2'$ .

Теодолит 2Т5К имеет микроскоп с таким же полем зрения, как у теодолита Т15К (см. рис. 42, в). В верхней части на одной из колонок у вертикального круга расположено откидное зеркало для подсветки оптической системы теодолита.

Основные технические данные некоторых марок теодолитов приведены в табл. 4.

### § 35. Приемочные и полевые поверки теодолитов

Каждый теодолит должен отвечать определенным оптико-механическим и геометрическим условиям, вытекающим из принципиальной схемы измерения горизонтальных и вертикаль-

ных углов. Соблюдение этих условий периодически проверяют. Поверки сопровождают регулировкой (юстировкой) прибора. Все поверки теодолита разделяют на приемочные и полевые.

Приемочные поверки включают качественную оценку и исследования теодолита и отдельных его частей. Выполняя приемочную поверку, детально осматривают теодолит и устанавливают наличие в нем всех частей. Далее проверяют комплектность прибора, которая указывается в техническом описании и прилагается к прибору. Затем убеждаются в целостности всех частей теодолита и их правильной работе. При этом исследуется работа угломерных кругов, уровней, зрительной трубы, крепежных и наводящих винтов.

Выполняют приемочные поверки в такой последовательности.

1. Поверка устойчивости теодолита на штативе. После установки теодолита на штативе (закрепления его станковым винтом) наводят центр сетки нитей на какую-либо точку наблюдения на местности.

Затем стремятся слегка повернуть головку штатива вначале в одном, а затем в противоположном направлении. Центр сетки нитей не должен при этом сходить с наблюдаемой точки. При несоблюдении этого условия затягивают ключом винты шарниров головки и ножек штатива.

2. Деления лимба и верньеров должны быть одинаковы. Совместив нулевой штрих верньера со штрихом лимба, наблюдают, совпадает ли последний оцифрованный штрих верньера со штрихом лимба. Такую поверку выполняют по всему кругу лимба.

3. Поверка алидады. Производят два отсчета по обоим верньерам при закрепленной алидаде. Если разность отсчетов отличается от  $180^\circ$  на величину двойной точности верньера  $\pm 2t$ , то алидада отвечает требованиям. Для исключения влияния ошибки эксцентриситета находят средний отсчет. Он равен среднему арифметическому значению минут, прибавленных к отсчету градусов по правому верньеру.

Например, отсчет по первому верньеру  $123^\circ 31'$ , отсчет по второму верньеру  $303^\circ 32'$ .

Средний отсчет:  $123^\circ + (31' + 32')/2 = 123^\circ 31,5'$ .

Эксцентриситет алидады оптических теодолитов Т15, Т30 определяется снятием отсчетов по микроскопу при круге право (П) и круге лево (Л) при визировании трубы на хорошо видимую точку, удаленную на 30—50 м.

Взяв отсчеты П и Л при нескольких положениях алидады, находят разности

$$v = Л - П + 180^\circ. \quad (68)$$

Если у теодолита Т30 колебания разностей не будут превышать  $\pm 1'$ , то алидада отвечает требованиям.

4. Поверки шкалового микроскопа. Совмещают начало шкалы микроскопа с оцифрованным штрихом лимба и

наблюдают, совместится ли конечный штрих шкалы микроскопа с оцифрованным штрихом лимба. Разность между числом делений шкалы микроскопа  $N_0$  и фактическим числом помещающихся штрихов  $N$  между соседними штрихами лимба называют реном шкалового микроскопа,

$$r = N_0 - N. \quad (69)$$

Величина рена не должна быть более 0,25 деления.

5. Изображения в поле зрительной трубы должны быть четкими. Для исследования этого условия теодолит визируют на лист белой бумаги, на котором вычерчены правильные геометрические фигуры (квадраты, круги, треугольники). Если при наблюдении в трубу очертания фигур не искажаются и не окрашены в радужные цвета, зрительная труба удовлетворяет условиям.

6. Проверка плавности хода винтов. Все закрепительные, наводящие и подъемные винты должны иметь плавное вращение. Если винты работают неплавно, имеют тугой ход или люфт, надо устранить причины, их вызывающие. В подъемных винтах это достигается регулированием наружных контргаек, которые могут быть затянуты или отпущены с помощью специальной шпильки. У теодолитов ТЗ0, Т15 для регулирования подъемных винтов их надо вывинтить до появления в манжете отверстия регулировочной гайки. Затем, при помощи шпильки, вращают гайку, добиваясь при этом плавного хода винта.

#### *Проверки и юстировки теодолитов ТТ-5, ТЗ0*

Проверками называют действия, связанные с регулированием (юстировкой) отдельных частей теодолита. Проверки производят, чтобы убедиться, отвечает ли теодолит основным геометрическим условиям, т. е. определенному положению его осей. К этим осям относятся (рис. 43):  $I—I$  — ось цилиндрического уровня;  $II—II$  — вертикальная ось вращения прибора;  $III—III$  — ось вращения зрительной трубы;  $IV—IV$  — визирная ось зрительной трубы (линия, соединяющая центр объектива с центром сетки нитей).

Основные геометрические условия заключаются в следующем: вертикальная ось прибора должна быть отвесна, визирная плоскость вертикальна, а плоскость лимба должна быть горизонтальной.

Для выполнения этих условий выполняются следующие проверки:

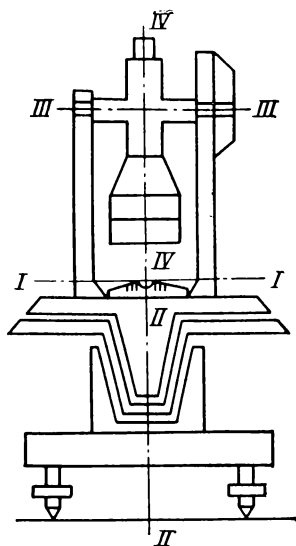


Рис. 43. Схема осей теодолита

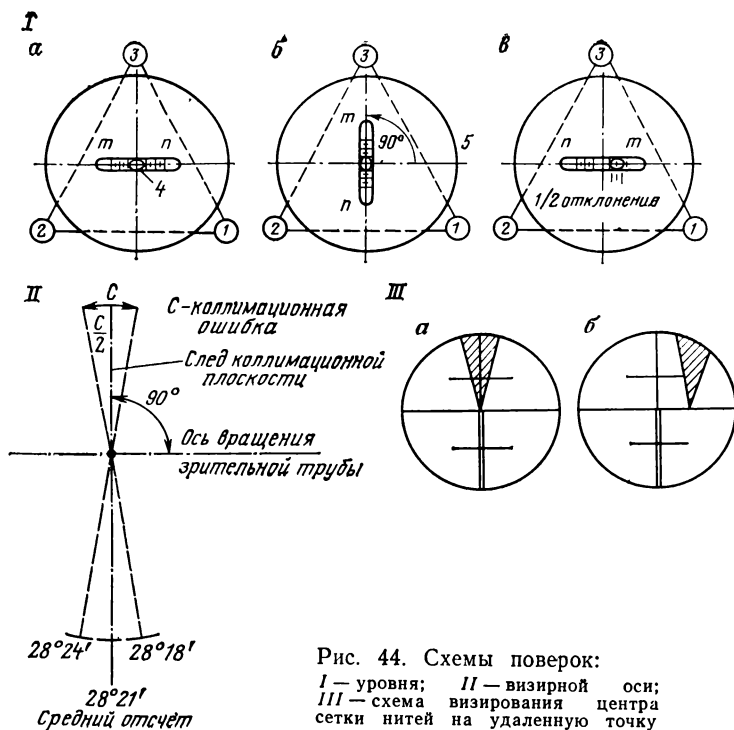


Рис. 44. Схемы проверок:  
I — уровня; II — визирной оси;  
III — схема визирования центра сетки нитей на удаленную точку

1. Проверка оси цилиндрического уровня. Ось цилиндрического уровня (I—I) на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к основной оси вращения прибора (II—II).

Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня на середину (рис. 44, *1а*). Ставят уровень по направлению третьего винта и, вращая его, приводят пузырек на середину (рис. 44, *1б*). Затем поворачивают алидаду вокруг вертикальной оси относительно начального положения на  $180^{\circ}$  (рис. 44, *1в*). Если отклонение пузырька уровня не более, чем на одно деление, условие выполнено.

При отклонении пузырька более чем на одно деление исправляют положение оси уровня. На половину отклонения перемещают пузырек, действуя исправительным винтом уровня. На вторую половину пузырек перемещают, выводя его на середину, действуя подъемными винтами, в направлении которых был поставлен уровень. Проверку выполняют до тех пор, пока при повороте алидады пузырек уровня не будет сходиться со середины более чем на одно деление. Такие действия выполняются для приведения основной оси теодолита в отвесное положение (приведение теодолита в рабочее положение).

2. Поверка визирной оси трубы. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы. Несоблюдение этого условия вызывает коллимационную погрешность, которая выражается углом между визирной осью и перпендикуляром к оси вращения трубы (рис. 44, II).

Устанавливают теодолит в рабочее положение. Закрепив лимб, наводят центр сетки нитей на удаленную точку, расположенную примерно на уровне горизонтальной оси (рис. 44, IIIa). Производят отсчеты на горизонтальном круге при положении вертикального круга справа от трубы (П). Переводят трубу через зенит и после поворота алидады на  $180^\circ$  вновь наводят центр сетки нитей на ту же точку при расположении вертикального круга слева от трубы (Л).

Если средние отсчеты, полученные при П и Л, будут отличаться между собой на  $180^\circ \pm 2t$ , т. е. на двойную точность верньера, условие выполнено.

Если коллимационная погрешность окажется более  $2t$ , производят исправление.

Например:

Средний отсчет при П  $16^\circ 50'$ ;

Средний отсчет при Л  $196^\circ 56'$ .

Коллимационная погрешность:

$$C = Л - 180^\circ - П = 196^\circ 56' - 180^\circ - 16^\circ 50' = 06'.$$

Обнаружив погрешность более допустимой, находят правильный отсчет:

$$\frac{16^\circ 50' + 16^\circ 56'}{2} = 16^\circ 53'.$$

Вращением наводящего винта алидады устанавливают на лимбе нулевой штрих верньера или микроскопа на правильный отсчет ( $16^\circ 53'$ ). Центр сетки нитей после перемещения алидады сойдет с наблюдаемой точки (рис. 44, IIIб). Отвинчивают колпачок диафрагмы. Ослабив исправительные вертикальные винты сетки нитей и действуя горизонтальными винтами, перемещают центр сетки нитей вправо или влево до совпадения с наблюдаемой точкой. Поверку повторяют, после чего винты сетки нитей закрепляют и навинчивают колпачок.

3. Поверка горизонтальной оси вращения трубы. Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к основной оси вращения прибора.

Устанавливают теодолит в рабочее положение и наводят центр сетки нитей на нить отвеса, подвешенного на расстоянии 20—30 м от прибора. Опускают зрительную трубу объективом вниз и наблюдают, не сходит ли центр сетки нитей с линии отвеса. Если центр сетки нитей не сходит с линии отвеса, условие выполнено (рис. 45, а).

Если центр сетки нитей при опускании трубы будет отклоняться вправо или влево при положении КП и КЛ от линии

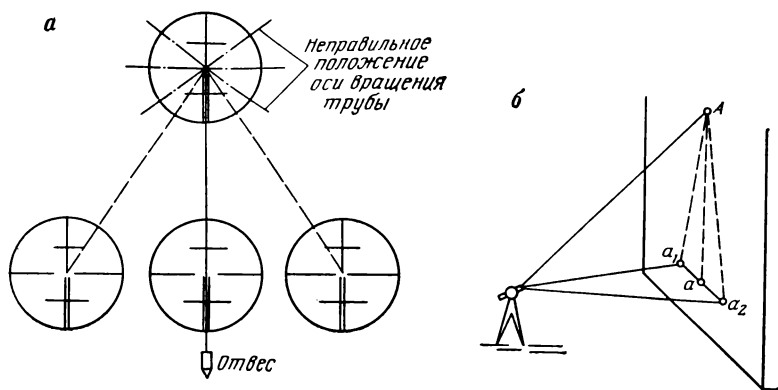


Рис. 45. Схема проверки горизонтальной оси вращения трубы

отвеса, условие не выполнено. Эту проверку выполняют и другим способом.

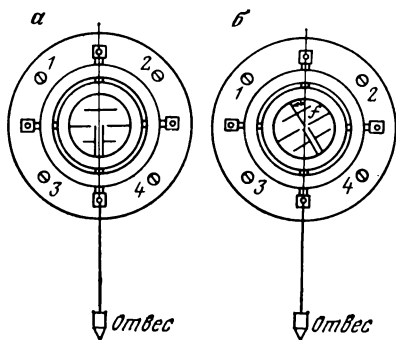
Устанавливают теодолит на расстоянии 20—30 м от стены высокого здания и приводят его в рабочее положение. При закрепленном лимбе (круг право КП) наводят центр сетки нитей на высокую точку  $A$ , выбранную на здании. Закрепив алидаду, опускают трубу объективом вниз и отмечают карандашом на стене здания проекцию центра сетки нитей — точку  $a_1$  (рис. 45, б), переводят трубу через зенит и, открепив алидаду, наводят центр сетки нитей на ту же точку  $A$  при круге лево (КЛ). Затем опускают трубу объективом вниз, отмечают проекцию центра сетки нитей  $a_2$ . Если точки  $a_1$  и  $a_2$  совпадают, т. е. совмещаются в одной точке  $a$ , условие выполнено. Данное условие гарантируется заводом, а при наличии ошибки, определенной как первым, так и вторым способом, она устраняется в специальных оптико-механических мастерских.

4. Проверка положения сетки нитей зрительной трубы. *Вертикальная нить сетки нитей должна быть отвесна, а горизонтальная — перпендикулярна к ней.*

Устанавливают теодолит в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки нитей на линию отвеса, подвешенного на расстоянии 10—15 м от теодолита. Если вертикальная нить сетки нитей совпадает с линией отвеса по всей своей длине, условие выполнено (рис. 46, а). В современных теодолитах вертикальная и горизонтальная линии сетки нитей нарезаны взаимно перпендикулярно, поэтому условие можно поверить не только по положению вертикальной, но и по положению горизонтальной нити сетки нитей. Для этого приводят теодолит в рабочее положение и наводят центр сетки нитей на какую-нибудь точку на расстоянии примерно 20 м. Поворачивая алидаду горизонтального круга наводящим винтом вправо и влево, на-

Рис. 46. Схема проверки положения сетки нитей зрительной трубы:

1, 2, 3, 4 — закрепительные винты диафрагмы



блюдают, не сходит ли изображение точки с горизонтальной нити сетки. Если наблюдаемая точка смещается с горизонтальной нити более чем на двойную ее толщину или вертикальная нить сетки составляет с линией отвеса угол  $f$ , условие нарушено (рис. 46, б).

#### *Исправление*

Отвинчивают колпачок трубы, закрывающий исправительные винты сетки нитей. Отпустив с помощью отвертки четыре закрепительных винта диафрагмы 1, 2, 3, 4 (см. рис. 46, б), поворачивают сеточное кольцо до совпадения вертикальной нити сетки с линией отвеса. Затем винты диафрагмы закрепляют.

Теодолиты Т30, Т15 снабжены оптическими визирами. Визирная ось коллиматорного визира должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Наводят коллиматорный визир на вежу, удаленную на 50 м от теодолита, и наблюдают эту вежу в зрительную трубу. Если изображение вежи совпадает с вертикальной нитью сетки нитей, условие выполнено.

При смещении изображения вежи от центра сетки нитей более чем на  $1/5$  поля зрения трубы положение визира исправляют.

Наводят трубу на изображение, совмещая вертикальную нить сетки с изображением вежи. Ослабив винты, скрепляющие визир с корпусом трубы, поворачивают его до совмещения с вежей. Затем винты закрепляют.

Если у теодолита имеется оптический центрир (Т15, Т10), его необходимо поверить.

*Ось оптического центрира должна совпадать с основной осью вращения прибора.*

Устанавливают теодолит на штативе над точкой и приводят основную ось вращения теодолита в отвесное положение. Вращая алидаду горизонтального круга, наблюдают, не смещается ли центр сетки оптического центрира с точки, над которой установлен теодолит. Условие считают выполненным, если такое смещение не более 1 мм, при большем отклонении производят исправление. Вращением винтов у крышки центрира смещают

окуляр центрира до совпадения визирной оси центрира с основной осью вращения теодолита, т. е. с изображением точки, над которой установлен теодолит.

Проверка круглого уровня, который имеется на теодолитах Т15, Т10 и др.

*Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения теодолита.*

Устанавливают теодолит в рабочее положение по выверенному цилиндрическому уровню. Если пузырек круглого уровня при этом находится в центре окружности ампулы, условие выполнено. При отклонении пузырька более чем на 1 деление его устанавливают в центр тремя исправительными винтами круглого уровня.

### **§ 36. Основные правила обращения с теодолитом и уход за ним**

Теодолит как оптический прибор требует бережного обращения, так как от этого зависит точность измерений. Небрежность в обращении с теодолитом приводит к расстройству взаимного положения деталей, что делает прибор непригодным для работы. Вредно влияют на геодезические приборы сотрясения, соударения, резкие колебания температуры воздуха, поэтому при работе с теодолитом необходимо соблюдать основные правила обращения с ним.

1. Хранить теодолит следует в сухом, отапливаемом и вентилируемом помещении с температурой не ниже  $+5^{\circ}$ , с относительной влажностью не более 70%. Теодолиты в футлярах при хранении помещают на стеллажи, а штативы и вехи ставят в специально оборудованные стойки, размещаемые вдали от отопительных приборов.

2. К месту работы теодолит доставляют в футляре. При выносе прибора в морозную погоду вынимать его из футляра следует не ранее чем через 1 ч, чтобы теодолит охладился постепенно. Вынимать теодолит из футляра при внесении в теплое помещение не следует ранее 2 ч после внесения для предохранения его от запотевания.

3. Необходимо оберегать теодолит от толчков и ударов, особенно при транспортировке.

4. При съемке переносить теодолит на небольшие расстояния разрешается прикрепленным к штативу с небольшим наклоном от вертикального положения. При этом трубу теодолита поворачивают объективом вниз, а все вращающиеся части закрепляют винтами. Переносить прибор на штативе в горизонтальном положении запрещается.

5. Необходимо оберегать теодолит при работе от нагрева солнечными лучами с помощью зонтов или устанавливать прибор в затененном месте.

6. Запрещается работа с теодолитом при сильном снегопаде и в дождливую погоду.

7. Нельзя оставлять прибор на штативе во время перерыва в работе без присмотра.

8. Необходимо аккуратно извлекать теодолит из футляра, а укладывать в него следует в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Вынутый прибор из футляра переносят на штатив, держа за подставку, а не за верхнюю часть.

9. Закрепление теодолита станovým винтом должно быть таким, чтобы подъемные винты вращались свободно.

10. При вращении какой-либо части теодолита нельзя прилагать усилий. Предварительно необходимо открепить закрепительные винты.

11. Перед работой подъемные и наводящие винты приводят в среднее положение. Движение наводящих винтов необходимо заканчивать ввинчиванием, не допуская крайнего положения (до отказа).

12. После работы пыль с наружных оптических поверхностей удаляют воздушной струей из резинового баллончика или протирают мягкой кисточкой или хлопчатобумажной салфеткой.

Периодически трущиеся части теодолита смазывают специальным маслом. При затруднительном вращении осей прибора их очищают от пыли, после чего наносят несколько капель масла. Вращением оси масло растирают, удаляют выступившие остатки салфеткой. После смазки прибор насухо протирают. Мелкие неисправности, возникшие при работе с теодолитом, устраняются самим геодезистом, после тщательного ознакомления с конструкцией прибора. Ремонт теодолита производят в специальных оптико-механических мастерских.

### **§ 37. Установка теодолита для работы и измерение горизонтальных углов**

Измерение горизонтальных углов выполняют теодолитом после выполнения всех его поверок. Теодолит устанавливают в рабочее положение в вершине измеряемого угла, а вехи ставят на концах линий, образующих горизонтальный угол. Приведение теодолита в рабочее положение состоит из следующих действий: 1) центрирования теодолита; 2) приведения вертикальной оси прибора в отвесное положение; 3) установки зрительной трубы для наблюдения.

Центрирование теодолита над вершиной угла производят с помощью нитяного или оптического отвеса. Перемещают штатив до тех пор, пока острое отвеса не окажется над колышком, закрепляющие вершину угла. Затем, утапливая ножки штатива в землю, следят, чтобы плоскость штатива была горизонтальна. Открепив становой винт, перемещают прибор на штативе так, чтобы острое отвеса было над центром колышка. Становой винт закрепляют. При наличии оптического центрира теодолит перемещают на головке штатива до введения изобра-

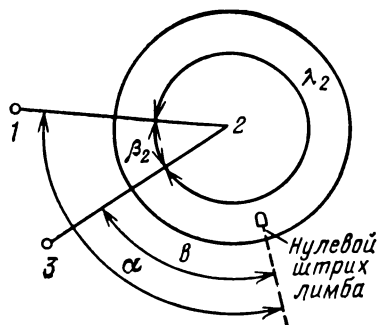


Рис. 47. Схема измерения горизонтального угла:

$\beta_2$  — измеряемый угол (правый);  $\alpha$  — отсчет на правую точку;  $\beta$  — отсчет на левую точку;  $\lambda_2$  — левый (по ходу) угол

жения колышка в центр окружности оптического отвеса, после этого закрепляют становой винт.

Приведение основной оси теодолита в отвесное положение (установку по уровню) производят, действуя тремя подъемными винтами. Установив уровень алидады горизонтального круга по направлению двух подъемных винтов, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек уровня на середину. Повернув алидаду на  $90^\circ$ , устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта. Пузырек уровня приводится на середину. Если уровень поверен, при любом положении алидады его пузырек не будет сходить с нуля-пункта.

**Установка трубы для наблюдения.** Для установки сетки нитей «по глазу» наводят трубу на светлый фон и вращением окулярного кольца добиваются отчетливого изображения сетки нитей.

**Установка трубы по предмету (точке наблюдения).**

Наводят приближенно трубу на предмет (веху), пользуясь коллиматорными визирами или прицельными устройствами (целик, мушка). Закрепляют лимб и алидаду. Вращают винт фокусировки трубы (кремальеры) до четкого изображения предмета. Вращая наводящие винты алидады и зрительной трубы, совмещают центр сетки нитей с изображением точки наблюдения. После этого приступают к измерению горизонтального угла. Обычно при съемке теодолитных ходов измеряют правые (по ходу) горизонтальные углы (рис. 47). Наибольшее применение при измерении горизонтальных углов находят следующие способы:

#### Способ приемов

1. Теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла (см. рис. 47, точка 2) и приводят в рабочее положение.

2. Закрепляют лимб и вращением алидады наводят трубу на правую точку 1. Закрепив алидаду, производят отсчеты при круге право (П). По первому верньеру берут градусы, минуты и секунды, например  $108^\circ 51'$ . По второму верньеру — минуты и секунды —  $50'$ . В журнал измерения углов (см. табл. 4) запи-

сывают число градусов по первому верньеру, а среднее значение минут по обоим верньерам  $108^{\circ}50'30''$ .

3. Открепив алидаду, наводят трубу на левую точку 3 и производят отсчеты по двум верньерам, например,  $60^{\circ}08'$  и  $08'$ , средний отсчет  $60^{\circ}08'$ .

4. Значение угла находят как разность средних отсчетов на правую и левую точки  $108^{\circ}50'30'' - 60^{\circ}08' = 48^{\circ}42'30''$ . Если угол измерен только при одном положении трубы, например при круге право (П), такое измерение называют полуприемом.

5. Для измерения угла полным приемом трубу переводят через зенит, отпускают закрепительный винт лимба и поворачивают его примерно на  $90^{\circ}$ . Лимб закрепляют. Измеряют угол при круге лево (Л) аналогично измерению при круге право (П). Если при измерении окажется, что отсчет на правую точку меньше, чем на левую, необходимо к меньшему отсчету прибавить  $360^{\circ}$ , после этого вычесть из полученного значения средний отсчет на левую точку. Например, средний отсчет на правую точку  $19^{\circ}22'$ , а на левую —  $330^{\circ}40'$ . Вычисляют величину угла  $\beta$ :  $\beta = 19^{\circ}22' + 360^{\circ} - 330^{\circ}40' = 48^{\circ}42'$ .

Два измерения полуприемами образуют полный прием. Если величины углов, полученные из первого и второго полуприемов, имеют погрешность  $\Delta\beta$  не более двойной точности верньера, находят среднее значение угла. В рассматриваемом примере  $\Delta\beta = 48^{\circ}42'30'' - 48^{\circ}42' = 30''$ .

При тридцатисекундной точности верньера допустимая погрешность

$$\Delta\beta_{\text{доп}} \leq 2t, \quad (70)$$

$\Delta\beta_{\text{доп}} = 2 \times 30'' = 1', 30'' < 1' —$  погрешность допустима.

Среднее значение угла

$$\beta_{\text{ср}} = (\beta_1 + \beta_2)/2, \quad (71)$$

Т а б л и ц а 5. Журнал измерения углов

Способ приемов

Дата \_\_\_\_\_ Наблюдал \_\_\_\_\_

Теодолит Т15 № 37584

| № точек |            | Отсчеты по верньерам |       | Средний отсчет       | Угол                | Средний угол        |
|---------|------------|----------------------|-------|----------------------|---------------------|---------------------|
| станций | наблюдения | I                    | II    |                      |                     |                     |
| 2       | I          | $108^{\circ}51'$     | $50'$ | $108^{\circ}50'30''$ | $48^{\circ}42'30''$ | $48^{\circ}42'15''$ |
|         | П          |                      |       |                      |                     |                     |
|         | 3          | $60^{\circ}08'$      | $08'$ | $60^{\circ}08'$      |                     |                     |
| 2       | I          | $19^{\circ}22'$      | $22'$ | $19^{\circ}22'$      | $48^{\circ}42'$     |                     |
|         | Л          |                      |       |                      |                     |                     |
|         | 3          | $330^{\circ}40'$     | $40'$ | $330^{\circ}40'$     |                     |                     |

Таблица 6. Журнал измерения углов

(способ повторений)

15 июня 1985 г.

Теодолит Т30 № 68750

| № стан-ций | № точек визирования | Число повторений | Отсчеты по горизонтальному кругу | Средний отсчет | Угол      | Среднее из углов |
|------------|---------------------|------------------|----------------------------------|----------------|-----------|------------------|
| 2          | 3                   | 3                | 162°14'                          | 112°14'        | 37°24'40" | 37°24'50"        |
|            | 1                   | П                | 199 24                           |                |           |                  |
|            | 1                   |                  | 274 26                           |                |           |                  |
| 2          | 3                   | 3                | 95 46                            | 112 15         | 37 25     |                  |
|            | 1                   | Л                | 133 10                           |                |           |                  |
|            | 1                   |                  | 208 01                           |                |           |                  |

$\beta_{\text{ср}} = (48^\circ 42' 30'' + 48^\circ 42') / 2 = 48^\circ 42' 15''$ . Полученное значение принимают как окончательное. При погрешности больше допустимой угол измеряют повторно.

Все полученные данные заносят в журнал измерения углов (табл. 5). При измерении горизонтальных углов теодолитами Т30, Т15 и другими, у которых отсчет производят по одной стороне лимба, выполняют два полуприема, смещая лимб на 5—10° для исключения влияния эксцентриситета алидады.

#### Способ повторений

1. Установив теодолит в вершине измеряемого угла (точка 2), приводят его в рабочее положение.

2. Закрепив алидаду при круге право (П), вращением лимба наводят центр сетки нитей на левую точку 3. Закрепляют лимб и производят отсчет по горизонтальному кругу, например 131°53'.

3. Открепив алидаду, наводят центр сетки нитей на правую точку 1 и производят отсчет, например 162°14'. Полученные отсчеты записывают в журнале (табл. 6).

4. Открепляют лимб и при закрепленной алидаде визируют трубу на левую точку.

5. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят центр сетки нитей снова на правую точку 1. Алидаду закрепляют, но отсчет не производят. Вновь открепляют лимб и визируют трубу на левую точку 3.

6. Закрепив лимб, вращая алидаду, наводят центр сетки нитей на правую точку 1 и производят отсчет по горизонтальному кругу, например 274°28'.

В рассмотренном примере угол измерен тремя повторениями при круге право (П). Разность между первым и третьим отсчетами составит трехкратную величину угла. Разделив полученное значение на 3, получают величину угла:

$$3\beta_2 = 274^\circ 28' - 162^\circ 14' = 112^\circ 14'.$$

Угол  $\beta$ , полученный при измерении тремя приемами при круге право (П), равен

$$\beta_2 = 112^\circ 14' / 3 = 37^\circ 24' 40''.$$

Такое же число повторений производят при круге лево (Л). Для этого переводят трубу через зенит и измеряют угол в порядке, описанном выше.

Погрешность измерения угла при П и Л не должна превышать точность отсчетного приспособления теодолита.

В рассматриваемом примере  $\Delta\beta = 37^\circ 25' - 37^\circ 24' 40'' = 20''$ ,  $20'' < 30''$  — погрешность допустима.

Если погрешность измерения угла не превышает допустимую, находят среднее абсолютное значение величины угла, которое и принимают за окончательное:

$$\beta_{\text{ср}} = (37^\circ 25' + 37^\circ 24' 40'') / 2 = 37^\circ 24' 50''.$$

#### Способ измерения углов совмещением нулей лимба и алидады

Установив теодолит в рабочее положение над вершиной угла, измерение ведут в следующем порядке:

1. Совмещают нуль отсчетного приспособления (алидады) с нулем лимба.

2. Закрепив алидаду, вращают лимб, визируя трубу на левую точку.

3. Открепляют алидаду при закрепленном лимбе и визируют трубу на правую точку. По отсчетному микроскопу или верньеру производят отсчет на горизонтальном круге. Полученный отсчет и выразит величину измеряемого угла. Рассмотренный способ применяют для контроля измерения углов другими приемами.

### § 38. Измерение углов наклона. Вертикальный круг и его поверки

Измерение углов в вертикальной плоскости (углов наклона) производят по вертикальному кругу теодолита. Вертикальный круг 1 (рис. 48) наглухо прикреплен к зрительной трубе теодолита и поворачивается вместе с ней вокруг горизонтальной оси трубы.

Алидада 2 вертикального круга расположена на оси вращения трубы, но не соединена с ней. При вращении зрительной трубы алидада остается неподвижной. Вертикальный круг имеет отсчетное устройство: верньеры или отсчетный микроскоп, расположенные на алидаде или кожухе (обойме) вертикального круга. На кожухе алидады расположен уровень 3 (см. рис. 48) с исправительным винтом 4, а у оптических теодолитов Т5К и Т15К — компенсатор. При установке пузырька уровня наводящим винтом алидады 5 в среднее положение нулевые штрихи алидады занимают некоторое постоянное положение относительно горизонта. Оцифровка вертикальных кругов различная.

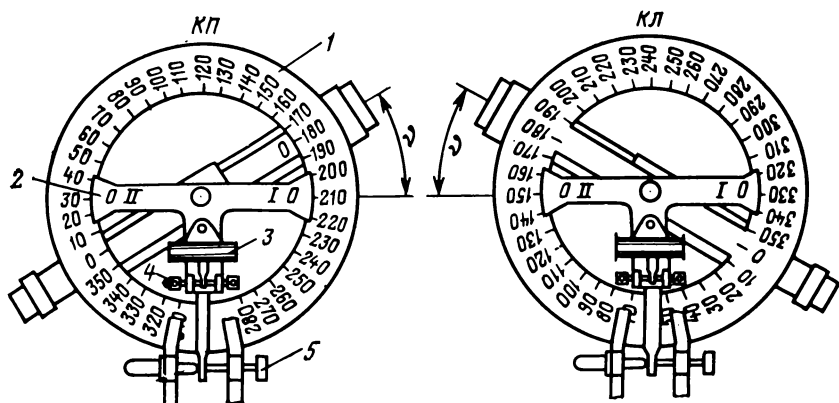


Рис. 48. Вертикальный круг теодолита

Наиболее часто встречаются два типа оцифровки кругов. Первый тип (см. рис. 48) имеет оцифровку с возрастанием градусных делений по часовой стрелке от 0 до 360° (теодолиты ТТ-5, ТМ-1, ТОМ).

Оцифровка делений лимба теодолита Т30 возрастает против часовой стрелки.

При измерении углов наклона считают углы повышения положительными, а углы понижения — отрицательными. Исходным положением вертикального круга принимают такое, при котором при поднятии визирной оси трубы над линией горизонта образуются положительные углы, а при опускании — отрицательные.

Для измерения угла наклона теодолит приводят в рабочее положение и визируют трубу на наблюдаемую точку. Для этого, открепив трубу, приблизительно наводят ее на наблюдаемую точку и зажимают закрепительный винт трубы. Действуя наводящим винтом трубы, совмещают точку пересечения сетки нитей с изображением наблюдательной точки. Вращением наводящего винта алидады вертикального круга устанавливают пузырек уровня при ней на середину ампулы (в нуль-пункт). Отсчитывают по верньеру (теодолит ТТ-5), расположенному около окуляра трубы, градусы, минуты и секунды, а по второму верньеру — минуты и секунды. Переводят трубу через зенит и повторяют измерения при круге лево (Л). Угол наклона определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{Теодолит ТТ-5} \quad \alpha = \text{П} - \text{МО}; \\
 &\quad \alpha = \text{МО} - \text{Л}; \\
 &\quad \alpha = \frac{\text{П} - \text{Л}}{2}; \\
 &\quad \text{МО} = \frac{\text{П} + \text{Л} + 360^\circ}{2}.
 \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= Л - МО; \\ \alpha &= МО - П + 180^\circ; \\ \alpha &= \frac{Л - П + 180^\circ}{2}; \\ МО &= \frac{П + Л + 180^\circ}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

Теодолиты Т15К, 2Т5, 2Т5К

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= Л - МО; \\ \alpha &= МО - П; \\ \alpha &= \frac{Л - П}{2}; \\ МО &= \frac{Л + П}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

где П — отсчет по вертикальному кругу при круге право (КП); Л — отсчет по вертикальному кругу при круге лево (КЛ); МО — место нуля.

Место нуля — это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению пузырька уровня при алидаде вертикального круга (или при алидаде горизонтального круга — у теодолита Т30) в нуль-пункте. У теодолита Т15К, снабженного компенсатором, место нуля — это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси, которое поддерживается компенсатором. Примеры определения места нуля и углов наклона:

1. П=5°12'; Л=354°50'; Теодолит ТТ-5.

По формулам (72):

$$МО = \frac{5^\circ 12' + 354^\circ 50' + 360^\circ}{2} = \frac{720^\circ 02'}{2} = 360^\circ 01' = 0^\circ 01'.$$

$$\alpha = 5^\circ 12' - 0^\circ 01' = +5^\circ 11';$$

$$\alpha = 360^\circ 01' - 354^\circ 50' = +5^\circ 11';$$

$$\alpha = \frac{5^\circ 12' - 354^\circ 50' + 360^\circ}{2} = \frac{10^\circ 22'}{2} = +5^\circ 11'.$$

2. П=172°33'; Л=7°25'; Теодолит Т30.

По формулам (73):

$$МО = \frac{172^\circ 33' + 7^\circ 25' + 180^\circ}{2} = \frac{359^\circ 58'}{2} = 179^\circ 59';$$

$$\alpha = 7^\circ 25' - 179^\circ 59' + 180^\circ = +7^\circ 26';$$

$$\alpha = 179^\circ 59' - 172^\circ 33' = +7^\circ 26'.$$

$$\alpha = \frac{7^\circ 25' - 172^\circ 33' + 180^\circ}{2} = \frac{14^\circ 52'}{2} = +7^\circ 26'.$$

Контролем правильности измерения вертикальных углов при двух положениях вертикального круга является постоянство места нуля.

Место нуля не должно отличаться от  $0^\circ$  больше чем на двойную точность верньеров или штрихового микроскопа.

Если среднее значение места нуля, определенное несколькими измерениями, не отличается от нуля больше чем на двойную точность верньера, то его оставляют.

Приведение места нуля к нулю у теодолита ТТ-5 выполняют в следующем порядке:

1. Устанавливают зрительную трубу, действуя наводящим винтом, на отсчет, равный МО. При этом пузырек алидады вертикального круга должен быть в нуль-пункте. Визирная ось при этом будет приведена в горизонтальное положение.

2. Наводящим винтом алидады вертикального круга совмещают нулевые штрихи верньеров и вертикального круга. Пузырек уровня при этом отклонится от нуль-пункта.

3. Действуя исправительными винтами уровня, снова приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Для контроля вновь определяют МО при П и Л.

У теодолита ТЗ0, имеющего общий уровень для горизонтального и вертикального кругов, место нуля приводят к значению, близкому к  $0^\circ$ , в такой последовательности:

1. При двух положениях вертикального круга П и Л определяют угол наклона.

Например:

$$Л = 2^\circ 20';$$

$$П = 177^\circ 58';$$

$$МО = \frac{П + Л + 180^\circ}{2} = \frac{177^\circ 58' + 2^\circ 20' + 180^\circ}{2} = \frac{360^\circ 18'}{2} = 0^\circ 09'.$$

Место нуля оказалось больше двойной точности штрихового микроскопа.

Угол наклона

$$\alpha = \frac{Л - П + 180^\circ}{2} = \frac{2^\circ 20' - 177^\circ 58' + 180^\circ}{2} = 2^\circ 11'.$$

2. Закрепив зрительную трубу, наведенную на наблюдаемую точку, наводящим винтом трубы устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному значению угла наклона  $\alpha = 2^\circ 11'$ . Вследствие этого наведения центр сетки нитей сместится с наблюдаемой точки.

3. Сняв колпачок трубы, действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают центр сетки нитей с изображением точки. Для контроля, повторяя те же действия, МО определяют вновь.

## § 39. Эккер и его применение

Для построения (разбивки) прямых углов применяют простейшие геодезические приборы — эккеры. Некоторые виды эккеров применяют для разбивки углов в  $45^\circ$ . Эккеры разделяют на два вида: простые и оптические.

Из простых эккеров наиболее распространен цилиндрический, который имеет две пары диоптров, расположенных взаимно перпендикулярно. Примером цилиндрического эккера служит верхний цилиндр гониометра (см. § 27, рис. 34, а).

Чтобы разбить угол на местности  $90^\circ$ , с цилиндрическим эккером встают в точке  $O$  (рис. 49, з). Если эккер укреплен на штативе — его центрируют с помощью отвеса.

Одну пару диоптров визируют на вежу 1, установленную в точке  $C$ . Затем наблюдатель перемещается и, пользуясь второй парой диоптров, дает команду рабочему поставить вежу 2 в точку  $D$ . Разбитые на местности створы  $OC$  и  $OD$  будут составлять прямой угол.

Оптические (отражательные) эккеры бывают зеркальные и призмные.

Наибольшее распространение имеет двухзеркальный эккер (рис. 49, а, б). Он состоит из двух плоских зеркал  $mn$  и  $fl$ , расположенных под углом  $45^\circ$ . Зеркала прикреплены с внутренней стороны пластмассового корпуса, в котором под зеркалами имеются окошечки. В нижней части корпуса укреплена ручка с крючком для отвеса. Чтобы разбить прямой угол на местности, эккер центрируют с помощью отвеса над вершиной угла — в точке  $B$ . Наблюдатель, держа эккер за ручку, поворачивает его так, чтобы в зеркале  $mn$  было видно изображение вежи  $A$ , наблюда-

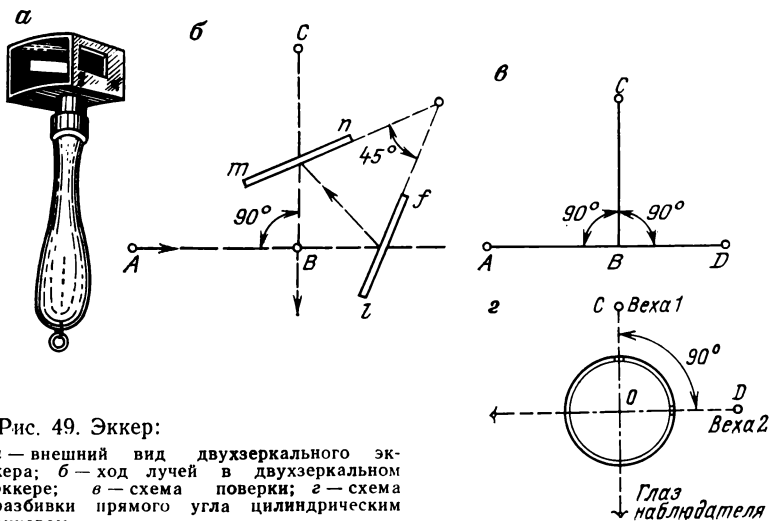


Рис. 49. Эккер:

а — внешний вид двухзеркального эккера; б — ход лучей в двухзеркальном эккере; в — схема поверки; г — схема разбивки прямого угла цилиндрическим эккером

датель дает команду рабочему передвигать вежу  $C$  до тех пор, пока вежа  $C$ , видимая ему в окошечко, не совместится с изображением вежи  $A$ , видимой наблюдателю в зеркало  $mn$ . Построенный на местности угол  $ABC$  будет равен  $90^\circ$ . Ошибка в построении прямого угла двухзеркальным эккером не должна превышать  $15''$ .

Для проверки двухзеркального эккера из точки  $B$  разбивают один прямой угол  $DBC$  (рис. 49,  $a$ ). Если при повторной разбивке вежа  $C$  не будет смещена со своего первого положения, углы между зеркалами  $mn$  и  $fl$  равны  $45^\circ$  и эккер исправен, при невыполнении этого условия изменение положения зеркал производят с помощью его исправительных винтов.

Призмный эккер имеет форму прямоугольной призмы, две другие (зеркальные) грани которой пересекаются под углом  $45^\circ$ . Принцип работы с призмным эккером аналогичен двухзеркальному эккеру. Исправительных винтов призмный эккер не имеет. Обнаруженные неисправности могут быть устранены только в специальной оптической мастерской.

#### § 40. Нитяный дальномер теодолитов. Дальномерные рейки

Дальномеры — это геодезические приборы для определения расстояний без непосредственного измерения их такими мерными приборами, как землемерная лента, рулетки и др.

Принцип дальномерного определения расстояний основан на решении прямоугольного треугольника (рис. 50,  $a$ ), в котором расстояние  $d$  определяют по формуле

$$d = l \operatorname{ctg} \beta, \quad (75)$$

где  $l$  — противолежащий катет (базис);  $\beta$  — параллактический угол.

Одну из величин ( $l$  или  $\beta$ ) принимают постоянной, другую, переменную — измеряют. В зависимости от этого все оптические дальномеры делят на дальномеры с постоянным углом и

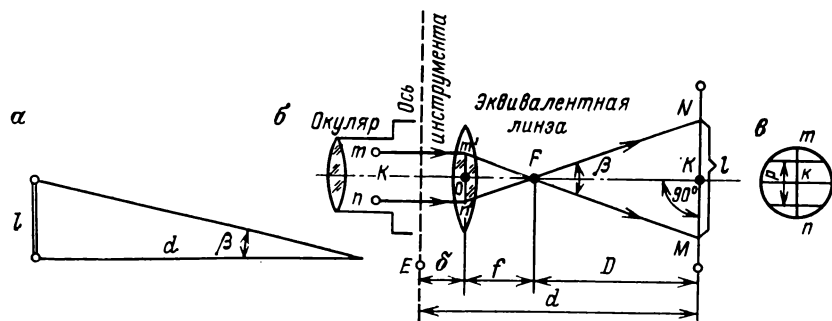


Рис. 50. Схема измерения расстояний нитяным дальномером:

$a$  — параллактический угол;  $b$  — схема нитяного дальномера;  $v$  — дальномерные нити

переменным базисом (нитяные) и дальномеры с переменным углом и постоянным базисом.

Наиболее распространен нитяной дальномер с постоянным параллактическим углом. Такой дальномер придается теодолиту и большинству других геодезических приборов. Нитяной дальномер состоит из двух горизонтальных дальномерных нитей  $m$  и  $n$ , нарезанных на диафрагме зрительной трубы теодолита (рис. 50, в). Расстояние между дальномерными нитями — постоянная величина  $p$ . Дальномерная рейка (переменный базис), до которой требуется определить расстояние  $d$ , устанавливается в точке  $K$  (рис. 50, б). Лучи от точек  $m$  и  $n$  проходят параллельно визирной оси зрительной трубы, преломляются в точках  $m'$  и  $n'$ , пересекаются в главном фокусе  $F$  объектива и проектируются в точках  $M$  и  $N$  дальномерной рейки. Между дальномерными нитями в поле зрения трубы будет виден отрезок рейки  $l$ .

Из подобия треугольников  $m'Fn'$  и  $MFN$  получим

$$\frac{D}{l} = \frac{f}{p}, \quad (76)$$

где  $D$  — расстояние от переднего фокуса  $F$  до рейки;  $l$  — отрезок на рейке между дальномерными нитями;  $f$  — фокусное расстояние;  $p = mn = m'n'$  — расстояние между дальномерными нитями.

Из (76) получим

$$D = \frac{f}{p} l, \quad (77)$$

отношение  $f/p = K$  называют коэффициентом дальномера. Обычно  $K = 100$ . Расстояние  $d$  от оси вращения прибора до дальномерной рейки из рис. 50, б

$$d = D + f + \delta, \quad (78)$$

где  $\delta$  — расстояние оси вращения прибора до оси объектива (эквивалентной линзы); сумма  $(f + \delta) = C$  — постоянная слагаемая дальномера.

С учетом введенных обозначений формула (78) примет вид

$$d = Kl + C, \quad (79)$$

если учесть, что цена деления дальномерной рейки — сантиметр, то отрезок  $l$ , выраженный в сантиметрах, будет равен  $n$ , тогда

$$d = Kn + C. \quad (80)$$

В зрительных трубах с внутренней фокусировкой величина  $C$  близка к нулю. Поэтому практически для современных геодезических приборов со зрительными трубами с внутренней фокусировкой и  $K = 100$  практически принимают

$$d = 100n. \quad (81)$$

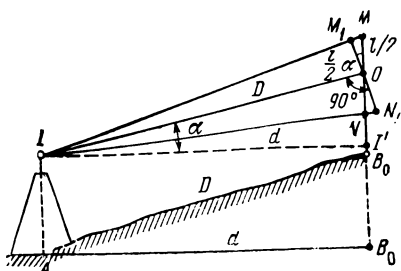


Рис. 51. Схема определения нитяным дальномером горизонтального проложения линий

Преимуществом нитяного дальномера является простота его применения и довольно быстрое измерение расстояний. Наряду с этими преимуществами нитяные дальномеры имеют сравнительно небольшую точность измерения, что ограничивает их применение. Относительная погрешность нитяного дальномера при измерении длин линий до 300 м находится в пределах

$$\frac{1}{300} - \frac{1}{400}.$$

#### § 41. Определение горизонтальных проложений расстояний, измеренных дальномером

Выведение формулы (80) произведено в предположении перпендикулярности визирной оси к плоскости дальномерной рейки. Практически точки  $A$  и  $B$ , между которыми определяют расстояние, находятся на разных высотах (рис. 51), поэтому визирная ось  $I-O$  будет направлена на рейку под некоторым углом наклона  $\alpha$ . Если бы рейка была перпендикулярна к визирной оси трубы, то горизонтальная проекция (горизонтальное проложение)  $d$  определялось бы по формуле

$$d = D \cos \alpha,$$

где  $D = Kl_1$  при  $C = 0$ .

Но рейка в точке  $B$  ставится вертикально и отсчет на ней  $l$  между точками  $M$  и  $N$  будет больше по сравнению с отсчетом  $l_1$  (между точками  $M_1$  и  $N_1$ ). Из-за незначительности угла между лучами, проходящими от дальномерных нитей, можно принять их параллельными визирной оси  $I-O$ . На этом основании треугольник  $OM_1M$  можно рассматривать как прямоугольный с углом  $90^\circ$  в вершине  $M_1$ . Из прямоугольного треугольника  $OM_1M$  получим

$$l_1/2 = (l/2) \cos \alpha \quad \text{или} \quad l_1 = l \cos \alpha,$$

тогда

$$D = Kl \cos \alpha. \quad (82)$$

Горизонтальная проекция из формулы (40)

$$d = D \cos \alpha = Kl \cos^2 \alpha, \quad (83)$$

при  $K=100$

$$d = 100l \cos^2 \alpha. \quad (84)$$

Практически горизонтальное проложение вычисляют как разность дальномерного расстояния  $D$  и поправки за наклон  $\Delta d$ :

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

Поправку  $\Delta d$  определяют так:

$$\Delta d = D - d = 100l - 100l \cos^2 \alpha = 100l (1 - \cos^2 \alpha) = 100l \sin^2 \alpha. \quad (86)$$

Для определения поправок  $\Delta d$  по формуле (86) составлены специальные таблицы (см. прил. 2).

Пример. По нитяному дальномеру взято расстояние  $D=134,56$  м при угле наклона  $\alpha=6^\circ$ . Определить горизонтальное проложение  $d$ , если  $K=100$ . Поправка за наклон  $\Delta d$  по таблице поправок (прил. 2):

|                          |     |      |       |      |        |
|--------------------------|-----|------|-------|------|--------|
| $D$ , м . . . . .        | 100 | 30   | 4     | 0,56 | 134,56 |
| $\Delta d$ , м . . . . . | 1,1 | 0,33 | 0,003 | 0,0  | 1,46   |

Горизонтальное проложение

$$d = 134,56 - 1,46 = 133,10 \text{ м.}$$

## § 42. Понятие об оптических дальномерх двойного изображения

Дальномеры двойного изображения имеют меньшую погрешность при определении расстояний по сравнению с нитяными дальномерами.

В оптических дальномерх двойного изображения использован принцип отклонения визирного луча на величину параллактического угла  $\beta$ , которое достигается при помощи оптического клина в виде призмы или линзового компенсатора. Наблюдая в трубу через оптический клин дальномерную рейку, можно определить расстояние между прибором и рейкой. Все отечественные дальномеры различных конструкций можно разделить на два вида: дальномеры с постоянным базисом и дальномеры с постоянным углом.

К первому виду относят дальномеры ДН-08, ДН8. Дальномеры ДН-10, ДНР-5, ДНР-06, ДН-04 являются дальномерами с постоянным параллактическим углом и переменным базисом. Цифра в маркировке дальномера характеризует среднюю квадратическую погрешность измерения в сантиметрах на каждые 100 м. Например, ДН-08 — погрешность измерения 8 см на каждые 100 м измеряемой линии. Оптические дальномеры выпускают в виде насадок к геодезическим приборам или как самостоятельные приборы (Д2, ОТД). Дальномерная насадка ДН-08 (ДНТ-2) предназначена для измерения линий от 50 до 700 м, используется с теодолитами ТТ-5, ТН.

Комплект ДН-08 состоит из дальномерной насадки (рис. 52, а) и двух дальномерных реек. Корпус насадки 1

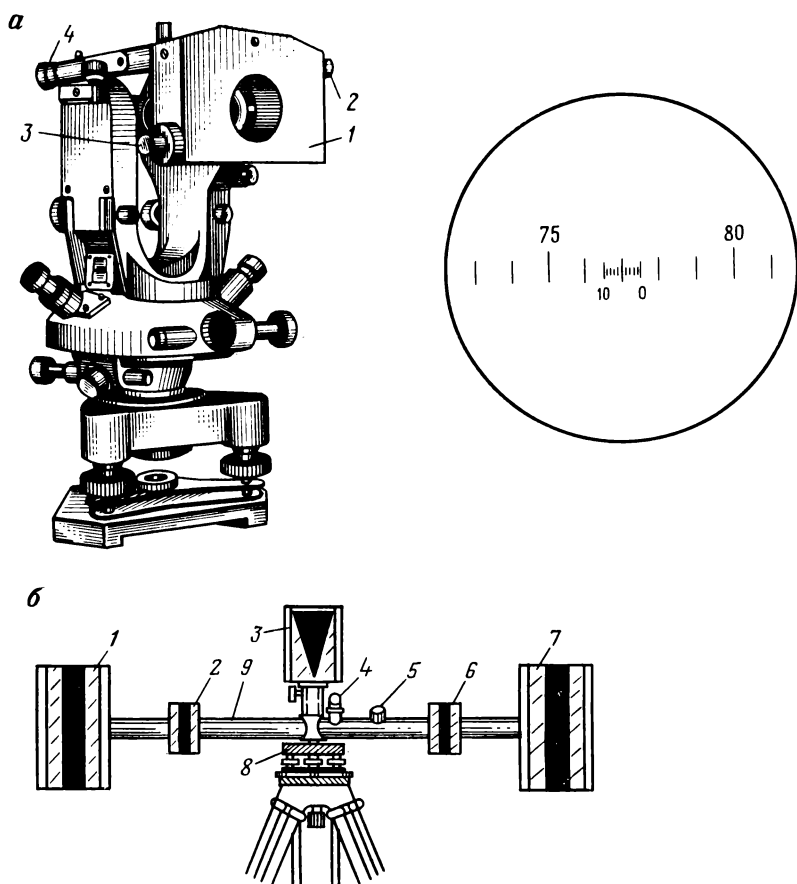


Рис. 52. Дальномерный комплект ДН-08:

*а* — дальномерная насадка; *б* — дальномерная рейка; *в* — поле зрения отсчетного микроскопа

укрепляется на объективе трубы теодолита. В корпусе насадки имеется линзовый компенсатор для измерения параллактических углов смещением линз при помощи винтов 2 и 3. В окуляре отсчетного микроскопа 4 берут отсчеты, например, 77,46 (рис. 52, *в*).

Дальномерная рейка (рис. 52, *б*) состоит из штанги 9, на которой укреплены четыре марки в виде тонких дюралюминиевых пластин. Две крайние (большие) марки 1, 7 образуют базис 1018 мм, а две малые 2, 6 — 550 мм. Рейка 3 на подставке 8 крепится к штативу станковым винтом. Приведение рейки в горизонтальное положение производят с помощью круглого уровня 5. Оптический визир 4 позволяет установить плоскость марок перпендикулярно к измеряемой линии.

Для измерения расстояний прибор с дальномерной насадкой устанавливают в начале линии, а рейку (базис) — в ее конце. Действуя наводящими винтами насадки, совмещают изображения марок на рейке и по разности отсчетов  $n_2$  и  $n_1$  при совмещении марок определяют величину параллактического угла  $\beta$ :

$$\beta = 2(n_2 - n_1). \quad (87)$$

Перемещение одной марки относительно другой будет точно равно длине базиса  $B$ .

Тогда расстояние  $d$  до рейки находят так:

$$d = \frac{B}{\operatorname{tg} \beta''} + C. \quad (88)$$

По малости угла  $\beta$  можно его тангенс выразить через угол  $\frac{\beta''}{\varphi''}$ , тогда

$$d = \frac{B\varphi''}{\beta''} + C. \quad (89)$$

Произведение базиса  $B$  на число секунд в радиане (206 265) — величина постоянная (коэффициент дальномера)  $K = B\rho''$ . Коэффициент  $K$  определяют для каждой пары марок рейки. Если пренебречь величиной  $C$  (выражающей расстояние от вершины параллактического угла до оси вращения прибора и расстояние от плоскости марок до оси штатива) из-за ее незначительности (до 0,12 м), то формула (89) примет вид

$$d = \frac{K}{\beta''}. \quad (90)$$

Дальномерная насадка ДН-10 (ДД-3) имеет постоянный параллактический угол  $\beta$  и переменный базис (дальномерную рейку). Дальномерная насадка укрепляется на объективе теодолитов ТЗ0, а ДД-3 — на теодолитах ТТ-2, ТТ-5, ТН и др.

Принцип работы дальномерной насадки с постоянным углом заключается в том, что если перед объективом трубы установить оптический клин только в одной половине объектива, то луч  $q$ , идущий от точки пересечения сетки нитей  $m$  через объектив в открытую его часть, будет проектироваться на рейке в точке  $Q$  (рис. 53, а).

Луч  $q$  от той же точки  $m$ , пройдя через закрытую клином часть объектива, спроектируется на рейке в точке  $M$ , сместившись на угол  $\beta$ . Таким образом, на рейке получится два изображения одной и той же точки, смещенных по вертикали на длину  $n$ . Это смещение определяют при помощи нониуса (верньера) дальномерной рейки (рис. 53, б). Из прямоугольного треугольника (см. рис. 53, а)

$$E = n \operatorname{ctg} \beta = Kn, \quad (91)$$

где  $K = \operatorname{ctg} \beta$  — коэффициент дальномера.

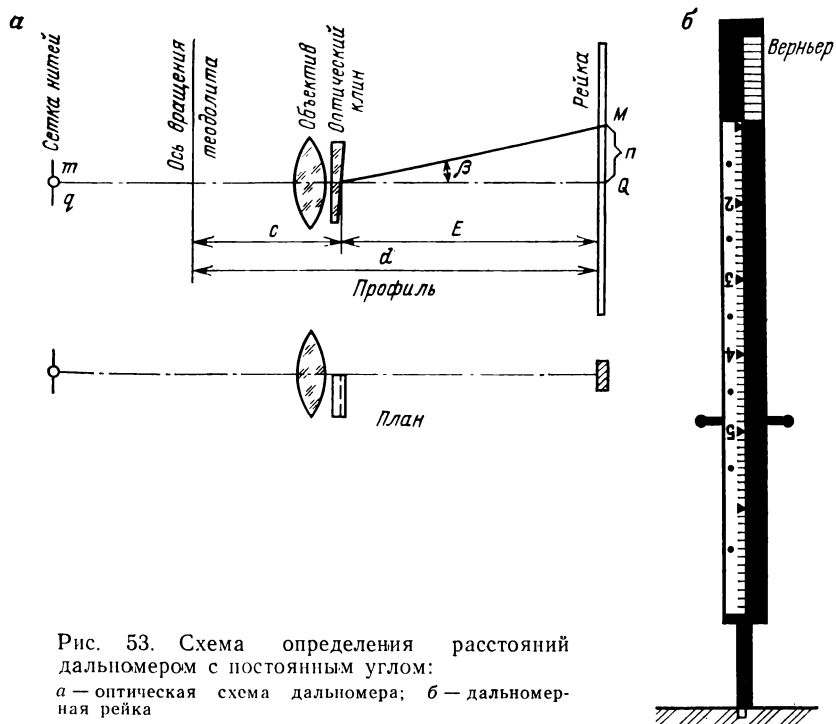


Рис. 53. Схема определения расстояний дальномером с постоянным углом:

*а* — оптическая схема дальномера; *б* — дальномерная рейка

Клин дальномера подбирается с таким углом, чтобы коэффициент дальномера был равен 100 или 200 (для ДН-10  $K=200$ , а для ДД-3  $K=100$ ).

С учетом отрезка  $C$  (расстояние от оптического клина до оси вращения прибора):

$$d = Kn + C. \quad (92)$$

Точность оптических дальномеров с постоянным углом находится в пределах  $\frac{1}{1000} - \frac{1}{2000}$ .

При измерении расстояний применяют дальномеры с постоянным параллактическим углом и переменной базой на приборе. Это самостоятельные приборы, позволяющие определять расстояния в труднодоступных условиях рельефа местности. К ним относятся дальномеры ТВ, ДВ-20, ДВГ.

#### § 43. Понятие о радиодальномерах и светодальномерах

Современные достижения физики, радиоэлектроники позволили создать электромагнитные дальномеры. При их конструировании использовано свойство прямолинейного распространения

ния ультракоротких электромагнитных волн и распространения их в воздушной среде с постоянной скоростью.

Наибольшее распространение в геодезии получили фазовые дальномеры. Принцип работы радиодальномеров и светодальномеров одинаков. В одном конце линии устанавливается передатчик — приемщик сигналов с измерителем фаз, в другом конце — отражатель сигнала (рис. 54). В качестве передатчика (источника света) светодальномера применяют газовый или полупроводниковый лазер. Длина линии  $D$  определяется по скорости распространения электромагнитных волн в воздушной среде  $v$  и времени  $t$  прохождения их между крайними точками в прямом и обратном направлениях:

$$D = vt/2. \quad (93)$$

Практически трудно определить точно очень небольшой величины отрезки времени прохождения сигнала в прямом и обратном направлениях. В связи с этим применяют фазовый способ непрерывного излучения волн, при котором приемопередатчик излучает в сторону отражателя незатухающие колебания электромагнитных волн с частотой  $f$ :

$$t = N/f,$$

где  $N$  — число периодов колебаний.

Подставив в формулу (93)  $t$ , получим

$$D = vN/2f. \quad (93')$$

При частоте колебаний  $f$  длина волны  $\lambda = v/f$ , откуда

$$D = \lambda N/2. \quad (93'')$$

Скорость распространения электромагнитных волн зависит от изменения давления, влажности, температуры. Для высокоточного определения больших расстояний электромагнитными дальномерами учитывают все метеорологические условия внешней среды или обеспечивают погрешность измерения в пределах 1 : 500 000.

Для геодезических работ применяют отечественные радиодальномеры «Луч», РДГ (радиодальномер геодезический). Светодальномеры в соответствии с ГОСТ 19223—82 выпускаются таких марок, как СМ-2, СМ-5, МСД-1 и др. Светодальномер СМ-2 (рис. 55) — точный, для измерения малых расстояний (не более 2 км) со средней квадратической погрешностью не более 2 см на всю длину линии.

Приемопередатчик состоит из головки 3, колонок 4, подставки 1 и контрольного прибора принимаемого сигнала 2. Колонка 4 имеет оптический центрир, наводящие, закрепительные винты и кабель, соединяющий приемопередатчик с электронным блоком.

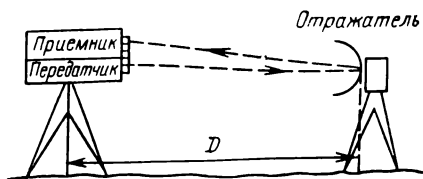


Рис. 54. Схема измерения расстояний электронным дальномером

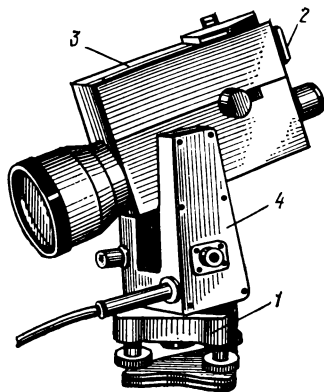


Рис. 55. Светодальномер СМ-2

Приемопередатчик и отражатель центрируют над конечными точками измеряемой линии. Отражатель при помощи визира направляется на приемопередатчик.

Светодальномер СМ-5 — технический, для измерения расстояний до 500 м со средней квадратической погрешностью не более 5 см на всю длину линии.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Приведите основные виды теодолитов и их марки.
2. Каково назначение уровней теодолитов, их виды и устройство?
3. Как устроена зрительная труба теодолита?
4. Что называют увеличением и полем зрения трубы теодолита?
5. Какие отсчетные приспособления применяют в теодолитах?
6. Какие основные конструктивные части теодолита ТТ-5?
7. Объясните конструктивное устройство теодолита ТЗ0.
8. Приведите конструктивные особенности теодолитов Т15 и Т5.
9. Какие основные технические характеристики теодолитов?
10. В чем состоят приемочные проверки теодолитов?
11. Как поверить цилиндрический уровень теодолита?
12. Как выполняют проверку визирной оси трубы теодолита?
13. В какой последовательности выполняют проверку горизонтальной оси вращения зрительной трубы теодолита?
14. Как поверить положение сетки нитей зрительной трубы теодолита?
15. Как выполняют проверку круглого уровня теодолитов Т15, Т10?
16. Какие правила необходимо соблюдать при обращении с теодолитом?
17. Как установить теодолит для измерения углов?
18. В какой последовательности измеряют теодолитом горизонтальный угол способом приемов?
19. Как измеряют горизонтальный угол способом повторений?
20. Назовите основные действия геодезиста при измерении теодолитом вертикального угла.
21. Приведите формулы, по которым вычисляют углы наклона для теодолитов ТТ5 и ТЗ0.
22. Как привести место нуля теодолита ТЗ0 к 0°?
23. Какие виды эккеров применяют для разбивки горизонтальных углов 90°?
24. Какое назначение имеет нитяный дальномер теодолита и как он устроен?

25. По каким формулам вычисляют расстояние, пользуясь нитяным дальномером?

26. Как определить горизонтальное проложение расстояния, измеренного дальномером?

27. В чем принципиальное конструктивное отличие дальномеров двойного изображения от нитяных?

28. Дайте понятие о применении радиодальномеров и светодальномеров.

29. Приведите формулы, по которым определяют расстояния, пользуясь радиодальномером.

## Глава 7

### ПРОИЗВОДСТВО ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

#### § 44. Состав работ по теодолитной съемке. Проложение теодолитных ходов

Теодолитная (угломерная) съемка — это плановая съемка, при которой определяют положение точек земной поверхности на горизонтальной плоскости. В результате теодолитной съемки получают контурный план участка или узкой полосы местности с изображением на нем подробностей, называемых ситуацией, но без обозначения рельефа местности.

На железнодорожном транспорте теодолитную съемку применяют при изыскании и проектировании новых железных дорог, искусственных сооружений, съемках полосы отвода и строительных площадок.

Теодолитная съемка состоит из следующих основных работ: камеральная подготовка материалов; рекогносцировка местности и закрепление опорных точек; полевые измерения; камеральная обработка результатов полевых измерений; составление контурных планов.

Камеральная подготовка включает работы по составлению схем расположения опорных пунктов планового обоснования с указанием их координат. Устанавливают наличие и возможность использования планов и карт крупномасштабных съемок этой местности. На основании анализа собранных материалов составляют проект организации полевых работ по теодолитной съемке.

Рекогносцировка — это осмотр, ознакомление с местностью, подлежащей съемке. При этом назначают места установки точек съемочного обоснования, направление теодолитных ходов, их закрепление.

Полевые работы при прокладке теодолитных ходов.

Теодолитные ходы прокладывают как создание планового обоснования по местности, удобной для измерения. Теодолитные ходы представляют собой ломаные линии (не менее 20 и не более 350 м), проложенные на местности. По точности теодолитные ходы разделяют на два разряда:

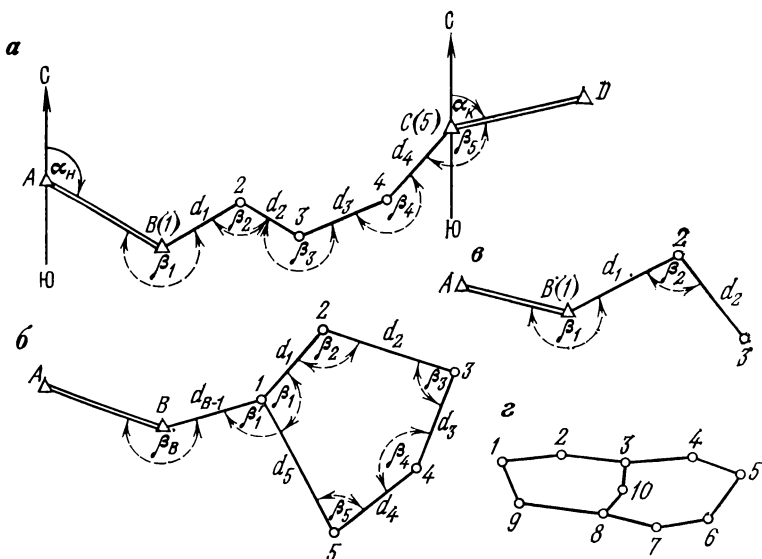


Рис. 56. Виды теодолитных ходов

первый — с относительной ошибкой не более  $1/2000$ ,

второй — с относительной ошибкой не более  $1/1000$ .

Различают следующие виды теодолитных ходов:

Замкнутый ход (рис. 56, б) представляет собой сомкнутый многоугольник (полигон), привязанный обычно к одному из опорных пунктов. Такой ход прокладывают, например, вблизи мостового перехода по границе участка съемки.

Разомкнутый ход (рис. 56, а) прокладывается для съемки вытянутого в одном направлении участка местности (дороги, просеки, линии электропередач). Разомкнутый ход, проложенный по оси железнодорожного пути для съемки полосы отвода, называют магистральным.

Висячий ход (рис. 56, в) примыкает к пункту геодезического обоснования только одним концом. Применяют этот ход для определения положения точек, расположенных в стороне от основного теодолитного хода, или для съемки ситуации. Обычно такой ход не должен иметь более трех-четырех вершин поворота.

Диагональный ход (рис. 56, г) прокладывают для контроля угловых измерений замкнутого хода (полигона) и съемки ситуации внутри него.

Каждую точку поворота (вершину) теодолитного хода закрепляют временными геодезическими точками в виде кольев, металлических труб или гвоздями, вбитыми в пни деревьев. Вершину теодолитного хода намечают так, чтобы над ней было удобно установить теодолит и с нее хорошо просматривалась

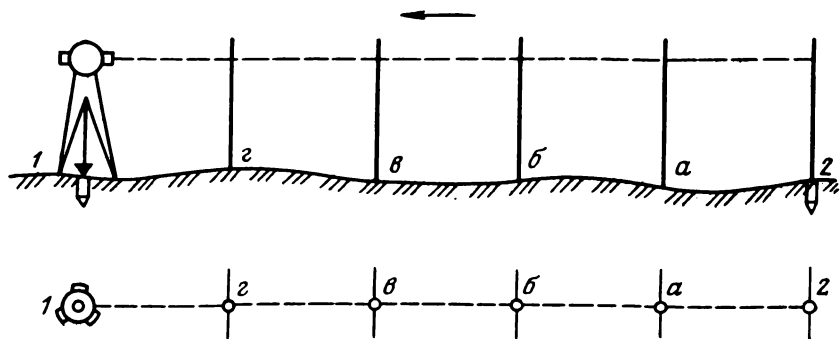


Рис. 57. Схема вешения линии с помощью теодолита

местность, подлежащая съемке. Номера точек пишут на кольях простым карандашом, а на металлических трубах — масляной краской. После этого приступают к угловым и линейным измерениям. В теодолитных ходах обычно измеряют углы, правые по ходу лежащие, способом полных приемов (см. § 37). Съемку замкнутых теодолитных ходов производят способом обхода а. При этом полигон с измерением углов и сторон обходят, начиная с какой-либо точки по направлению движения часовой стрелки. Для этого теодолит центрируют над вершиной измеряемого угла, а в соседних точках теодолитного хода устанавливают вехи. Погрешность при измерении угла теодолитного хода не должна превышать двойную точность отсчетного приспособления теодолита. Результаты измерения горизонтальных углов заносят в журнал измерения углов (см. табл. 4). Длину каждой стороны хода измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Измерение производят землемерной лентой или дальномерами, обеспечивающими заданную точность измерений. Относительная погрешность двух измерений длин сторон хода не должна превышать для средних условий местности 1/2000.

Перед измерением стороны теодолитного хода провешивают теодолитом способом «на себя» (рис. 57). Если измеряемая сторона теодолитного хода имеет угол наклона к горизонту более  $2^\circ$ , его измеряют по вертикальному кругу теодолита эклиметром (§ 21). Зная угол наклона и длину наклонной линии, по таблице поправок за наклон (прил. 1) вычисляют горизонтальное проложение стороны хода. Результаты измерения сторон хода заносят в журнал измерения углов (см. табл. 4).

#### § 45. Привязка теодолитных ходов. Понятие о государственной геодезической сети

Теодолитные ходы, как правило, прокладывают между исходными (опорными) геодезическими пунктами. Координаты  $x$  и  $y$  опорных точек бывают известны, так как они определены

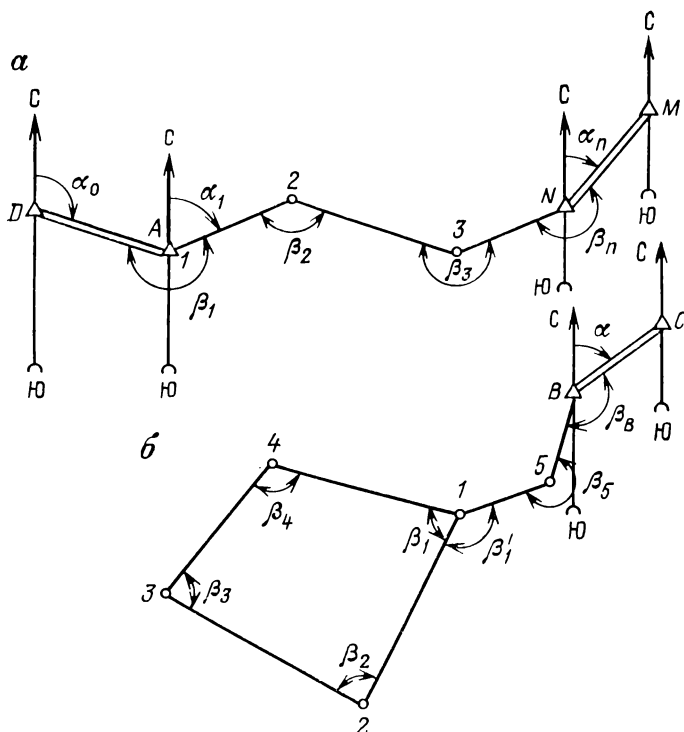


Рис. 58. Схема привязки теодолитных ходов

в общесоюзной системе координат. Плановая привязка теодолитного хода заключается в измерении горизонтальных углов, длин сторон, по которым можно определить координаты вершин теодолитного хода. Для этого достаточно знать координаты  $x$  и  $y$  опорных пунктов и дирекционные углы направлений на эти пункты, к которым произведена привязка теодолитного хода.

При изысканиях железных дорог магистральные теодолитные ходы привязывают к опорным пунктам в начале и в конце хода, а также через 25—30 км на его протяжении. Опорные пункты при этом могут быть удалены от трассы на 3—10 км. Начальная  $A$  и конечная  $M$  точки разомкнутого теодолитного хода являются опорными пунктами геодезической сети (рис. 58,  $a$ ). Дирекционные углы  $\alpha_0$  (линии  $DA$ ) и  $\alpha_n$  (линии  $MM$ ) называют исходными. Углы  $\beta_1$  и  $\beta_n$ , измеренные в точках  $A$  и  $N$ , называют примычными.

Привязка замкнутого теодолитного хода может быть выполнена от двух ( $B, C$ ) или одного пункта  $B$  опорной геодезической сети. При этом от ближайшей точки замкнутого теодолитного хода прокладывают дополнительный (привязочный) теодолитный ход  $1-5-B$  (рис. 58,  $б$ ). Измеряют углы  $\beta'_1, \beta_5, \beta_B$  (в дан-

ном случае правые по ходу лежащие) и длины сторон 1—5, 5—В. Углы  $\beta'_1$  и  $\beta_B$  будут в привязочном теодолитном ходе примычными. По дирекционному углу опорной стороны ВС вычисляют дирекционные углы привязочного и основного (замкнутого) теодолитных ходов. Зная координаты опорного пункта В, по длинам сторон привязочного хода и дирекционным углам вычисляют координаты начальной точки основного теодолитного хода 1—2—3—4.

Если известен только один опорный пункт, например В (см. рис. 58, б), на нем определяют истинный азимут  $\alpha_B$  стороны В—5, по которому вычисляют дирекционный угол стороны В—5. Далее измерения и вычисления ведут аналогично описанному выше способу привязки. Для контроля привязки теодолитного хода к опорным пунктам кроме необходимого числа углов измеряют один-два дополнительных угла. Дважды определенный дирекционный угол на пункты привязки будет являться контролем правильности выполнения привязки.

Для определения положения опорных пунктов, к которым привязываются теодолитные ходы, пользуются единой системой координат и высот. Совокупность прочно закрепленных на местности опорных пунктов с известными координатами  $x$  и  $y$  и высотами  $H$  составляет государственную геодезическую сеть.

Пункты государственной геодезической сети служат основой для всех топографо-геодезических работ, проводимых в нашей стране. Она делится на плановую и высотную.

Государственная плановая геодезическая сеть создается методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии.

Триангуляция — это построенная на местности сеть треугольников, в которых измерены все углы и некоторые из сторон (рис. 59, а).

Трилатерация — геодезическая сеть треугольников, у которых измерены все длины сторон (рис. 59, б).

Полигонометрия — геодезические сети, в которых между геодезическими пунктами прокладывают ходы, в которых измеряют все расстояния и углы (рис. 59, в). Если известны координаты пунктов А, Е, С и дирекционные углы из этих пунктов на стороны опорной сети, определяют координаты всех пунктов полигонометрического хода. При этом координаты пунктов Е и С будут служить для контроля.

Государственную плановую геодезическую сеть делят на 1, 2, 3 и 4 классы. Сеть 1 класса строится рядами триангуляции по направлению меридианов и параллелей (рис. 59, г). При пересечении ряды образуют между собой систему полигонов. Часть ряда называют звеном триангуляции, длина которого 200—250 км. На границе каждого звена имеются выходные стороны 2—3. Периметр полигонов плановых сетей 1 класса равен примерно 800—1000 км.

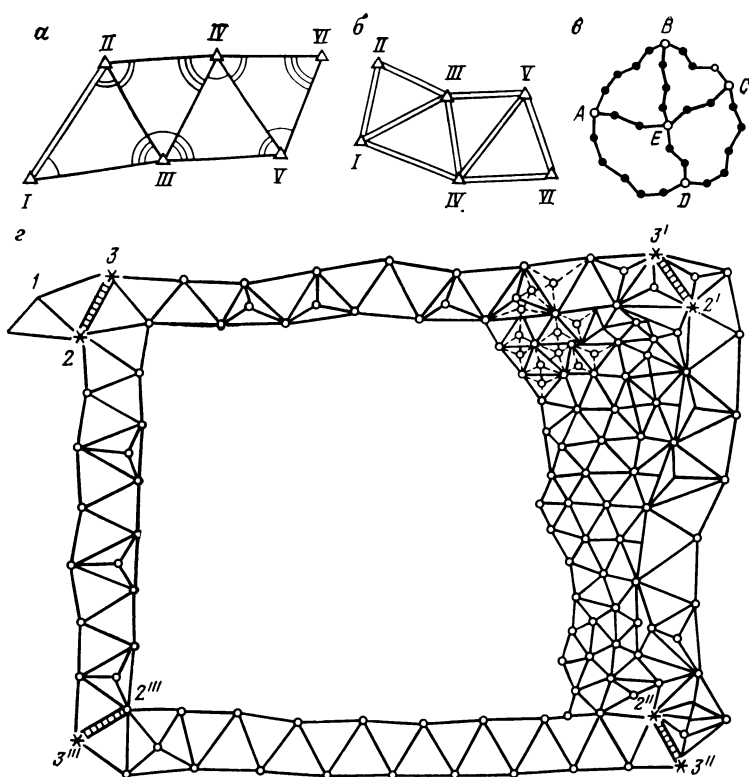


Рис. 59. Виды геодезических сетей

В каждом полигоне 1 класса в виде сплошной сети методом триангуляции, трилатерации или полигонометрии строятся сети 2 класса. Остающиеся площади внутри полигонов 1 и 2 классов заполняются путем сгущения их сетями 3 и 4 классов.

Некоторые показатели государственной геодезической сети приведены в табл. 7.

Место установки пунктов геодезической сети выбирают так, чтобы они равномерно располагались на снимаемой территории,

Таблица 7

| Класс опорной сети | Средняя длина сторон треугольников, км | Средняя квадратическая погрешность измерения угла | Относительная погрешность выходной стороны |
|--------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                  | 20—25                                  | $\pm 0,7''$                                       | 1 : 400 000                                |
| 2                  | 7—20                                   | $\pm 1,0$                                         | 1 : 300 000                                |
| 3                  | 5—8                                    | $\pm 1,5$                                         | 1 : 200 000                                |
| 4                  | 2—5                                    | $\pm 2,0$                                         | 1 : 200 000                                |

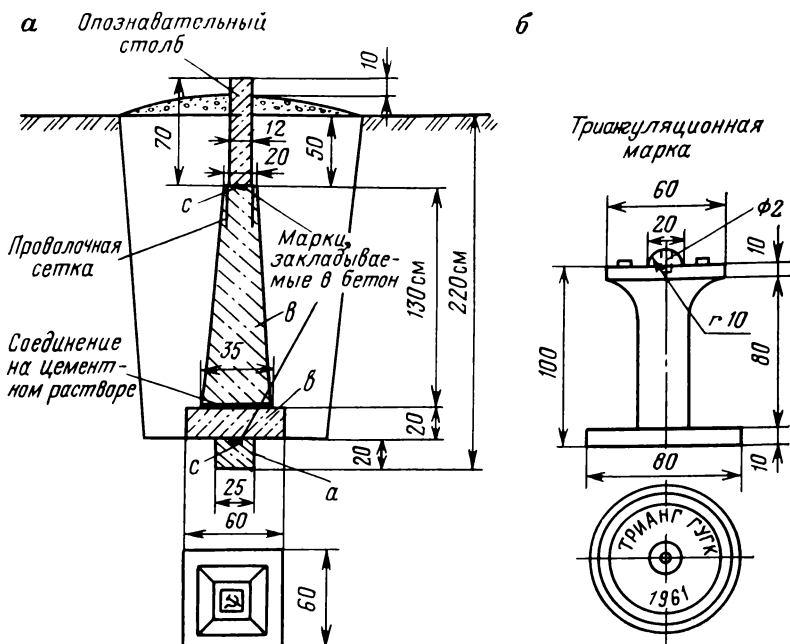


Рис. 60. Центр геодезического пункта

в обжитых районах — один пункт на 20—60 км<sup>2</sup>, в малообжитых — один пункт на 60—200 км<sup>2</sup>. Каждую опорную точку устанавливают так, чтобы с нее было видно не менее трех соседних опорных точек. Все пункты государственной геодезической сети надежно закрепляют закладываемыми в землю центрами. Головка центра выполнена в виде металлической марки (рис. 60, б), заделанной в бетонный монолит. Рядом с центром или над ним ставят опознавательный столб с охранной пластиной (рис. 60, а). Координаты центров заносят в специальные каталоги. Для обеспечения взаимной видимости положения центров над ними устанавливают специальной конструкции геодезические знаки (см. рис. 23). Знаки плановой сети располагают на возвышенностях, вдоль железных или автомобильных дорог, по берегам рек, вблизи населенных пунктов.

Для небольших крупномасштабных съемок (1 : 2000) разрешается в виде планового обоснования применять теодолитные ходы.

## § 46. Способы съемки контуров ситуации. Абрис

Внутри теодолитного хода, проложенного для съемки участка местности, находятся различные по форме элементы ситуации: кустарник, лес, дороги, овраги, постройки, пашня

и другие сельскохозяйственные угодия. Для изображения на плане этих подробностей на местности намечают характерные точки, лежащие на границах и изломах контуров ситуации. Определение положения этих характерных точек относительно линии теодолитного хода и составляет задачу съемки контуров ситуации. В зависимости от формы и характера местности снимаемого участка применяют следующие способы съемки ситуации.

### *Способ обхода*

Этот способ применяют при съемке замкнутого контура обособленных элементов ситуации (лес, постройки, болото, высокий кустарник и т. п.). Границы контура криволинейного очертания заменяют отрезками прямых, получая многоугольник. Внутренние горизонтальные углы полигона измеряют угломерным прибором (теодолитом или гониометром). Длины сторон многоугольника измеряют дальномером или землемерной лентой. Снимаемый полигон должен быть обязательно привязан к основному теодолитному ходу измерением примычных углов  $\beta_n$  и  $\beta_k$  и длины стороны  $d_0$ . По данным измерений строят в подобном виде план снимаемого контура.

### *Способ полярных координат*

Этот способ применяют для определения положения характерных точек ситуации на открытой местности как небольших участков, так и отдельных контуров. Для этого устанавливают теодолит в точке, выбранной полюсом. Например, для съемки контуров луга *CMNFE* за полюс взята точка *З* (рис. 61, а). Из точки *З* измеряют горизонтальные углы  $\gamma_M$ ;  $\gamma_N$ ;  $\gamma_F$  между опорной линией, например *З—4*, и направлениями на характерные точки *М*, *Н*, *Ф*, *Е*. Горизонтальные углы измеряют при одном круге (П или Л). При совмещенных нулевых делениях лимба и алидады наводят трубу на точку *4* теодолитного хода. Затем, открепив алидаду, последовательно визируют трубу на каждую из точек *М*, *Н*, *Ф*, *Е*, получая углы  $\gamma_M$ ;  $\gamma_N$ ;  $\gamma_F$ . Землемерной лентой или дальномером измеряют расстояния  $d_1=68$  м,  $d_2=46$  м,  $d_3=60$  м, представляющие собой радиусы-векторы, направленные из точки *З* (начало полярных координат) до каждой характерной точки снимаемого контура ситуации.

### *Способ перпендикуляров (координат)*

При этом способе положение каждой характерной точки (на рис. 61, б — контуров ручья и дороги) определяется длиной перпендикуляра, опускаемого из характерных точек *а*, *б*, *в*, ... контура на стороны диагонального хода *2—5—4*, и длиной отрезков от точек *2* и *5* до оснований перпендикуляров. Длины отрезков измеряют землемерными лентами или рулетками. Результаты измерений записывают около соответствующих точек на схематическом чертеже, выполняемом в поле. Небольшие по размерам перпендикуляры (до 8—10 м) строят на глаз, при размерах



до 60 м для их построения пользуются эккером (§ 39), а при длинах перпендикуляра более 60 м — теодолитом.

В условно принятой (местной) системе координат измеряемые перпендикуляры — ординаты, а отрезки по стороне теодолитного хода — абсциссы. При этом положение каждой из характерных точек определяют величиной их координат (абсциссы и ординаты).

Применяют рассмотренный способ при съемке вытянутых контуров ситуации (дорог, рек, ручьев, каналов и др.).

### *Способ угловых засечек*

Применим для съемки положения отдельных точек ситуации (столбов, вышек, башен, отдельно стоящих деревьев и т. п.), а также в труднодоступных местах (граница болота, берег реки), исключаящих линейные измерения. Для определения положения, например, точек *A*, *B* и *D* (рис. 61, *в*) из вершин 1 и 2 теодолитного хода измеряют гониометром или теодолитом горизонтальные углы между опорной линией 1—2 и направлениями на эти точки, из точки 1 ( $24^{\circ}00'$ ,  $31^{\circ}00'$ ,  $42^{\circ}00'$ ), из точки 2 ( $26^{\circ}00'$ ,  $28^{\circ}30'$  и  $41^{\circ}00'$ ). Пересечение сторон отложенных на плане углов и определит положение точек *A*, *B* и *D*.

### *Способ линейных засечек*

Такой способ применяют при отсутствии угломерных приборов и если точка, положение которой определяют на местности, сравнительно близко находится от базиса. Положение точки *K* (см. рис. 61, *а*) определено измерением двух расстояний  $d_1 = 18$  м и  $d_2 = 21$  м от двух опорных точек *Q* и *C*. Расстояния (линейные засечки) измеряют рулеткой или землемерной лентой. Аналогично определено положение точки *P* — опоры линии электропередач (ЛЭП).

### *Абрис*

Все размеры при съемке ситуации заносят в схематический чертеж, выполняемый на правой стороне полевого журнала угломерной съемки или в отдельной тетради, который называют абрисом. Абрис выполняют от руки карандашом в произвольном крупном масштабе. Ориентируют абрис по странам света на глаз. В абрис заносят результаты измерения углов, длин линий, записывают названия снимаемых объектов, указывают направления течения рек, ручьев и т. п. Абрис является основным полевым материалом съемки и служит исходным документом для составления плана. Все изображения и записи должны быть четкими, аккуратными и разборчивыми. При съемке больших полигонов абрисы составляют отдельно для одной, двух сторон теодолитного хода. Съемка ситуации при прокладке разомкнутого теодолитного хода (например, трассы железной дороги) проводится в пределах сравнительно узкой полосы (50—100 м). Для определения положения характерных ситуационных точек,

расположенных справа и слева от разомкнутого теодолитного хода, применяют способы: перпендикуляров, засечек и полярных координат. В специальный абрисный журнал (пикетажную книжку, см. § 71) заносят границы сельскохозяйственных угодий, овраги, ручьи, реки, колодцы, дороги, пересекающие трассу, а также линии электропередач или связи. Данные о ситуации, занесенные в специальный абрисный журнал, используют при составлении плана трассы.

## § 47. Определение недоступных расстояний

При разбивке теодолитных ходов на его протяжении встречаются различные препятствия (реки, овраги, каналы и т. п.). Определение расстояний между точками теодолитного хода, пересекающего такие места, невозможно для непосредственного измерения мерными приборами. В этих случаях искомое расстояние называют недоступным и определяют его косвенным путем, способом прямой угловой засечки (рис. 62). На местности, удобной для измерения, от одной из точек (в рассматриваемом примере  $A$ ) недоступного расстояния строят два базиса  $b$  и  $b_1$  разной длины. Базисы разбивают так, чтобы между ними и недоступным отрезком  $AB$  образовались два треугольника с углами не более  $150^\circ$  и не менее  $30^\circ$ . Следует стремиться к тому, чтобы треугольники были равносторонними. Длину базисов измеряют не менее двух раз и при относительной погрешности не более  $1/3000$  определяют среднюю их длину. В точках  $A$ ,  $C_1$  и  $C$  базисов измеряют все углы образовавшихся треугольников  $ABC_1$  и  $ABC$ . Измерение углов производят теодолитом полным приемом с контролем допустимости угловой невязки. По величине двух измеренных углов в каждом треугольнике определяют значения углов  $\gamma$  и  $\gamma_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= 180^\circ - (\alpha + \beta); \\ \gamma_1 &= 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1). \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

Для контроля измеряют теодолитом углы  $\gamma$  и  $\gamma_1$ . Недоступное расстояние  $AB = x$  находят по теореме синусов дважды:

$$x = b \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}; \quad x_1 = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma_1}. \quad (95)$$

Определяют относительную погрешность между двумя найденными значениями

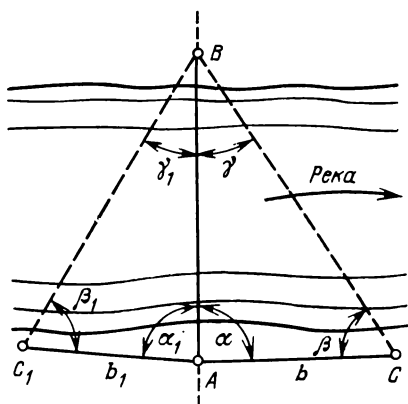


Рис. 62. Схема определения недоступного расстояния

$(x - x_1)/x_{\text{ср}}$  и, если она не превышает допустимую  $1/2000$ , находят среднее значение неприступного расстояния  $AB$ :

$$x_{\text{ср}} = (x + x_1)/2, \quad (96)$$

которое и принимают за окончательное.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие виды ходов применяют при теодолитной съемке?
2. Как привязать теодолитный ход к опорным геодезическим пунктам?
3. Дайте понятие о назначении и видах государственной плановой геодезической сети.
4. В какой последовательности прокладывают замкнутый теодолитный ход на местности?
5. Как снять контуры ситуации местности способом обхода?
6. Как выполнить съемку контуров луга способом полярных координат?
7. В чем заключается способ перпендикуляров при съемке контуров ситуации?
8. Чем отличается способ угловых засечек от способа линейных засечек?
9. Как определить неприступное расстояние при разбивке теодолитных ходов?

## Глава 8

### **ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ**

#### **§ 48. Последовательность обработки. Увязка углов. Вычисление дирекционных углов и румбов теодолитных ходов**

Целью теодолитной съемки является получение плана участка местности по результатам полевых измерений. Вычисление данных для построения планов и построение самих планов входят в состав камеральных работ. Обработка полевых материалов теодолитной съемки выполняется в такой последовательности:

1. Проверяют все записи и вычисления в полевых журналах; при этом повторно вычисляют средние значения всех горизонтальных углов. Вычисляют горизонтальные проложения сторон теодолитного хода с учетом поправки за наклон (при углах наклона более  $2^\circ$ ). Проверенные значения углов и длин линий записывают в графы 2 и 6 (табл. 8) ведомости вычисления координат теодолитного хода.
2. Составляют схематические чертежи теодолитных ходов с указанием на них средних значений углов и горизонтальных проложений сторон (рис. 63, а).
3. Составляют схемы привязок теодолитных ходов к опорным пунктам геодезических сетей (рис. 63, б).
4. Вычисляют координаты вершин теодолитного хода.
5. Составляют план теодолитного хода по координатам.

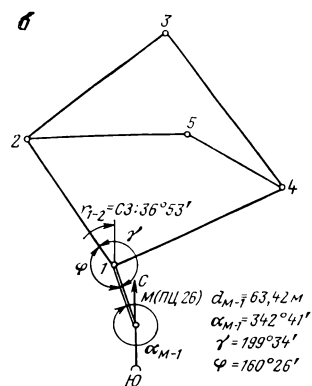
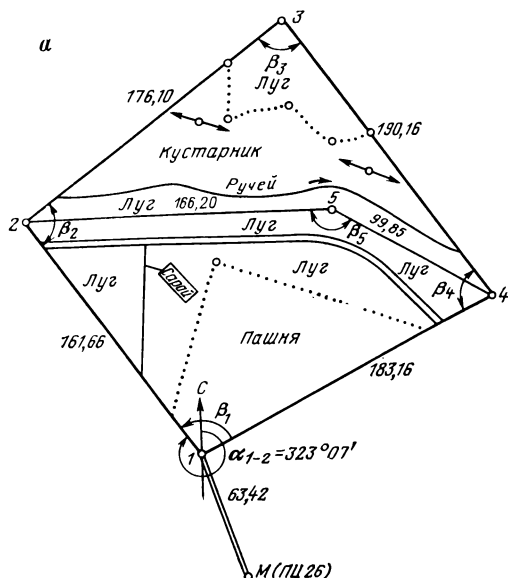


Рис. 63. План теодолитного хода:  
а — схема полигона; б — схема привязки теодолитного хода

### Обработка и увязка углов замкнутого теодолитного хода

Определяют практическую сумму измеренных горизонтальных углов хода  $\Sigma\beta_n$  и сравнивают ее с теоретической суммой, вычисляемой по формуле

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ(n-2), \quad (97)$$

где  $n$  — число сторон теодолитного хода.

Разность между практической и теоретической суммой углов называют угловой невязкой  $f_\beta$ :

$$f_\beta = \Sigma\beta_n - \Sigma\beta_T. \quad (98)$$

Угловая невязка не должна быть более допустимой, определяемой по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} \leq 1,5t\sqrt{n}, \quad (99)$$

где  $t$  — точность отсчетного приспособления теодолита;  $n$  — число углов.

Если угловая невязка меньше или равна допустимой ( $f_\beta \leq f_{\beta_{\text{доп}}}$ ), ее распределяют с обратным знаком по углам, округляя дробные значения до целых минут или прибавляя к углам, образованным короткими сторонами. Значения исправленных углов заносят в графу 3 ведомости координат (см. табл. 8). Сумма исправленных углов должна быть равна теоретической сумме:

$$\Sigma\beta_{\text{испр}} = \Sigma\beta_T. \quad (100)$$

Таблица 8. Ведомость вычисления координат теодолитного хода

| № точек                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Углы измеренные   | Углы исправленные | Дирекционные углы | Румбы       | Горизонтальное проложение сторон, м |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                 | 3                 | 4                 | 5           | 6                                   |
| Привязка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                   |                   |             |                                     |
| ПЦ26<br>1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                   |                   | 342°41'           | СЗ : 17°19' | 63,42                               |
| Замкну                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   |                   |                   |             |                                     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 96°53'            | 96°53'            | 323°07'           | СЗ : 36°53' | 161,66                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 92°02'            | 92°02'            |                   |             |                                     |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 89°44'            | 89°44'            | 51°05'            | СВ : 51°05' | 176,10                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | +0,5'<br>81°20,5' | 81°21'            | 141°21'           | ЮВ : 38°39' | 190,16                              |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                   | 240°00'           | ЮЗ : 60°00' | 183,16                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 359°59,5'         | 360°00'           |                   |             |                                     |
| $\Sigma \beta_n = 359^\circ 59,5'$ ; <span style="float: right;"><math>P = 711,08</math></span><br>$\Sigma \beta_T = 180^\circ (n - 2) = 180^\circ (4 - 2) = 360^\circ$ ;<br>$f_\beta = 359^\circ 59,5' - 360^\circ = -0,5'$ ;<br>$f_{\beta_{\text{доп}}} \leq 1,5t \sqrt{n}$ ; $f_{\beta_{\text{доп}}} = 1,5 \cdot 0,5 \sqrt{4} = 1,5'$ ; $0,5' < 1,5'$ ; |                   |                   |                   |             |                                     |

*Вычисление дирекционных углов и румбов замкнутого теодолитного хода*

По начальному дирекционному углу  $\alpha_{1-2}$  и исправленным внутренним углам вычисляют дирекционные углы всех остальных сторон хода. Подсчет ведут последовательно, включая все исправленные внутренние правые углы хода, по формуле (51):

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2; \\ \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3; \\ &\dots \dots \dots \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n. \end{aligned} \right\} \quad (101)$$

| Приращения координат, м                                                          |                    |                    |                    | Координаты, м                                                                         |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| вычисленные                                                                      |                    | исправленные       |                    | x                                                                                     | y                  |
| $\Delta x$                                                                       | $\Delta y$         | $\Delta x$         | $\Delta y$         |                                                                                       |                    |
| 7                                                                                | 8                  | 9                  | 10                 | 11                                                                                    | 12                 |
| к ПЦ26                                                                           |                    |                    |                    |                                                                                       |                    |
| +60,54                                                                           | −18,87             |                    |                    | +250,00<br>+310,43                                                                    | +630,00<br>+611,13 |
| тый ход                                                                          |                    |                    |                    |                                                                                       |                    |
| +0,03<br>+129,30                                                                 | −0,03<br>−97,02    | +129,33            | −97,05             | +310,54                                                                               | +611,13            |
|                                                                                  |                    |                    |                    | +439,87                                                                               | +514,08            |
| +0,04<br>+110,62                                                                 | −0,03<br>+137,01   | +110,66            | +136,98            | +550,53                                                                               | +651,06            |
| +0,06<br>−148,51                                                                 | −0,05<br>+118,77   | −148,45            | +118,72            | +402,08                                                                               | +769,78            |
| +0,04<br>−91,58                                                                  | −0,03<br>−158,62   | −91,54             | −158,65            | +310,54                                                                               | +611,13            |
|                                                                                  |                    |                    |                    |                                                                                       |                    |
| +239,92<br>+240,09                                                               | +255,78<br>−255,64 | +239,99<br>−239,99 | +255,70<br>−255,70 | $n = \frac{1}{711,08 : 0,22} =$ $= \frac{1}{3232};$ $\frac{1}{3232} < \frac{1}{2000}$ |                    |
|                                                                                  |                    | 0,00               | 0,00               |                                                                                       |                    |
| $f_x = -0,17; f_y = +0,14;$ $f_p = \sqrt{(0,17)^2 + (0,14)^2} = 0,22 \text{ м};$ |                    |                    |                    |                                                                                       |                    |

В рассматриваемом примере:

$$\begin{array}{r}
 \alpha_{1-2} = 323^{\circ}07' \\
 + 180^{\circ} \\
 \hline
 503^{\circ}07' \\
 \beta_2 - 92^{\circ}02' \\
 \hline
 411^{\circ}05' \\
 - 360^{\circ} \\
 \hline
 \alpha_{2-3} = 51^{\circ}05'
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \alpha_{2-3} = 51^{\circ}05' \\
 + 180^{\circ} \\
 \hline
 231^{\circ}05' \\
 \beta_3 - 89^{\circ}44' \\
 \hline
 \alpha_{3-4} = 141^{\circ}21'
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \alpha_{3-4} = 141^\circ 21' & & \alpha_{4-1} = 240^\circ 00' \\
 + 180^\circ & & + 180^\circ \\
 \hline
 321^\circ 21' & & 420^\circ 00' \\
 \beta_4 = 81^\circ 21' & & \beta_1 = 96^\circ 53' \\
 \hline
 \alpha_{4-1} = 240^\circ 00' & & \alpha_{1-2} = 323^\circ 07' \quad (\text{контроль}).
 \end{array}$$

Контролем правильности вычисления дирекционных углов является получение исходного (начального) дирекционного угла. В рассматриваемом полигоне

$$\begin{aligned}
 \alpha_{1-2} &= \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_1; \\
 \alpha_{1-2} &= 240^\circ 00' + 180^\circ - 96^\circ 53' = 323^\circ 07'.
 \end{aligned} \tag{102}$$

При получении дирекционного угла больше  $360^\circ$  вычитают  $360^\circ$ . По найденным дирекционным углам вычисляют румбы сторон замкнутого теодолитного хода.

Формулы для вычисления (см. § 24):

I четверть ( $0^\circ$ — $90^\circ$ )

$$\alpha_{1-2} = 323^\circ 07';$$

II четверть ( $90^\circ$ — $180^\circ$ )

$$r_{2-3} = \alpha_{2-3} = \text{СВ} : 51^\circ 05';$$

III четверть ( $180^\circ$ — $270^\circ$ )

$$\alpha_{3-4} = 141^\circ 21';$$

IV четверть ( $270^\circ$ — $360^\circ$ )

$$r_{4-1} = 240^\circ - 180^\circ = \text{ЮЗ} : 60^\circ 00';$$

$$\alpha_{2-3} = 51^\circ 05';$$

$$\alpha_{4-1} = 240^\circ 00';$$

$$r_{1-2} = 360^\circ - 323^\circ 07' = \text{СЗ} : 36^\circ 53';$$

$$r_{3-4} = 180^\circ - 141^\circ 21' = \text{ЮВ} : 38^\circ 39'.$$

Вычисленные значения дирекционных углов и румбов записываем в графы 4 и 5 ведомости координат (см. табл. 7).

*Вычисление дирекционных углов и румбов разомкнутого теодолитного хода*

Каждый разомкнутый теодолитный ход привязывают в его начальной и конечной точках к сторонам геодезического обоснования. На рис. 58, а разомкнутый ход  $A-2-3-N$  привязан в точках  $A$  и  $N$  к исходным сторонам  $AD$  и  $NM$ ,  $\alpha_0$  — дирекционный угол начальной стороны  $DA$ ,  $\alpha_n$  — конечной стороны  $NM$ . В ходе съемки измерены примычные углы  $\beta_1$  и  $\beta_n$ . Зная начальный дирекционный угол  $\alpha_0$ , определяют по формулам (101) дирекционные углы всех сторон разомкнутого хода

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha_1 &= \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1; \\
 \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2; \\
 &\dots \dots \dots \\
 \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n,
 \end{aligned} \right\} \tag{103}$$

от сложения левых и правых частей равенств получают

$$\alpha_n = \alpha_0 + 180^\circ n - \Sigma \beta, \tag{104}$$

откуда теоретическая сумма углов разомкнутого хода

$$\Sigma \beta_r = \alpha_0 - \alpha_n + 180^\circ n, \tag{105}$$

т. е. теоретическая сумма измеряемых правых углов  $\Sigma\beta_T$  разомкнутого теодолитного хода равна разности дирекционных углов начальной  $\alpha_0$  и конечной  $\alpha_n$  твердых сторон плюс произведение числа измеренных углов хода на  $180^\circ$ . Угловую невязку определяют как разность сумм практических и теоретических углов

$$f_\beta = \Sigma\beta_n - \Sigma\beta_T = \Sigma\beta_n - (\alpha_0 - \alpha_n + 180^\circ n), \quad (106)$$

угловую невязку считают допустимой, если она не превышает

$$f_{\beta_{\text{доп}}} \leq 2t\sqrt{n}, \quad (107)$$

где  $t$  — точность отсчетного приспособления теодолита;  $n$  — число углов разомкнутого хода.

Углы разомкнутого хода увязывают так же, как и углы замкнутого полигона. Дирекционные углы диагонального хода 2—5—4 (см. рис. 63, а), заключенного между сторонами теодолитного хода 2—3 и 4—1, вычисляют по примычным углам  $\alpha_0$  и  $\alpha_n$  и горизонтальным проложением сторон  $d_{2-5}$  и  $d_{5-4}$  по формулам (104), а суммы теоретических углов — по формулам (106).

В рассматриваемом полигоне (см. рис. 63, а) сумма измеренных (практических) углов

$$\Sigma\beta_n = 55^\circ 18' + 151^\circ 44' + 56^\circ 06' = 263^\circ 08';$$

теоретическая сумма

$$\Sigma\beta_T = 323^\circ 07' - 240^\circ 00' + 180^\circ 03' = 623^\circ 07' - 360^\circ = 263^\circ 07';$$

угловая невязка

$$f_\beta = 263^\circ 08' - 263^\circ 07' = 01'.$$

Допустимая невязка

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 2t\sqrt{n} = 2 \cdot 0,5' \sqrt{3} = 1,7';$$

$1' < 1,7'$  — невязка допустима.

Исправленный угол хода

$$\beta_5 = 151^\circ 44' - 01' = 151^\circ 43'.$$

Сумма исправленных углов

$$\Sigma\beta_{\text{испр}} = 55^\circ 18' + 151^\circ 43' + 56^\circ 06' = 263^\circ 07'.$$

Если сумма исправленных углов равна теоретической сумме, увязка выполнена верно. Значения измеренных и исправленных углов заносим в графы 2 и 3 ведомости вычисления координат диагонального хода (табл. 9).

Таблица 9. Ведомость вычисления координат теодолитного хода  
Разомкнутый (диагональный) ход

| № точек                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Углы измеренные | Углы исправленные | Дирекционные углы | Румбы       | Горизонтальное проложение сторон, м | Приращения координат, м                        |                  |              |         | Координаты, м |         |          |  |                   |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------|--------------|---------|---------------|---------|----------|--|-------------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                   |                   |             |                                     | вычисленные                                    |                  | исправленные |         |               |         |          |  |                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                   |                   |             |                                     | Δx                                             | Δy               | Δx           | Δy      | x             | y       |          |  |                   |  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2               | 3                 | 4                 | 5           | 6                                   | 7                                              | 8                | 9            | 10      | 11            | 12      |          |  |                   |  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 55°18'          | 55°18'            | 87°49'            | СВ : 87°49' | 166,20                              | -0,12<br>+6,33                                 | -0,04<br>+166,09 | 6,21         | +166,05 | +439,87       | +514,08 |          |  |                   |  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 151°44'         | 151°43'           | 116°06'           | ЮВ : 63°54' | 99,85                               | -0,07<br>-43,93                                | -0,02<br>+89,67  | +44,00       | +89,65  | +446,08       | +680,13 |          |  |                   |  |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 56°06'          | 56°06'            |                   |             |                                     |                                                |                  |              |         | +402,08       | +769,78 |          |  |                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                   | 240°00            | ЮЗ : 60°00  |                                     |                                                |                  |              |         |               |         |          |  |                   |  |
| $\Sigma \beta_n = 263^{\circ}08'$ ; $\Sigma \beta_{испр} = 263^{\circ}07'$<br>$\Sigma \beta_r = 323^{\circ}07' + 180^{\circ} \cdot 3 - 240^{\circ} = 623^{\circ}07' - 360^{\circ} = 263^{\circ}07'$<br>$f_{\beta} = 263^{\circ}08' - 263^{\circ}07' = +01'$<br>$f_{\beta_{дон}} \leq 2t \sqrt{3} = 1' \cdot 1,7 = 1,7'$ |                 |                   |                   |             |                                     | $P = 266,05$                                   |                  | $-37,60$     |         | $+255,76$     |         | $-37,79$ |  | $+255,70$         |  |
| $\Sigma \Delta x_r = 402,08 - 439,87 = -37,79 \text{ м};$<br>$\Sigma \Delta y_r = 769,78 - 514,08 = +225,70 \text{ м};$<br>$f_x = -37,60 - (-37,79) = +0,19 \text{ м};$<br>$f_y = +255,76 - 255,70 = +0,06 \text{ м}$<br>$f_p = \sqrt{(0,19)^2 + (0,06)^2} = 0,20 \text{ м}$                                            |                 |                   |                   |             |                                     | $n = \frac{1}{266,05 : 0,20} = \frac{1}{1330}$ |                  |              |         |               |         |          |  |                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |                   |                   |             |                                     |                                                |                  |              |         |               |         |          |  | $1/1300 < 1/1000$ |  |

По увязанным углам и дирекционному углу примычной стороны определяют дирекционные углы сторон диагонального хода

$$\begin{array}{r}
 \alpha_0 = \alpha_{1-2} = 323^\circ 07' \\
 \quad \quad \quad + 180^\circ 00' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 503^\circ 07' \\
 \beta_1 - 55^\circ 18' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 447^\circ 49' \\
 \quad \quad \quad - 360^\circ 00' \\
 \hline
 \alpha_{1-5} = 87^\circ 49' \\
 \quad \quad \quad + 180^\circ 00' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 267^\circ 49' \\
 \beta_5 - 151^\circ 43' \\
 \hline
 \alpha_{5-4} = 116^\circ 06' \\
 \quad \quad \quad + 180^\circ 00' \\
 \hline
 \quad \quad \quad 296^\circ 06' \\
 \beta_4 - 56^\circ 06' \\
 \hline
 \alpha_n = \alpha_{4-1} = 240^\circ 00' \quad (\text{контроль}).
 \end{array}$$

Контролем вычислений служит получение дирекционного угла примычной стороны. По найденным значениям дирекционных углов определяют румбы сторон хода.

Значения дирекционных углов и румбов заносят в ведомость координат (см. табл. 9).

#### § 49. Прямоугольные координаты. Прямая геодезическая задача

В геодезии принята система плоских прямоугольных координат (§ 4). За ось  $X$  (абсцисс) принята прямая, совпадающая с направлением меридиана (истинного или магнитного), а за ось  $Y$  (ординат) — линия, перпендикулярная к меридиану. Точка пересечения осей  $O$  является началом координат. Северное направление оси  $X$  и восточное направление оси  $Y$  принимают положительными, а южное направление оси  $X$  и западное направление оси  $Y$  — отрицательными. Координатные оси делят плоскость на четыре четверти, счет которых ведется по направлению часовой стрелки (рис. 64).

Положение любой точки (например,  $A$ ) на плоскости можно определить, зная координаты этой точки  $+x_A$  и  $+y_A$ , которые показывают длину перпендикуляров, опущенных из данной точки  $A$  на координатные оси  $X$  и  $Y$  в соответствующей четверти.

Топографические планы и карты составляют в общегосударственной системе прямоугольных координат. Небольшие участки местности крупномасштабной съемки разрешается изображать на планах в условной (частной) системе координат. Так,

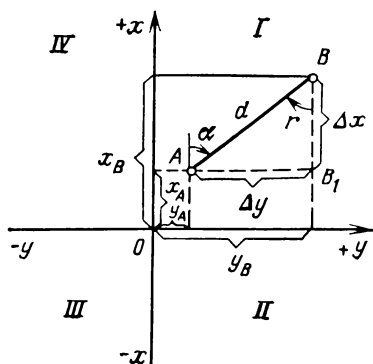


Рис. 64. Прямая геодезическая задача

например, планы железнодорожных станций или снимаемых объектов в пределах этих станций составляют в условной системе координат. За ось  $X$  (абсцисс) принимают ось пассажирского здания станции, а за ось  $Y$  (ординат) — базисный ход, перпендикулярный к оси  $X$ , по оси главного пути.

#### Прямая геодезическая задача

Если известны исходные координаты начальной точки  $A$  отрезка прямой, его горизонтальное проложение  $d$  и дирекционный угол  $\alpha$ , то можно найти координаты конечной точки  $B$  данного отрезка. Определение прямоугольных координат точки  $B$  и составляет прямую геодезическую задачу.

Пусть  $AB=d$  — горизонтальное проложение,  $\alpha$  — дирекционный угол линии  $AB$ . Известны исходные координаты начальной точки  $A$  ( $x_A$  и  $y_A$ ). Требуется найти координаты конечной точки  $B$  стороны теодолитного хода. Из рис. 64 разности прямоугольных координат начала и конца отрезка  $AB$  выражаются так:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_B - x_A; \\ \Delta y &= y_B - y_A, \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

где  $\Delta x = BB_1$  и  $\Delta y = AB_1$  называются приращениями координат. Они являются катетами прямоугольного треугольника  $ABB_1$  и представляют собой проекции отрезка  $AB$  на координатные оси. Из прямоугольного треугольника  $ABB_1$  вычисляют значения  $\Delta x$  и  $\Delta y$ :

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= d \cos \alpha; \\ \Delta y &= d \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (109)$$

При замене дирекционного угла румбом

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= d \cos r; \\ \Delta y &= d \sin r. \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

В зависимости от направления сторон теодолитного хода, которые выражаются названием румба или величиной дирекционного угла, приращения координат имеют знаки, указанные в табл. 10.

Нахождение координат искомой точки  $B$  дает решение прямой геодезической задачи:

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_A + \Delta x; & x_B &= x_A + d \cos r; \\ y_B &= y_A + \Delta y; & y_B &= y_A + d \sin r, \end{aligned} \right\} \quad (111)$$

Таблица 10

| Названия румбов   | СВ    | ЮВ      | ЮЗ       | СЗ       |
|-------------------|-------|---------|----------|----------|
| Дирекционные углы | 0—90° | 90—180° | 180—270° | 270—360° |
| Знак $\Delta x$   | +     | —       | —        | +        |
| Знак $\Delta y$   | +     | +       | —        | —        |

т. е. координаты последующей точки равны координатам предыдущей точки плюс соответствующее приращение координат между этими точками.

## § 50. Вычисление приращений координат теодолитных ходов

### *Замкнутый ход*

Вычисление приращения координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  производят по формулам (109) и (110). При вычислениях приращений координат используют таблицы натуральных значений тригонометрических функций, таблицы для вычисления прямоугольных координат (например, [1]), инженерные микрокалькуляторы «Электроника».

Пример определения приращений координат  $\Delta x_{1-2}$  и  $\Delta y_{1-2}$  для рассматриваемого полигона (см. рис. 63, а, табл. 8):

$$r_{1-2} = \text{СЗ} : 36^\circ 53', \quad d_{1-2} = 161,66 \text{ м};$$

$$\Delta x_{1-2} = d \cos r = 161,66 \cdot \cos 36^\circ 53' = 161,66 \cdot 0,79986 = 129,30 \text{ м};$$

$$\Delta y_{1-2} = d \sin r = 161,66 \cdot \sin 36^\circ 53' = 161,66 \cdot 0,60014 = 97,02 \text{ м}.$$

Контроль вычислений производят по формуле

$$\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} r \quad \text{или} \quad \Delta x = \Delta y \operatorname{ctg} r; \quad (112)$$

$$\Delta y = 129,30 \operatorname{tg} 36^\circ 53' = 129,30 \cdot 0,75037 = 97,02 \text{ м}.$$

Аналогично вычисляют остальные приращения замкнутого хода. В зависимости от названия румба ставят знаки в вычисленные приращения координат:

$$r_{1-2} = \text{СЗ} : 36^\circ 53'; \quad \Delta x_{1-2} = +129,30 \text{ м}; \quad \Delta y_{1-2} = -97,02 \text{ м}.$$

Приращения координат с соответствующими знаками заносят в графы 7 и 8 ведомости вычисления координат (см. табл. 8).

### *Разомкнутый теодолитный ход*

Приращения координат разомкнутого теодолитного хода, как и диагонального, определяют аналогично замкнутому ходу.

В рассматриваемом примере диагонального хода (см. рис. 63, а, табл. 9) приращения координат определяют по данным:

$$d_{2-5} = 116,20 \text{ м}; \quad r_{2-5} = \text{СВ} : 87^\circ 49';$$

$$\Delta x_{2-5} = 116,20 \cdot \cos 87^\circ 49' = 116,20 \cdot 0,03810 = 6,33 \text{ м};$$

$$\Delta y_{2-5} = 116,20 \cdot \sin 87^\circ 49' = 116,20 \cdot 0,99927 = 166,09 \text{ м}.$$

Контроль:

$$\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} r = 6,33 \cdot \operatorname{tg} 87^{\circ}49' = 6,33 \cdot 26,230 = 166,09 \text{ м.}$$

Вычисленные приращения координат с соответствующими знаками записывают в графы 7 и 8 (см. табл. 9).

## § 51. Увязка приращений координат. Вычисление координат теодолитного хода

Если построить проекции сторон замкнутого теодолитного хода на координатные оси, то из рис. 65, а видно, что эти проекции являются приращениями координат. Из них три приращения по оси  $Y$ :  $\Delta y_{1-2}$ ;  $\Delta y_{2-3}$  и  $\Delta y_{3-4}$  имеют положительные знаки, а два других  $\Delta y_{4-5}$  и  $\Delta y_{5-1}$  — отрицательные. Следовательно, алгебраическая сумма положительных приращений на ось  $Y$  (ординат) в замкнутом полигоне равна сумме отрицательных приращений. Такой же вывод можно сделать, просуммировав положительные и отрицательные приращения по оси  $X$ .

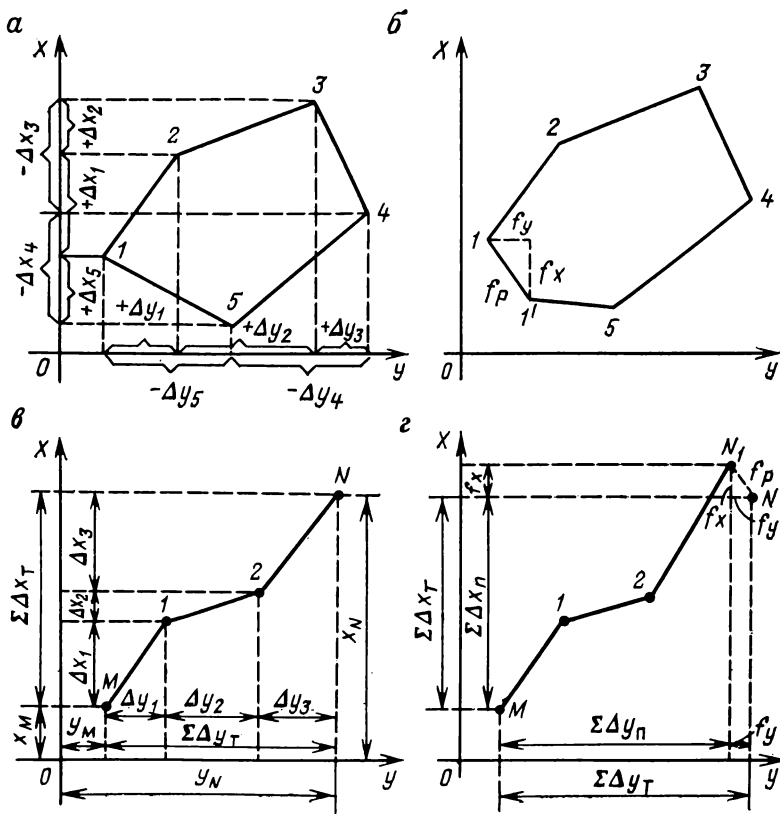


Рис. 65. Невязки в приращениях координат

Отсюда можно сделать вывод, что теоретическая сумма приращений координат замкнутого хода (полигона) отдельно по каждой из осей  $X$  и  $Y$  равна нулю:

$$\Sigma \Delta x = 0; \quad \Sigma \Delta y = 0. \quad (113)$$

Однако вследствие неизбежных погрешностей при измерении углов и длин линий при полевых съемках сумма приращений координат практически равна не нулю, а некоторым величинам  $f_x$  и  $f_y$  — невязкам в приращении координат по осям  $X$  и  $Y$ :

$$\Sigma \Delta x = f_x; \quad \Sigma \Delta y = f_y. \quad (114)$$

Из-за невязок в приращениях координат  $f_x$  и  $f_y$  замкнутый полигон, построенный в системе прямоугольных координат, получается разомкнутым на величину  $1-1' = f_p$ , называемую абсолютной линейной невязкой в периметре полигона. Из рис. 65, б видно, что невязка  $f$ , являющаяся гипотенузой прямоугольного треугольника с катетами  $f_x$  и  $f_y$ , равна

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (115)$$

или

$$f_p = \sqrt{(\Sigma \Delta x)^2 + (\Sigma \Delta y)^2}.$$

Чтобы оценить точность линейных и угловых измерений по теодолитному ходу, вычисляют относительную невязку

$$n = \frac{f}{P} = \frac{1}{P : f}, \quad (116)$$

где  $P$  — периметр полигона.

В рассматриваемом полигоне (см. табл. 8) невязки в приращениях координат:  $f_x = -1,17$  м;  $f_y = +0,14$  м;  $P = 837,92$  м.

Абсолютная невязка

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0,17)^2 + (0,14)^2} = 0,22 \text{ м},$$

относительная невязка

$$n = f_p / P = \frac{1}{P : f_p} = \frac{1}{837,92 : 0,22} = \frac{1}{3809};$$

$1/3809 < 1/2000$  — невязка допустима.

Если относительная невязка не превышает  $1/1000$ — $1/2000$  (в зависимости от условий измерений), ее считают допустимой. При получении относительной невязки более допустимой производят проверку всех записей в полевых журналах и ведомостях вычислений координат. Если ошибка при такой проверке не будет обнаружена, выполняют повторные полевые измерения. При допустимой относительной невязке вычисленные приращения координат исправляют (увязывают). Исправления производят, определяя поправки к приращениям координат по оси

$X$  — на величину  $f_x$ , по оси  $Y$  — на величину  $f_y$ . Поправки вводят в вычисленные приращения пропорционально длинам сторон по формулам

$$\delta\Delta x_n = \frac{f_x}{P} d_n; \quad \delta\Delta y_n = \frac{f_y}{P} d_n, \quad (117)$$

где  $P$  — периметр полигона;  $d$  — длина сторон в сотнях метров.

Значения вычисленных поправок округляют до сантиметров.

**Пример** определения поправок в приращения координат (см. табл. 8):  
 $f_x = -0,17$  м;  $f_y = +0,14$  м;  $P = 837,92$  м;  $d_{1-2} = 161,66$  м.

Поправки в приращения координат на сторону  $1-2$

$$\delta\Delta x_{1-2} = \frac{0,17}{8,4} \cdot 1,6 = 0,032 \approx 0,03 \text{ м};$$

$$\delta\Delta y_{1-2} = \frac{0,14}{8,4} \cdot 1,6 = 0,026 \approx 0,03 \text{ м}.$$

Аналогично определяют поправки к другим сторонам замкнутого теодолитного хода. Контролем правильности вычисления поправок будет выполнение равенств суммы поправок и невязок в приращениях на каждую из осей

$$\Sigma\delta x_n = -f_x; \quad \Sigma\delta y_n = +f_y. \quad (118)$$

Найденные поправки прибавляют к вычисленным приращениям со знаком, обратным знаку невязки, и получают исправленные приращения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{\text{испр}} &= \Delta x + \delta\Delta x; \\ \Delta y_{\text{испр}} &= \Delta y + \delta\Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (119)$$

Сумма исправленных приращений координат в замкнутом полигоне должна быть равна нулю:

$$\Sigma\Delta x_{\text{испр}} = 0; \quad \Sigma\Delta y_{\text{испр}} = 0. \quad (120)$$

Исправленные приращения заносят в графы 9 и 10 (см. табл. 8). По исправленным приращениям от точек с известными координатами последовательно вычисляют координаты вершин теодолитного хода по формулам (111).

Контролем вычислений является получение координат исходной точки  $x_1$  и  $y_1$ .

В рассматриваемом полигоне (см. табл. 8) координаты точек определены из условия, что координаты пункта привязки — ПЦ 26 (полигонометрического центра) даны в местной системе координат.

Вычисленные координаты заносят в графы 11 и 12 ведомости вычисления координат (см. табл. 8).

В разомкнутом теодолитном ходе увязку приращений координат производят в такой последовательности. В тех случаях, когда разомкнутый теодолитный ход проложен между исход-

ными опорными точками, например  $M$  и  $N$  (рис. 65, в) с координатами  $x_M, y_M$  и  $x_N, y_N$ , то теоретическая сумма приращений координат  $\Sigma \Delta x_T, \Sigma \Delta y_T$  равняется разности конечной и начальной опорных точек хода:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma \Delta x_T &= \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = x_N - x_M; \\ \Sigma \Delta y_T &= \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 = y_N - y_M. \end{aligned} \right\} \quad (121)$$

Практически вследствие неизбежных ошибок в измерениях углов и длин сторон хода практические суммы приращений координат не будут равны теоретическим, что приведет к образованию невязок  $f_x$  и  $f_y$  (рис. 65, з):

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta x_n - \Sigma \Delta x_T; \\ f_y &= \Sigma \Delta y_n - \Sigma \Delta y_T. \end{aligned} \right\} \quad (122)$$

Зная невязку в приращениях координат, вычисляют абсолютную линейную невязку

$$f_P = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (123)$$

и относительную невязку

$$n = \frac{f}{P} = \frac{1}{P : f}, \quad (124)$$

где  $P$  — длина разомкнутого хода, опирающегося на опорные точки.

Относительная невязка разомкнутого хода не должна превышать  $1/1000$ . Невязки  $f_x$  и  $f_y$ , если они допустимы, распределяются на все приращения разомкнутого хода со знаком, обратным знаку невязки. Величину каждой из поправок определяют по формулам (117), как в замкнутом полигоне. Исправленные приращения координат хода определяют по формулам (119).

Вычисленные суммы исправленных приращений должны быть равны теоретическим:

$$\Sigma \Delta x_{\text{испр}} = \Sigma \Delta x_T; \quad \Sigma \Delta y_{\text{испр}} = \Sigma \Delta y_T. \quad (125)$$

Значения приращений координат заносят в графы 7, 8, 9, 10 табл. 9.

Пример определения невязок  $f_x$  и  $f_y$  в разомкнутом (диагональном) ходе 2—5—4 (см. табл. 8), опирающемся на точки 2 и 4 теодолитного хода:

$$\begin{array}{lll} x_2 = +439,87 \text{ м}; & x_4 = +402,08 \text{ м}; & \Delta x_{2-5} = +6,33 \text{ м}; \\ & \Delta y_{2-5} = +166,09 \text{ м}; & \\ y_2 = +514,08 \text{ м}; & y_4 = +769,78 \text{ м}; & \Delta x_{5-4} = -43,93 \text{ м}; \\ & \Delta y_{5-4} = +89,67 \text{ м}. & \end{array}$$

Теоретическая сумма приращений координат

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta x_T &= +402,08 - 439,87 = -37,79 \text{ м}; \\ \Sigma \Delta y_T &= +769,78 - 514,08 = +255,70 \text{ м}. \end{aligned}$$

Практическую сумму приращений координат определяют по вычисленным приращениям  $\Delta x$  и  $\Delta y$  каждой из сторон диагонального хода (см. табл. 9):

$$\Sigma \Delta x_{\Pi} = +6,33 - 43,93 = -37,60 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_{\Pi} = +166,09 + 89,67 = +255,76 \text{ м}.$$

Определяют невязки в приращениях координат

$$f_x = \Sigma \Delta x_{\Pi} - \Sigma \Delta x_{\Gamma} = -37,60 - (37,79) = +0,19 \text{ м};$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{\Pi} - \Sigma \Delta y_{\Gamma} = +255,76 - 255,70 = +0,06 \text{ м},$$

абсолютная невязка

$$f_P = \sqrt{(0,19)^2 + (0,06)^2} = 0,20 \text{ м},$$

относительная невязка при  $P=266,05 \text{ м}$

$$n = \frac{1}{266,05 : 0,20} = \frac{1}{1330},$$

$1/1330 < 1/1000$  — невязка допустима.

По увязанным приращениям координат теодолитных ходов от точки с известными координатами вычисляют координаты всех точек хода:

$$\left. \begin{aligned} x_n &= x_{n-1} + \Delta x; \\ y_n &= y_{n-1} + \Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (126)$$

Контролем вычисления при замкнутом полигоне служит получение координат исходной точки, от которой начато вычисление. При разомкнутом ходе, который начинается с исходной точки с известными координатами, контролем является получение координат конечной точки также с известными координатами, которой заканчивается разомкнутый теодолитный ход.

Вычисленные координаты заносят в графы 11 и 12 ведомостей вычисления координат (см. табл. 8, 9).

Все вычисления производят с помощью микрокалькуляторов или электронно-вычислительных машин.

## § 52. Обратная геодезическая задача

Нахождение длины  $d$  и направления  $\alpha$  линии между точками  $A$  и  $B$  по их координатам составляет обратную геодезическую задачу (см. рис. 64). Решение обратной геодезической задачи находит практическое применение. Пусть необходимо проложить участок трассы между точками  $A$  и  $B$  при отсутствии взаимной видимости этих точек из-за каких-либо препятствий на местности (лес, болото, холм и т. п.). Зная координаты точек  $A$  ( $x_A, y_A$ ) и  $B$  ( $x_B, y_B$ ) можно проложить участок трассы заданного направления, вычислив румб и дирекционный угол по формулам (из рис. 64)

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} r &= \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \\ \operatorname{ctg} r &= \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}. \end{aligned} \right\} \quad (127)$$

По знакам приращения координат определяют название румба, а затем вычисляют дирекционный угол  $\alpha$ .

Длину линии  $d$  определяют из прямоугольного треугольника  $AB_1B$  (см. рис. 64):

$$d = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}; \quad (128)$$

$$\left. \begin{aligned} d &= \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{x_B - x_A}{\cos r}; \\ d &= \frac{\Delta y}{\sin r} = \frac{y_B - y_A}{\sin r}. \end{aligned} \right\} \quad (129)$$

#### *Вопросы для самопроверки*

1. В какой последовательности производят увязку измеренных горизонтальных углов замкнутого теодолитного хода?
2. Как вычислить дирекционные углы замкнутого теодолитного хода, если измерены внутренние углы хода и начальный дирекционный угол?
3. По каким формулам вычисляют дирекционные углы и румбы разомкнутого теодолитного хода?
4. Что определяют решением прямой геодезической задачи?
5. Какие знаки ставят в приращении координат в зависимости от названий румбов их сторон?
6. Как пользоваться таблицами для определения приращений координат?
7. По каким формулам определяют абсолютную и относительную невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода?
8. Как распределить невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода?
9. По каким формулам определяют невязки в приращениях координат разомкнутого теодолитного хода?
10. Как вычисляют координаты точек теодолитных ходов?
11. Что определяют решением обратной геодезической задачи?

## Глава 9

### **СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНОВ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ**

#### **§ 53. Составление планов теодолитных ходов по координатам**

По вычисленным румбам и горизонтальным проложениям сторон можно построить теодолитный ход на плане, пользуясь геодезическим транспортиром и масштабной линейкой. Этот способ построения не обеспечивает высокой точности из-за накопления ошибок графических построений. Наиболее приемлем в практике способ построения теодолитных ходов на плане по координатам. Каждую точку теодолитного хода наносят на план независимо от других точек, что совершенно исключает накопление погрешностей графических построений, которые возникают при составлении плана по румбам и горизонтальным проложениям сторон.

Планы выполняют на плотной чертежной бумаге, размеры листов которой определяют в зависимости от заданного масштаба и протяженности теодолитного хода. Протяженность хода по оси  $X$  и по оси  $Y$  равна разности наибольших значений координат в положительном и отрицательном направлениях.

В теодолитном ходе (см. табл. 8) по оси  $X$ :

$x_3 = +550,53$  — наибольшая координата;

$x_{\text{пцзв}} = +250,00$  — наименьшая координата,

по оси  $Y$ :

$y_4 = +769,78$  — наибольшая координата;

$y_2 = +514,08$  — наименьшая координата,

протяженность теодолитного хода:

по оси  $X$   $550,53 - 250,00 = 300,53$  м;

по оси  $Y$   $769,78 - 514,08 = 255,70$  м.

в масштабе 1:1000 протяженность теодолитного хода составит:

по оси  $X$  — 300,5 мм;

по оси  $Y$  — 255,7 мм.

С учетом размещения теодолитного хода, рамок плана, надписей, оставления полей подбирают формат бумаги согласно ГОСТ 2.301—68 (СТ СЭВ 1181—78):

|                         |            |            |            |            |            |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Формат . . . . .        | АО<br>(44) | А1<br>(24) | А2<br>(22) | А3<br>(12) | А4<br>(11) |
| Размеры листа, мм . . . | 1189×841   | 594×841    | 594×420    | 297×420    | 297×210    |

Для построения теодолитного хода в масштабе 1:1000 (см. табл. 8) необходим формат бумаги А2. Составление плана по координатам выполняют в такой последовательности.

### *Построение координатной сетки*

Чтобы нанести на план вершины опорных точек теодолитных ходов, необходимо иметь на бумаге ряд взаимно перпендикулярных линий, которые образуют систему квадратов, называемых координатной сеткой. Стороны квадратов координатной сетки принимают размером 10×10 см. Координатную сетку строят с помощью линейки Дробышева ЛД-1 или ЛБЛ. На линейке ЛД-1 (рис. 66, е) сделано шесть вырезов (окошечек) со скошенными краями на расстоянии 10 см один от другого. На скошенном крае первого выреза справа нанесен нулевой штрих, от которого ведется начало счета линейки. Скошенные края остальных окошечек являются дугами окружностей с центром в точке  $O$  и радиусами 10, 20, 30, 40, 50 см. Скошенный край левого торца линейки вырезан по окружности 70,711 см. Эта величина равна диагонали квадрата со стороной 50 см.

Для рассмотренного выше примера теодолитного хода (см. табл. 8) число квадратов со сторонами 10×10 см по оси  $X$ —4, а по оси  $Y$ —3. Для построения сетки квадратов общим размером 40×30 см прочерчивают линию  $AB$ , отступив от нижнего края листа 4—5 см. Накладывают линейку ЛД-1 так, чтобы она была видна через окошечки линейки, а нулевой штрих пер-

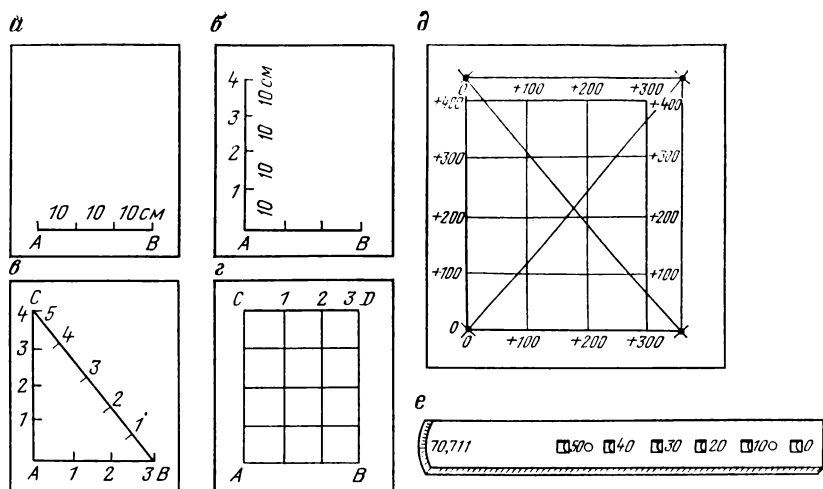


Рис. 66. Построение сетки координат

вого выреза совпал с линией  $AB$  (рис. 66, а). По скошенным краям остальных трех вырезов прочерчивают короткие черточки (дуги) и получают три равных отрезка по 10 см. Повернув линейку примерно на  $90^\circ$  и совместив нулевой штрих с точкой  $A$ , прочерчивают черточки по четырем скошенным краям вырезов (рис. 66, б). Совмещают нулевой штрих линейки с точкой  $B$  и делают засечку по скошенному краю пятого выреза линейки. В пересечении двух дуг получают точку  $C$  (рис. 66, в), которая будет вершиной прямоугольного треугольника  $ABC$ . Построение треугольника  $ABD$  производят аналогично. Соединив точки  $A, B, C$  и  $D$ , а также одноименные точки противоположных сторон прямоугольника, получают сетку квадратов заданного размера  $40 \times 30$  см (рис. 66, г). Для контроля укладывают линейку по диагоналям, например  $AD$  или  $AC$ . Вершины всех пересекаемых квадратов должны располагаться на одной прямой. Отклонения (погрешности) размеров построенных квадратов допускаются не более  $\pm 0,2$  мм.

При отсутствии линеек Дробышева координатную сетку можно построить с помощью масштабной линейки и циркуля-измерителя. Для этого на листе бумаги проводят под острым углом две прямые — диагонали (рис. 66, д). Из точки их пересечения циркулем-измерителем откладывают на диагоналях произвольные, но равные отрезки. Соединяют концы отрезков и получают четыре вершины прямоугольника, на которых откладывают отрезки по 10 см. Соединив прямыми точки на противоположных сторонах прямоугольника, получают сетку квадратов.

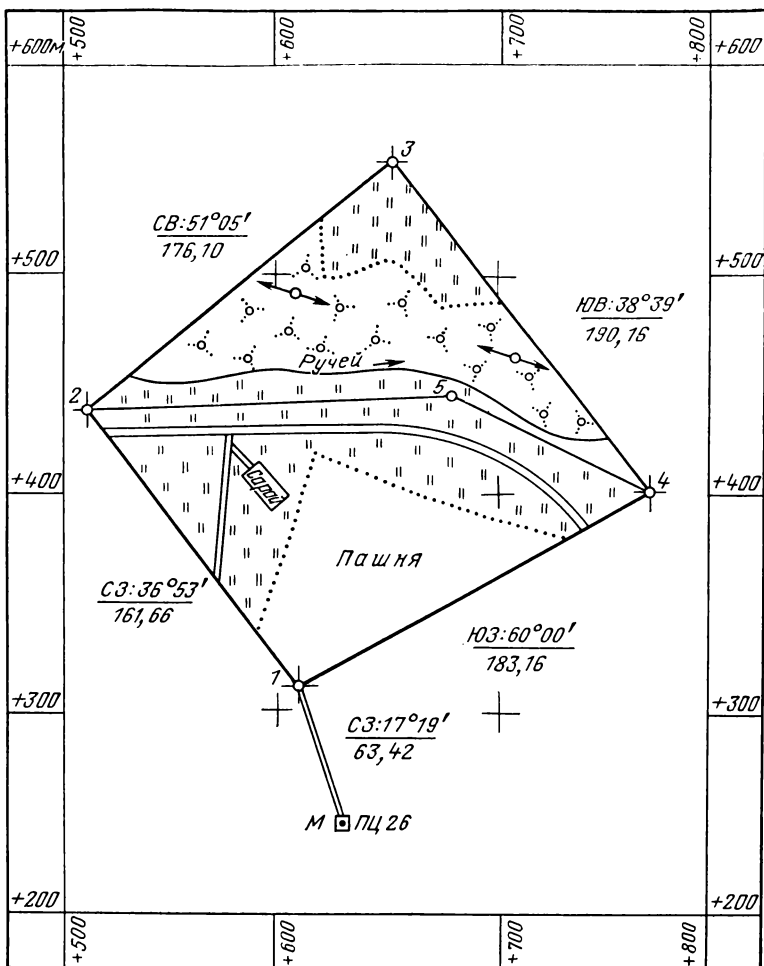


Рис. 67. План полигона

### Построение точек теодолитного хода по координатам

Построение выполняют с помощью масштабной линейки и циркуля-измерителя. Для нанесения на план точки, прежде всего, определяют квадрат, в котором она должна находиться. Например, точка М (ПЦ26) имеет координаты  $x_M = +250,00$  м,  $y_M = +630,00$  м. Из рис. 67 видно, что точка М будет находиться в квадрате с подписанными абсциссами (+200) и (+300) и ординатами (+600) и (+700). Откладывают в заданном масштабе на противоположных сторонах квадрата вверх  $x = +50,0$  м и вправо  $y = +30,00$  м и проводят через эти точки прямые. В пересечении отложенных перпендикулярных

линий будет находиться искомая точка  $M$  (см. рис. 67). Аналогично наносят на план положение остальных точек основного и диагонального ходов по их координатам. Правильность положения нанесенных точек контролируют определением циркулем-измерителем расстояний между ними и сравнением их с горизонтальными проложениями сторон, записанными в графе 6 (см. табл. 8). Допустимая погрешность не должна превышать  $\pm 0,2$  м в масштабе плана. Нанесенные точки обводят кружочками и соединяют прямыми линиями.

## § 54. Нанесение ситуации на план

Контурсы местности (ситуации) наносят на план на основании абрисов (см. рис. 61) и схем теодолитных ходов (см. рис. 63). Построение характерных точек контуров ситуации выполняют теми же способами, которыми они были сняты на местности при составлении абриса. Построения выполняют, применяя масштабную линейку, циркуль-измеритель, транспортир, треугольник. Для построения контуров ситуации, снятых полярным способом (например, луга на рис. 61, *а*), применяют геодезический транспортир, нулевой штрих которого совмещают с точкой, взятой за полюс, например (3), а нулевое деление его — со стороной 3—4, от которой измерены центральные углы. Откладывают по транспортиру углы  $\gamma_M$ ,  $\gamma_N$ ,  $\gamma_F$  и на их сторонах откладывают циркулем-измерителем расстояния, указанные в абрисе от полюса 3 до точек  $M$ ,  $N$ ,  $F$ . Соединив точки  $M$ ,  $N$ ,  $F$ , получают плановое положение контура луга.

Для построения положения точек  $K$  и  $P$  (опор ЛЭП) на плане циркулем-измерителем делают засечки из точек  $C$  и  $Q$  в масштабе 21 и 18 м. Пересечение этих засечек даст положение точки  $K$  (см. рис. 61, *а*). Таким же способом линейных засечек найдено положение точки  $P$ . Положение точек  $A$ ,  $B$  и  $D$  на плане найдено с помощью геодезического транспортира откладыванием углов, величина которых указана в абрисе (см. рис. 61, *в*). Искомые точки  $A$ ,  $B$  и  $D$ , снятые способом угловых засечек, находят на плане на пересечении сторон отложенных углов.

Для нанесения точек, снятых способом перпендикуляров (например, контур ручья на рис. 61, *б*), откладывают на базисе (диагональном ходе 2—5—4) расстояния от точки 2 до оснований перпендикуляров. С помощью треугольника из полученных точек откладывают в масштабе длину перпендикуляров. Соединив их концы, получают очертания контура.

Все вспомогательные построения для получения контуров ситуации выполняют тонкими линиями.

### *Оформление плана*

План полигона, составленный в карандаше, тщательно проверяют, после чего наносят карандашом ситуацию условными

знаками согласно действующим «Условным знакам для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500». Наиболее часто встречающиеся условные знаки приведены в прил. 3.

Вычерчивание плана производят тушью точно по карандашным линиям. Границы водных поверхностей и штрихи болот обводят тушью зеленого цвета, а сами поверхности (реки, озера, пруды) отмывают голубым цветом. Пески обозначают коричневым цветом. Автомагистрали отмывают розовым цветом. Границы угодий показывают пунктирной линией. Все остальные линии и условные знаки выполняют черным цветом. Сетку квадратов не вычерчивают полностью, а вершины квадратов сетки показывают пересечением коротких отрезков  $6 \times 6$  мм. Названия румбов, их величину и горизонтальные проложения сторон пишут против середины каждой стороны. В верхней части плана выполняют надписи, которые содержат название хода, способ ориентирования, дату съемки и другие сведения. Внизу плана строят линейный или поперечный масштаб, штамп. Все вспомогательные карандашные линии удаляют резинкой. План полигона, построенный по координатам, приведен на рис. 67.

## § 55. Способы вычисления площадей

Для решения практических задач, связанных с проектированием железных дорог и отдельных сооружений на них, необходимо знать площади отдельных участков земной поверхности. Так, на планах определяют величину водосборной площади при расчете отверстий труб или малых мостов. В зависимости от формы и размеров участка местности, изображенного на плане требуемой точности, площадь его может быть вычислена графическим, аналитическим и механическим способами.

### *Графический способ*

Графический способ заключается в том, что полигон, изображенный на плане, делят на простые геометрические фигуры — треугольники. Измеряют основание  $a$  и высоту  $h$  каждого треугольника и по масштабу плана определяют их величину на местности (рис. 68,  $a$ ). Площадь каждого треугольника определяют по формуле

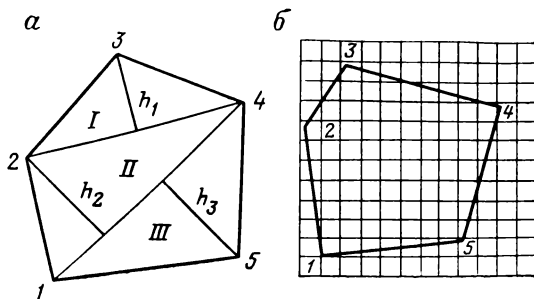
$$S_{\Delta} = 0,5ah. \quad (130)$$

Практически площадь каждого треугольника измеряют дважды, но по разным основаниям и высоте. Из двух результатов вычисления площадей  $S'_{\Delta}$  и  $S''_{\Delta}$  за окончательное значение принимают среднее арифметическое

$$S_{\text{ср}} = (S'_{\Delta} + S''_{\Delta})/2. \quad (131)$$

Рис. 68. Схемы определения площади полигонов:

а — графический способ;  
б — палеткой



Площадь полигона (многоугольника) определяют как сумму площадей всех треугольников, его составляющих,

$$S_{\text{пол}} = \sum_1^n S_{\Delta}. \quad (132)$$

Погрешность вычисления площадей полигонов зависит от точности полевых измерений, по которым составлен план, и от его масштаба. Чем мельче масштаб плана, тем величина погрешностей, допускаемых при вычислении площадей, будет больше.

Допустимую погрешность в определении площадей вычисляют по формуле проф. А. В. Маслова:

$$\Delta S = 0,01M\sqrt{S}/10\,000, \quad (133)$$

где  $M$  — знаменатель масштаба;  $S$  — площадь полигона (в га).

Для контроля полигон вторично разбивают на треугольники, но в другом их сочетании. Если полученная разность величин площадей полигона не превышает допустимую, за окончательный результат принимают среднее арифметическое двух значений.

#### *Определение площади палеткой*

Палетка — это сетка квадратов, нанесенная на прозрачном материале (кальке, целлулоиде, стекле и т. п.). Стороны квадратов палетки равны 1—2 мм. Для определения площади палетку накладывают на полигон или контур плана и подсчитывают число квадратов, находящихся внутри контура (рис. 68, б). Из неполных квадратов на глаз составляют целые. На квадратной палетке выделяют сантиметровые квадраты для облегчения подсчета.

Площадь контура определяется по формуле

$$S = nS_{\square}. \quad (134)$$

Например, при стороне квадрата, равной 2 мм, число квадратов внутри контура составило  $n=152$ . Масштаб 1:1000. Площадь одного квадрата  $S_{\square}$  со стороной 2 мм масштаба

Таблица 11

| Размер<br>стороны<br>квадрата | Площадь квадрата в м <sup>2</sup> при масштабе плана |          |          |          |            |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|------------|
|                               | 1 : 500                                              | 1 : 1000 | 1 : 2000 | 1 : 5000 | 1 : 10 000 |
| 1 см                          | 25                                                   | 100      | 400      | 2500     | 10 000     |
| 2 мм                          | 1                                                    | 4        | 16       | 100      | 400        |
| 1 мм                          | 0,25                                                 | 1        | 4        | 25       | 100        |

1 : 1000 равна 4 м<sup>2</sup>. Площадь полигона, в котором заключены 152 квадрата, равна

$$S = nS_{\square} = 152 \cdot 4 = 608 \text{ м}^2.$$

Для облегчения подсчетов площадей палеткой в табл. 11 приведены площади квадратов со сторонами 1 см, 2 мм, 1 мм, выраженные в квадратных метрах, в зависимости от масштаба плана.

Погрешность определения площади  $S$  (в га) с помощью палетки не должна превышать (по данным проф. А. В. Маслова)

$$\Delta S = 0,025M \sqrt{S}/10\,000. \quad (135)$$

*Аналитический способ вычисления площади полигона по координатам его вершин*

Площадь полигона с вершинами 1, 2, 3, ...,  $n$ , обозначенными по ходу часовой стрелки, и с координатами этих вершин  $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; \dots; x_n, y_n$  определяют по формулам

$$\left. \begin{aligned} S &= 0,5 \sum x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); \\ S &= 0,5 \sum y_i (x_{i-1} - x_{i+1}), \end{aligned} \right\} \quad (136)$$

где  $i$  принимает значения от 1 до  $n$ ;  $n$  — число вершин полигона.

Пример. Определить площадь полигона, координаты четырех вершин которого приведены в ведомости координат (см. табл. 8). При четырех вершинах полигона  $i$  принимает значения от 1 до 4. Последовательно находят значения разности ординат двух соседних точек:

$$i = 1, \quad y_{i+1} - y_{i-1} = y_2 - y_4 = +514,08 - (+769,78) = -255,70;$$

$$i = 2, \quad y_3 - y_1 = +651,06 - (+611,13) = +39,93;$$

$$i = 3, \quad y_4 - y_2 = +769,78 - (+514,08) = +255,70;$$

$$i = 4, \quad y_1 - y_3 = +611,13 - (+651,06) = -39,93.$$

Аналогично находят разности абсцисс двух соседних вершин полигона:

$$i = 1, \quad x_{i-1} - x_{i+1} = x_4 - x_2 = +402,08 - (+439,87) = -37,79;$$

$$i = 2, \quad x_1 - x_3 = +310,54 - (+550,53) = -239,99;$$

$$i = 3, \quad x_2 - x_4 = +439,87 - (+402,08) = +37,79;$$

$$i = 4, \quad x_3 - x_1 = +550,53 - (+310,54) = +239,99.$$

Контролем правильности вычислений служит алгебраическая сумма разностей координат, которая должна быть равна нулю:

$$\Sigma (y_{i+1} - y_{i-1}) = +295,63 - 295,63 = 0;$$

$$\Sigma (x_{i-1} - x_{i+1}) = -277,78 - 277,78 = 0.$$

Затем находят произведения абсцисс на разность ординат двух соседних вершин, придавая  $i$  значения от 1 до  $n$  (в рассматриваемом примере  $n$  от 1 до 4):

$$i = 1, \quad x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) = +310,54 (-255,70) = -79\,405,1$$

и так до значения  $i = 4$ .

Аналогично находят произведения ординат на разность двух соседних вершин при  $i$ , равном от 1 до  $n$ :

$$i = 1, \quad y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) = +611,13 \cdot (-37,79) = -23\,094,6$$

и так до значения  $i = 4$ .

Результаты всех вычислений заносят в ведомость вычисления площади полигона по координатам его вершин (табл. 12).

Площадь полигона 1—2—3—4 по найденным значениям формулы (136) приведена в табл. 11:

$$S = 0,5 (-79\,405,1 + 17\,564,0 + 140\,770,5 - 16\,055,0) = \\ = 0,5 \cdot 62\,874,40 = 31\,437 \text{ м}^2 = 3,14 \text{ га}.$$

Рассмотренный аналитический способ вычисления площадей наиболее точный, так как погрешность зависит только от ошибок полевых измерений на местности. Приблизительно принимают, что относительная погрешность определения площади

**Таблица 12. Ведомость вычисления площади полигона по координатам его вершин**

| № вершин | Координаты, м |         |                     |                     |                                   |                           |
|----------|---------------|---------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|
|          | $x_i$         | $y_i$   | $y_{i+1} - y_{i-1}$ | $x_{i-1} - x_{i+1}$ | $x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$         | $y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$ |
| 1        | +310,54       | +611,13 | -255,70             | -37,79              | -79 405,1                         | -23 094,6                 |
| 2        | +439,87       | +514,08 | +39,93              | -239,99             | +17 564,0                         | -123 374,0                |
| 3        | +550,53       | +651,06 | +255,70             | +37,79              | +140 770,5                        | +24 603,5                 |
| 4        | +402,08       | +769,78 | -39,93              | +239,99             | -16 055,0                         | +184 739,5                |
|          |               |         | +295,63             | -277,78             | 62 874,40                         | 62 874,40                 |
|          |               |         | -295,63             | +277,78             | $S = 31\,437,2 = 3,14 \text{ га}$ |                           |
|          |               |         | 0,00                | 0,00                |                                   |                           |

равна удвоенной относительной погрешности измерения линий. Для средних условий измерения линий землемерной лентой относительная ошибка не превышает  $1/2000$ . Отсюда принимают, что допустимая погрешность вычисления площади аналитическим способом не превышает  $1/1000$ . Все вычисления площади по координатам вершин производят с помощью микрокалькуляторов или других счетных машин.

### *Механический способ определения площади*

При этом способе площади полигонов на планах и картах определяют с помощью специальных приборов, называемых планиметрами.

Достоинством этого способа следует считать его сравнительную несложность применения и возможность определять площади криволинейных контуров любых очертаний. Поэтому механический способ широко применяется в процессе изысканий и проектирования железных дорог, инженерных сооружений.

Наибольшее распространение получил полярный планиметр ПП и его усовершенствованные конструкции.

### **§ 56. Полярный планиметр, его устройство, проверки**

Полярный планиметр ПП (рис. 69, а) состоит из полюсного  $R_1$  и обводного  $R$  рычагов и каретки со счетным механизмом  $A$ . На одном конце полюсного рычага укреплен груз  $P$  с иглой, которая является полюсом планиметра, а на другом конце — вертикальный стерженец  $b$  с шаровой головкой. Полюсный рычаг соединяется с обводным шаровым шарниром. Обводный рычаг имеет на конце обводную иглу  $f$ , опорный штифт  $F$  и ручку для обводки  $K$ . На другом конце обводного рычага расположена каретка со счетным механизмом. Каретка может передвигаться по обводному рычагу винтом  $m$ .

Установку каретки на обводном рычаге, который имеет шкалу, производят по нониусу  $A$  (рис. 69, б). Счетный механизм планиметра состоит из горизонтального циферблата  $Z$  и вертикального оцифрованного колесика  $M$ , которые соединены между собой червячной передачей. Каретка закрепляется на обводном рычаге винтом  $d$ . При работе каретка опирается на вращающийся ролик  $C$  и вертикальное колесико  $M$ . Счетное (вертикальное) колесико имеет реборду, на которую опирается и вращается от трения о бумагу. Регулируется плавность вращения счетного колесика винтами  $V_1$  и  $V_2$ .

Через червячную передачу вращение счетного колесика передается горизонтальному колесику (циферблату). Циферблат, разделенный на 10 равных частей, отмечает полный оборот вертикального счетного колесика. Цилиндрическая поверхность вертикального счетного колесика разделена на 100 частей, с оцифровкой через 10. Верньер  $N$  позволяет отсчитывать

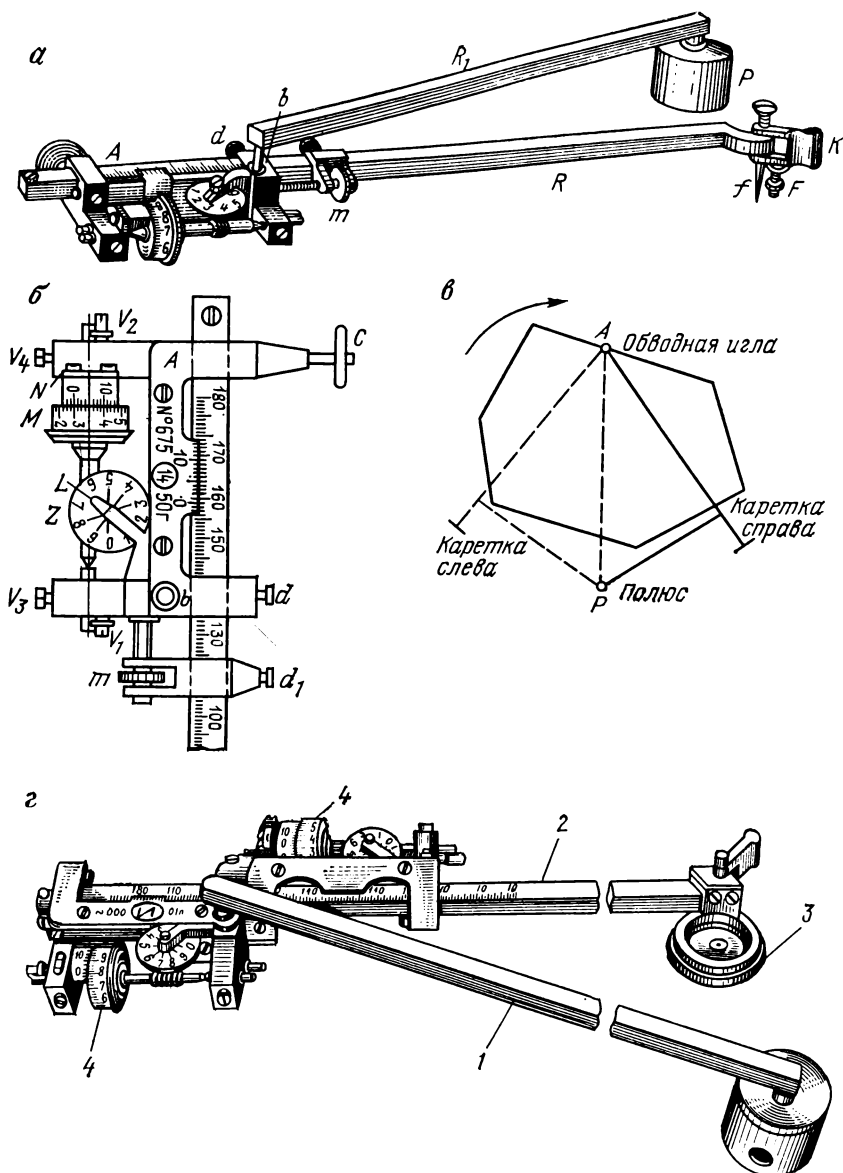


Рис. 69. Полярные планиметры:

*a* — планиметр ПП; *б* — каретка полярного планиметра; *в* — проверка планиметра; *г* — двухкареточный планиметр ПП-2К; *1* — полюсный рычаг; *2* — обводный рычаг; *3* — обводная лупа; *4* — счетное колесо

десятичные доли делений счетного колесика *М*. Зазор между верньером и счетным колесиком регулируется винтами.

Отсчет по планиметру состоит из четырех цифр. Первая цифра (6) берется по указателю *L* (номер младшего штриха циферблата, прошедшего указатель). Вторая цифра (3) берется по нулевому штриху верньера (младшая цифра штриха, прошедшего нулевое деление верньера). Третья цифра (0) берется по нулевому штриху верньера (младший штрих счетного колеса). Четвертая цифра (0) берется по совпадающему штриху верньера со штрихом счетного колесика. Отсчет по планиметру на рис. 69, б — 6300.

Кроме рассмотренного применяют более точный двухкаре-точный планиметр ПП-24 (рис. 69, г), разработанный кафедрой геодезии Московского института землеустройства (МИИЗ). Этот планиметр имеет две каретки со счетными механизмами 4. Вместо обводной иглы планиметр ПП-2К на обводном рычаге 2 имеет обводную лупу 3 с нанесенной точкой (визиром). Это устройство позволяет более точно, чем иглой, производить обводку контура полигона.

Однокареточный полярный планиметр ПП-М представляет модернизированную модель ранее выпускавшегося планиметра ПП. Счетный механизм и каретка планиметра ПП-М снабжены лупой, что облегчает производство отсчетов и установку каретки на обводном рычаге. Игла обводного рычага заменена также обводной лупой с визиром.

### *Поверки планиметра*

Перед началом работы планиметром выполняют следующие основные проверки:

1. Счетное колесико должно свободно и без колебаний вращаться в подшипниках горизонтальной оси.

2. Между вертикальным колесиком и верньером зазор должен быть минимальным. Регулировку хода оси вертикального счетного колесика выполняют вращением винтов  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$  (см. рис. 69, б), а установление требуемого зазора между верньером и счетным колесиком достигают вращением винтов  $N$ .

3. Ось счетного колесика должна быть параллельна оси обводного рычага.

Для проверки этого условия какой-либо контур на плане обводится два раза: при расположении счетного механизма справа и слева относительно линии *РА*, которая соединяет полюс планиметра *Р* с обводным шпилем *А* (рис. 69, в).

Если расхождения, полученные в определении площадей не превышают  $1/200$  среднего их значения, условие выполнено.

4. Разность отсчетов двух обводов одного и того же контура не должна отличаться более чем на два деления.

## § 57. Определение площадей планиметром

Перед работой планиметр должен быть поверен. План или карту разглаживают так, чтобы на них не было неровностей и следов складок, и прикрепляют кнопками к чертежной доске. Планиметр устанавливают на плане так, чтобы полюс был закреплен вне обводимого контура, а иглу (визир) обводного рычага помещают над какой-либо точкой контура. Производят пробный обвод, передвигая точку обводного устройства (визир или иглу) по направлению часовой стрелки, заканчивают обвод в той же точке, в которой начинали. При пробном обводе наблюдают, чтобы полюсный и обводный рычаги не составляли углы менее  $30^\circ$  и более  $150^\circ$ , при которых планиметр работает неустойчиво. Лучшее положение рычагов планиметра — близкое к  $90^\circ$ . Выбрав правильное положение полюса и совместив точку обводного устройства с начальной точкой контура, берут по счетному механизму отсчет до обводки  $n_1$ . Перемещают точку обводного устройства по контуру фигуры по часовой стрелке и, остановившись в начальной точке, берут отсчет после обводки  $n_2$ . Обводку ведут плавно, не допуская отклонения точки обводного устройства от контурной линии.

Площадь обведенной фигуры  $S$ , выраженную в гектарах или квадратных метрах, определяют по формуле

$$S = p_s (n_2 - n_1), \quad (137)$$

где  $p_s$  — цена деления планиметра в га или  $m^2$ . Для уменьшения погрешности в определении площади каждую фигуру обводят дважды. Разность отсчетов при этом не должна отличаться более чем на 2—5 делений в зависимости от величины площади обводимой фигуры.

**Пример.** Определить площадь полигона (см. табл. 8), вычерченного в масштабе 1:1000, если цена деления планиметра  $p_s = 0,001$  га.

| 1-й обвод          | 2-й обвод          |
|--------------------|--------------------|
| $n_2 = 9441$       | $n_2 = 4759$       |
| $n_1 = 6297$       | $n_1 = 1617$       |
| <hr/>              | <hr/>              |
| $n_2 - n_1 = 3144$ | $n_2 - n_1 = 3142$ |

Среднее значение разностей отсчетов

$$(n_2 - n_1)_{\text{ср}} = (3144 + 3142)/2 = 3143.$$

Площадь полигона

$$S = p_s (n_2 - n_1)_{\text{ср}},$$

$$S = 0,001 \cdot 3143 = 3,143 \text{ га}.$$

Большие по размерам полигоны разбивают на несколько малых. Площадь каждой части определяют отдельно. При этом ставят полюс вне контура каждой обводимой части.

Таблица 13

| Название контура    | 1-й счетный механизм |                   | 2-й счетный механизм |                   | Средняя разность | Цена деления $P_3$ , га | Площадь, га |
|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------------|-------------|
|                     | отсчеты              | разность отсчетов | отсчеты              | разность отсчетов |                  |                         |             |
| Водосборная площадь | 8739                 | 4206              | 5092                 | 4204              | 4205             | 0,001                   | 4,205       |
|                     | 4533                 |                   | 0888                 |                   |                  |                         |             |

Если полюс располагают внутри полигона, его площадь определяют по формуле

$$S = p_S (n_2 - n_1) + Q, \quad (138)$$

где  $Q$  — постоянное число планиметра, определяемое опытным путем.

Особенностью работы с планиметром ПП-2К, имеющим две каретки со счетными механизмами, является то, что отсчеты берут по каждому счетному механизму отдельно. Разность отсчетов не должна отличаться более чем на два деления. Это позволяет ускорить работу по определению площадей и повысить ее точность.

Отсчеты записывают по форме, приведенной в табл. 13. Погрешность в определении площадей планиметрами зависит от формы и размеров обводимых фигур, цены деления планиметра, качества бумаги, на которой выполнен план, и характеризуется относительными ошибками 1/200—1/400.

Следует помнить, что определять площади узких вытянутых фигур, занятых дорогами, ручьями, каналами, планиметром нельзя. Такие вытянутые площади определяют геометрическим способом, как площади прямоугольников. Длину контуров определяют циркулем-измерителем по масштабу, а ширину берут по результатам полевых измерений в журналах и абрисах.

## § 58. Определение цены деления планиметра

Цена деления планиметра  $p_S$  есть площадь, соответствующая одному делению планиметра, которую определяют из формулы (137),

$$p_S = S / (n_2 - n_1). \quad (139)$$

Если в эту формулу поставить величину площади  $S$  на плане, выраженную в см<sup>2</sup> или мм<sup>2</sup>, то будет найдено абсолютное значение цены деления планиметра. Относительная цена деления планиметра — это площадь  $S$  в натуре, выраженная (с учетом масштаба) в га или м<sup>2</sup>, соответствующая одному делению

лению планиметра. При работе с планиметром пользуются от-носительным значением цены деления планиметра, которая в дальнейшем будет называться ценой деления. Цена деления планиметра зависит от масштаба плана и длины обводного рычага (положения каретки со счетным механизмом на нем). Для определения цены деления  $p_s$  обводят планиметром несколько раз один из квадратов координатной сетки со стороной 10 см. Если в комплекте есть контрольная линейка с иглой, то обводят несколько раз круг площадью 99 см<sup>2</sup>. Обводку производят при положении полюса вне фигуры. Площади квадрата или круга вычисляют по масштабу в га или м<sup>2</sup> и после вычисления по формуле (139) получают цену деления также в га или м<sup>2</sup>.

Пример. Определить цену деления планиметра при длине рычага  $R=183,9$  мм, если при обводке квадрата  $10 \times 10$  см, вычерченного в масштабе 1 : 5000, получилась следующая разность отсчетов:

| 1-й обвод          | 2-й обвод          |
|--------------------|--------------------|
| $n_2 = 5273$       | $n_2 = 8066$       |
| $n_1 = 4177$       | $n_1 = 6972$       |
| <hr/>              | <hr/>              |
| $n_2 - n_1 = 1096$ | $n_2 - n_1 = 1094$ |

Средняя разность отсчетов при двух обводах

$$(n_2 - n_1)_{\text{ср}} = (1096 + 1094)/2 = 1095.$$

Площадь квадрата  $10 \times 10$  см в натуре с учетом масштаба 1 : 5000

$$S = 250\,000 \text{ м}^2 = 25 \text{ га}.$$

Среднее значение цены деления планиметра из формулы (139)

$$p_s = 25/1095 = 0,0228 \text{ га}.$$

Для удобства работы с планиметром необходимо изменить длину обводного рычага так, чтобы цена деления планиметра выражалась близким к полученному, но круглым числом, например  $p_s' = 0,025$  га. Длину обводного рычага  $R'$ , соответствующую удобной для вычислений цене деления  $p_s'$ , находят по формуле

$$R' = \frac{p_s'}{p_s} R. \quad (140)$$

В рассматриваемом примере  $R=183,9$  мм;  $p_s=0,0228$  га;  $p_s'=0,025$  га;

$$R' = \frac{0,025}{0,0228} \cdot 183,9 = 201,6 \text{ мм}.$$

Для установки необходимой длины рычага  $R'$ , ослабив закрепительные винты каретки, перемещают ее, достигая вычисленного отсчета по нониусу (в рассмотренном примере — 201,6 мм).

### *Вопросы для самопроверки*

1. Как построить координатную сетку?
2. В какой последовательности выполняют построение теодолитного хода по координатам?
3. Какие материалы полевых съемок используют при нанесении ситуации на план?
4. В чем заключается графический способ определения площадей на планах?
5. Как определить площадь участка плана палеткой?
6. Приведите формулы для вычисления площади полигона аналитическим способом.
7. Дайте характеристику механического способа определения площадей на планах.
8. Какие основные части полярного планиметра?
9. Как произвести отсчет по планиметру?
10. Каким условиям должен удовлетворять планиметр при выполнении его проверок?
11. В какой последовательности и по каким формулам определяют площадь на плане полярным планиметром?
12. С какой точностью определяют площади на планах, пользуясь различными способами?
13. Как определяют цену деления полярного планиметра?

## Глава 10

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НИВЕЛИРОВАНИИ

#### § 59. Понятие о нивелировании. Виды нивелирования

Нивелирование — это геодезические измерения, выполняемые на местности для определения превышений одних точек над другими. Зная превышения, определяют высоты (отметки) точек относительно принятой исходной поверхности. Нивелирование позволяет определить взаимное положение отдельных точек земной поверхности в вертикальной плоскости, что даст представление о рельефе местности. Нивелирование выполняют при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации железных и автомобильных дорог, искусственных и других видов инженерных сооружений (зданий, плотин, каналов, трубопроводов, линий электропередач, связи и др.).

В зависимости от применяемых приборов и методов различают нивелирование геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, механическое, гидростатическое, радиолокационное, стереофотограмметрическое.

Геометрическое нивелирование выполняют при горизонтальном луче визирования, применяя нивелир и нивелирные рейки. Отличаясь сравнительной простотой, позволяет наиболее точно определить превышения точек, что делает этот вид нивелирования наиболее распространенным для всех видов проектирования, эксплуатации и строительства железных дорог и сооружений.

Тригонометрическое (геодезическое) нивелирование выполняют теодолитом или тахеометром при наклонном луче визирования. Превышение между двумя точками при этом способе определяют по углу наклона и расстоянию между этими точками по тригонометрическим формулам.

Применяют тригонометрическое нивелирование при съемке рельефа местности для получения плана с горизонталями и съемочного высотного обоснования. По точности определения превышений этот вид нивелирования уступает геометрическому.

Барометрическое нивелирование основано на зависимости между высотой точек над уровнем поверхности и атмосферным давлением. По величине атмосферного давления, измеряемого барометром в двух точках земной поверхности, вычисляют превышения между ними, а также высоту этих точек. Погрешности в определении превышений и высот точек

находятся в пределах 1—2 м, поэтому барометрическое нивелирование применяют только при предварительных изысканиях с целью приближенного определения высот точек.

Механическое нивелирование основано на использовании свойств физического маятника (отвеса) или уровня. Выполняют такое нивелирование приборами (профилографами), механически изображающими профиль местности. Устанавливают такие приборы на велосипедах (нивелир-автомат М. А. Артанова), автомобилях и на других движущихся средствах. При передвижении прибора синхронно движется лента, на которой автоматически вычерчивается профиль трассы или регистрируются высоты точек местности. Точность механического нивелирования, при благоприятных условиях местности, 0,2—0,3 м на 1 км длины хода, что значительно уступает геометрическому и тригонометрическому нивелированию. Из-за сравнительной быстроты выполнения этот вид нивелирования применяют при предварительных изысканиях и для проверки профиля железных и автомобильных дорог.

Гидростатическое нивелирование выполняют гидро-статическим нивелиром, принцип действия которого основан на свойстве однородной жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одинаковом уровне.

Наиболее распространен простой гидростатический нивелир, который состоит из двух стеклянных трубок (ампул) со шкалами миллиметровых делений в металлической оправе, соединенных между собой резиновым шлангом. При заполнении нивелира жидкостью (чаще всего водой) трубки устанавливают в двух точках, превышение между которыми необходимо определить, и берут отсчеты по шкалам трубок. Разность отсчетов выразит превышение. Этот способ отличается высокой точностью, он характеризуется ошибкой  $\approx 0,2$  мм при применении простого нивелира с длиной шланга до 15 м. Гидростатические нивелиры усовершенствованных конструкций обеспечивают более высокую точность. Гидростатическое нивелирование применяют при строительстве искусственных сооружений, зданий, монтаже отдельных элементов сооружений и оборудования, определении осадок опор зданий и сооружений.

Радиолокационное нивелирование выполняют с самолетов при помощи радиолокационных приборов, которые позволяют получить абсолютные высоты (отметки) точек местности. Действие радиолокационных приборов основано на свойстве отражения электромагнитных волн. Этот способ, называемый радионивелированием, широко применяют при аэрофотосъемке при предварительных изыскательских работах.

Стереофотограмметрическое нивелирование ставит своей задачей определение планового и высотного положения точек на плоскости по парным снимкам местности с земли или с воздуха. Применяют этот способ в аэрофототопографии для составления топографических планов и карт.

В последнее время стереофотограмметрическое нивелирование нашло широкое применение при аэрофотосъемках железных дорог, при составлении проектов переустройства станций, сооружении вторых путей, линий энергоснабжения и связи.

## **§ 60. Понятие о государственной нивелирной сети.**

### **Нивелирные знаки**

Для решения многих инженерных задач на территории нашей страны разбита высотная основа, положение точек которой определено в единой системе высот. Определение высот (отметок) пунктов высотной геодезической сети выполняют нивелированием I, II, III, IV классов, а также техническим нивелированием. Наиболее точным из них является нивелирование I класса, средняя квадратическая случайная ошибка которого не превышает 0,5 мм на 1 км хода.

Нивелирная сеть I и II классов составляет главную основу для создания единой Балтийской системы высот в СССР (от нуля Кронштадтского футштока). Нивелирные сети III и IV классов опираются на пункты I и II классов и служат высотной основой для обеспечения всех топографических съемок в стране. Невязки в полигонах или ходах длиной 20—30 км нивелирования III класса не должны превышать 10 мм  $\sqrt{L}$ , а при нивелировании IV класса — 20 мм  $\sqrt{L}$ .

Сети технического нивелирования разбивают для создания высотной основы при решении практических инженерных задач. Предельные невязки ходов и полигонов технического нивелирования по абсолютной величине не должны быть более чем 50 мм  $\sqrt{L}$ , где  $L$  — длина хода или периметр полигона в км.

Сохранение положения высотных отметок обеспечивают устройством специальных геодезических нивелирных знаков — реперов. Эти знаки могут быть постоянными и временными.

Постоянные нивелирные знаки (реперы) обеспечивают длительную сохранность и точность закрепленной точки. Реперы бывают следующих типов: грунтовые, стенные, скальные.

Грунтовый репер состоит из железобетонного пилона сечением 16×16 см и бетонной плиты-якоря (рис. 70, а). В верхнем торце пилона зацементирована марка. Основание плиты репера устанавливают на 50 см ниже глубины промерзания грунта, а марку репера располагают на 50 см ниже поверхности земли. На расстоянии 1 м от репера устанавливают опознавательный знак в виде железобетонного пилона с прикрепленной к нему в верхней части чугунной охранной плитой (см. рис. 70, а). Над репером насыпают небольшой земляной курган и окапывают по периметру канавкой.

Стенной репер выполняют из чугуна (рис. 70, б), и на его сферической торцевой части размещаются рельефные



Торцевая часть репера выступает наружу на 5 см. Высотная отметка передается на верхнюю сферическую головку репера. Над репером или рядом с ним к стене здания на зацементированных болтах прикрепляется охранный плитой (рис. 70, в).

Скальный репер имеет конструкцию стенного репера и закладывается в скальную породу аналогично стенному. В эксплуатации находятся ранее установленные стенные реперы, выступающая часть которых имеет трехгранную форму, а также стенные марки, на лицевой стороне которых имеется отверстие, для центра которого передана высотная отметка.

На нивелирных линиях III и IV классов реперы закладывают через 5—7 км, а в труднодоступных районах — через 10—15 км.

Временные реперы устанавливают на непродолжительный срок в период геодезических съемок перед перерывом в работе по нивелированию трассы. Для временных реперов используют характерные выступающие части зданий, мостов, опор линии электропередач, валуны, крепкие пни срубленных деревьев и т. п. Указанные характерные точки отмечаются забивкой штырем или гвоздем и масляной краской (в виде перекрещивающихся коротких линий) для установки нивелирной рейки и делается надпись из начальных букв организации, установившей репер, и его номера (рис. 70, е).

Если на местности, где производят нивелирование, нет перечисленных выше предметов, временные реперы устраивают в виде металлической трубы (штыря), забитого в землю со сторожкой (рис. 70, г), или закапывают в землю деревянные столбики (рис. 70, д). Временные реперы окапывают канавкой по периметру квадрата со стороной 1,5 м.

При нивелировании трасс железных дорог постоянные и временные реперы закладывают в сторону на 20—25 м от оси пути. Постоянные реперы устанавливают на предварительных изысканиях не реже чем через 30 км в доступных и через 50 км в труднодоступных районах, а временные реперы — через 5 км.

На окончательных изысканиях железных дорог постоянные реперы закладывают через 15—30 км, а временные — через 2 км у каждого искусственного сооружения. При установке реперов производят описание места их установки, с последующим занесением местоположения и его номера в каталог реперов.

## § 61. Способы геометрического нивелирования

При геометрическом нивелировании превышения (разности отметок точек) определяют горизонтальным визирным лучом нивелира по отсчетам на нивелирных рейках, устанавливаемых вертикально в заданных точках. По взаимному расположению

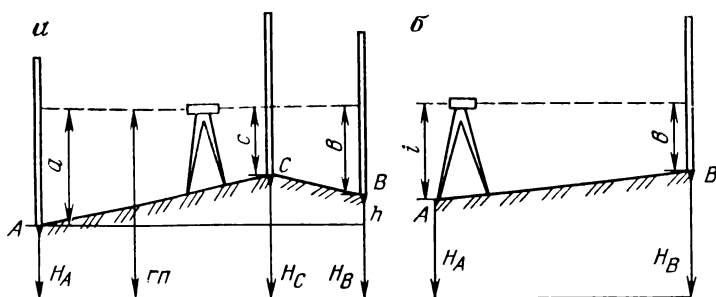


Рис. 71. Способы геометрического нивелирования

нивелира и реек различают нивелирование «из середины» и нивелирование «вперед».

### *Нивелирование из середины*

При этом способе нивелирные рейки ставят в точках  $A$  (задней) и  $B$  (передней), а примерно на равных расстояниях между ними (в середине) устанавливают нивелир (рис. 71,  $a$ ). Приведя нивелир в рабочее положение, визируют зрительную трубу на рейки, установленные в точках  $A$  и  $B$ , и по горизонтальной нити сетки берут отсчеты по ним. Если отсчет по задней рейке, установленной в точку  $A$ , равен  $a$ ; по передней рейке, установленной в точку  $B$ , — равен  $b$ , то из рис. 71,  $a$  видно, что искомое превышение

$$h = a - b, \quad (141)$$

т. е. превышение передней точки над задней равно отсчету по рейке назад минус отсчет по рейке вперед.

Величина превышения может быть со знаком плюс или минус. Если превышение получится положительным, значит, передняя точка  $B$  находится выше задней точки  $A$ , следовательно, линия повышается. Например,  $a = 2550$  мм,  $b = 1250$  мм, превышение  $h = 2550 - 1250 = 12\,300$  мм. Отрицательная величина превышения показывает, что передняя точка  $B$  ниже задней  $A$  — линия понижается. Например,  $a = 1045$  мм,  $b = 2165$  мм, превышение  $h = 1045 - 2165 = -1120$  мм.

Если высота задней точки  $A$  известна и равна  $H_A$ , а превышение передней точки над задней  $h$ , находят высоту передней точки  $H_B$ :

$$H_B = H_A + h. \quad (142)$$

Высота передней точки равна высоте задней точки плюс превышение между ними. Отметку передней точки  $H_B$  вычисляют через величину, называемую горизонтом прибора ГП. Из рис. 71,  $a$  видно, что горизонт прибора — это высота

визирной оси нивелира над уровнем моря или условным уровнем:

$$\text{ГП} = H_A + a. \quad (143)$$

Горизонт прибора равен высоте точки плюс отсчет по рейке, установленной на эту точку. Зная горизонт прибора, находят высоты любых точек, нивелируемых с данной станции.

Из рис. 71, а

$$H_B = \text{ГП} - b. \quad (144)$$

Высота передней точки  $B$  равна горизонту прибора  $\text{ГП}$  минус отсчет по рейке  $b$ , установленной в переднюю точку  $B$ ,

$$H_C = \text{ГП} - c. \quad (145)$$

Высота  $H_C$  промежуточной точки  $C$  равна горизонту прибора  $\text{ГП}$  минус отсчет по рейке  $c$ , установленной в промежуточную точку  $C$ . Определение отметок по горизонту прибора рационально производить при нивелировании нескольких точек одной станции. Таким образом, при нивелировании из середины высоты передних точек находят двояко: по превышениям и по горизонту прибора [(142) и (144)].

Следовательно, вычисление по одному способу (142) может быть проконтролировано по другому (144).

*Пример.*

Высота точки  $A$   $H_A = 128,343$  м; задний отсчет  $a = 2342$ ; передний отсчет  $b = 1048$ ; промежуточный отсчет  $c = 0421$ .

Определить отметки точек  $B$  и  $C$ .

*Решение:*

1. Определяют высоту точки  $B$  по превышению [(141) и (142)]:

$$h = 2342 - 1048 = +1294 \text{ мм} = +1,294 \text{ м};$$

$$H_B = 128,343 + 1,294 = 129,637 \text{ м}.$$

2. Определяют высоту точки  $B$  по горизонту прибора [(143) и (144)]:

$$\text{ГП} = 128,343 + 2,342 = 130,685 \text{ м};$$

$$H_B = 130,685 - 1,048 = 129,637 \text{ м}.$$

3. Определяют высоту промежуточной точки  $C$  (145):

$$H_C = 130,685 - 0,421 = 130,264 \text{ м}.$$

### *Нивелирование вперед*

При этом способе устанавливают нивелир в точке  $A$ , приводят его в рабочее положение и измеряют по отвесу рулеткой или рейкой высоту прибора  $i$  (рис. 71, б).

Высотой прибора называют вертикальное расстояние  $i$  от центра окуляра горизонтально установленной визирной оси трубы до точки  $A$ . Рейку ставят впереди нивелира в переднюю точку  $B$  и производят по ней передний отсчет  $b$ . Превышение  $h$  определяют по формуле

$$h = i - b. \quad (146)$$

Превышение равно высоте прибора минус отсчет по рейке, установленной в переднюю точку. Если линия местности повышается от точки  $A$  к точке  $B$ , превышение положительно, при понижении местности, когда точка  $B$  будет ниже точки  $A$ , величина превышения отрицательная.

Высоту передней точки  $H_B$  из рис. 71, б находят так:

$$H_B = H_A + h$$

или

$$H_B = (H_A + i) - b = \text{ГП} - b. \quad (147)$$

**Пример.** Высота точки  $A$   $H_A = 89,215$  м; высота прибора  $i = 1290$  мм; передний отсчет  $b = 0507$  мм. Определить высоту точки  $B$ .

**Решение:**

$$h = 1,290 - 0,507 = +0,783 \text{ м};$$

$$H_B = 89,215 + 0,783 = 89,998 \text{ м};$$

$$H_B = 89,215 + 1,290 - 0,507 = 89,998 \text{ м}.$$

Нивелирование способом вперед одной и той же линии с противоположных концов ее называют двойным нивелированием. Применяют двойное нивелирование при поверке нивелиров.

Применение этого способа ограничено в практике инженерных изысканий из-за его значительной погрешности измерения высоты прибора, что понижает точность нивелирования.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. С какой целью применяют нивелирование?
2. Какие задачи ставят при выполнении различных видов нивелирования?
3. В чем основное отличие геометрического нивелирования от тригонометрического?
4. Дайте понятие о высотной геодезической сети.
5. Как определить превышение и высоту передней точки способом геометрического нивелирования «из середины»?
6. В каких случаях и по каким формулам выполняют нивелирование способом «вперед»?

## Глава 11

## **НИВЕЛИРЫ И НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ**

### **§ 62. Типы и марки нивелиров**

Нивелир — это геодезический прибор, который служит для получения горизонтального визирного луча на местности. Нивелир применяют для определения превышения точек геометрическим методом. Все нивелиры различают по точности и по способу установки визирной оси в горизонтальное положение.

В соответствии с ГОСТ 10528—76 выпускаются три типа нивелиров: высокоточные Н-05 — для нивелирования I и II

Таблица 14

| Показатели                                                     | Н-05<br>Н-05К | Н-3<br>Н-3К | Н-10<br>Н-10К |
|----------------------------------------------------------------|---------------|-------------|---------------|
| Увеличение зрительной трубы, крат                              | 40            | 30          | 20            |
| Цена деления круглого уровня, угл. мин                         | 5             | 10          | 10            |
| Цена деления цилиндрического уровня, угл. с                    | 10            | 15          | 45            |
| Средняя квадратическая погрешность превышения на 1 км хода, мм | 0,5           | 3           | 10            |
| Диапазон работы компенсатора, угл. мин                         | $\pm 8$       | $\pm 15$    | $\pm 20$      |
| Масса, кг                                                      | 6             | 3           | 2             |

классов; точные Н-3 — для нивелирования III и IV классов и технические Н-10 — для высотного обоснования и определения высот точек при инженерно-технических изысканиях и строительстве железных дорог и сооружений.

Каждый из этих трех типов изготавливается в двух видах: с уровнем для ручной установки визирной оси и компенсаторные с самоустанавливающейся осью визирования. Нивелиры с компенсаторами имеют в обозначении марки букву К: Н-0,5К; Н-3К, Н-10К. Если нивелир изготовлен с лимбом для измерения горизонтальных углов, к шифру марки добавляется буква Л: Н-3КЛ, Н-10Л.

Основные технические характеристики нивелиров приведены в табл. 14.

### § 63. Нивелир Н-3

Нивелир Н-3 имеет однотипную конструкцию с ранее выпускавшимся нивелиром НВ-1 и предназначен для нивелирования III и IV классов со средней квадратической погрешностью  $\pm 3$  мм на 1 км хода. Широко применим и при техническом нивелировании. Зрительная труба и цилиндрический уровень нивелира Н-3 соединены и могут перемещаться в вертикальной плоскости элевационным винтом. Нивелир Н-3 (рис. 72, а) состоит из нижней и верхней частей. Нижняя часть — треножник с тремя подъемными винтами 2, опирающимися на пружинящую пластину 1, в средней части которой имеется отверстие с резьбой для закрепления нивелира на штативе станковым винтом. Треножник 3 имеет втулку, в которой вращается ось верхней части нивелира. Верхняя часть нивелира состоит из зрительной трубы 7, имеющей объектив 5, окуляр 8 и крышку винтов диафрагмы 12. С правой стороны на зрительной трубе помещен винт фокусировки (кремальяера 13) для приближенного наведения на рейку. На зрительной трубе имеется мушка 6. Увеличение зрительной трубы  $30\times$ , поле зрения  $8-1^{\circ}20'$ .

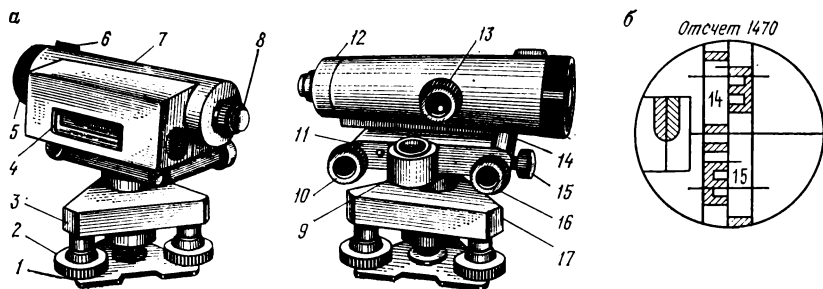


Рис. 72. Нивелир Н-3:  
а — общий вид; б — поле зрения трубы

Слева к корпусу зрительной трубы прикреплена коробка с цилиндрическим контактным уровнем 4 с ценой деления 15'' на 2 мм. Со стороны окуляра цилиндрический уровень имеет четыре исправительных винта, закрытых круглой пластинкой, укрепленной в верхней ее части винтом. Над ампулой уровня помещены призмный блок и оптическая система, передающая изображения половинок обоих концов пузырька в поле зрения трубы (рис. 72, б).

Корпус зрительной трубы в нижней части имеет два прилива, один из которых 14 шарнирно скреплен с опорной плитой 11, а второй связан с элевационным винтом 10. Вращением элевационного винта достигается незначительный наклон зрительной трубы в вертикальной плоскости вместе с цилиндрическим уровнем для точной установки визирной оси в горизонтальное положение. Под объективом находится закрепительный винт 15, а справа от него — наводящий винт 16. Для грубой установки нивелира с помощью подъемных винтов служит круглый уровень 9, размещенный в средней части опорной плиты. Он имеет три исправительных винта, расположенных снизу оправы уровня 17.

Хранят нивелир в металлическом футляре, снабженном ремнем для переноски.

## § 64. Нивелир Н-10Л

Предназначен для технического нивелирования со средней квадратической погрешностью  $\pm 10$  мм на 1 км двойного нивелирного хода. Ранее нивелир Н-10Л выпускался под маркой НТ.

Вместо треножника с подъемными винтами нивелир Н-10Л имеет шаровую пята, позволяющую грубо установить его по круглому уровню с помощью рукоятки станového винта. Конструкция нивелира позволяет производить измерение горизонтальных углов с небольшой точностью. Для этого опорная вра-

шающаяся часть 1 нивелира Н-10Л (рис. 73) имеет горизонтальный круг с ценой деления лимба  $1^\circ$  и верньера 7 с точностью отсчета  $0,1^\circ$ . Зрительная труба 3 нивелира имеет увеличение  $20\times$ . Справа на зрительной трубе расположен винт фокусировки 4 (кремальера), а слева прикреплена коробка с цилиндрическим уровнем 2. Со стороны окуляра имеются четыре исправительных винта цилиндрического уровня 5, закрытых круглой крышкой. Призматическое устройство позволяет передавать изображение полуконцов пузырька уровня в поле зрения трубы, как у нивелира Н-3 (см. рис. 72, б). Точное приведение визирной оси трубы в горизонтальное положение производят, совмещая половинки концов пузырька уровня вращением элевационного винта 6. Цена деления цилиндрического уровня  $45''$ , а круглого —  $10'$ .

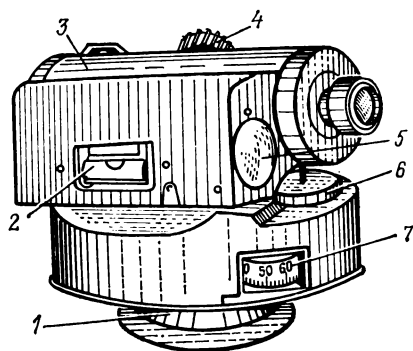


Рис. 73. Нивелир Н-10Л

Закрепительного и наводящего винтов нивелир не имеет. Предварительное наведение трубы на нивелирную рейку производят по мушке, а более точное — по вертикальному штриху сетки нитей. Масса нивелира Н-10Л — 2 кг, укладочного футляра — 2 кг.

Закрепительного и наводящего винтов нивелир не имеет. Предварительное наведение трубы на нивелирную рейку производят по мушке, а более точное — по вертикальному штриху сетки нитей. Масса нивелира Н-10Л — 2 кг, укладочного футляра — 2 кг.

## § 65. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования

У ранее рассмотренных нивелиров Н-3, Н-10 визирная ось зрительной трубы устанавливается в горизонтальное положение с помощью скрепленного с ней цилиндрического уровня вручную, вращением элевационного винта перед каждым отсчетом по рейке.

Главной конструктивной особенностью нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования является то, что при небольшом угле наклона зрительной трубы луч визирования устанавливается компенсатором в горизонтальное положение автоматически.

Такую конструкцию имеют нивелиры с компенсаторами, в шифр марки которых входит буква «К».

### *Нивелир Н-3К (НС4)*

Нивелир Н-3К, ранее выпускавшийся под маркой НС4, предназначен для нивелирования III и IV классов со средней квадратической погрешностью  $\pm 3$  мм на 1 км двойного хода. Нижняя часть нивелира (рис. 74, а) соединена с трегером,

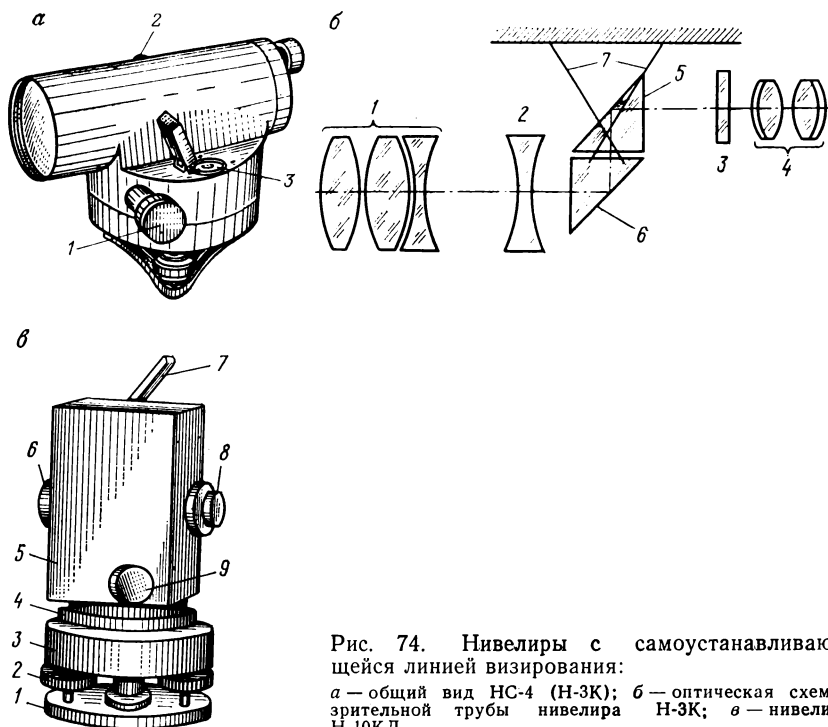


Рис. 74. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования:

*а* — общий вид НС-4 (Н-3К); *б* — оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-3К; *в* — нивелир Н-10КЛ

имеющим три подъемных винта и пружинящую пластинку с резьбовым отверстием для крепления на штативе станковым винтом. Верхняя часть нивелира вместе со зрительной трубой вращается на цилиндрической оси с подпятником. Предварительное наведение трубы на рейку производят вращением от руки, преодолевая фрикционное сцепление нижней и верхней частей нивелира. Точное наведение осуществляют вращением одного из двух винтов 1 бесконечной наводки. Закрепительного винта нивелир не имеет. В рабочее положение нивелир устанавливают по круглому уровню 3 вращением подъемных винтов. Зрительная труба нивелира (рис. 74, б) имеет трехлинзовый объектив 1, фокусирующую линзу 2, сетку нитей 3 и окуляр 4. Перемещение фокусирующей линзы производят вращением винта фокусировки 2 (см. рис. 74, а). Между фокусирующей линзой расположен оптико-механический компенсатор, обеспечивающий автоматическую установку луча визирования в горизонтальное положение при углах наклона трубы  $\pm 15'$ . Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм: одна 5 наглухо прикреплена к корпусу трубы, вторая 6 — подвешена на двух парах скрещивающихся стальных нитях 7 (см. рис. 74, б). При наклоне трубы на небольшой угол ( $\pm 15'$ ) подвижная призма наклоняется в противоположную сторону на

такой угол, чтобы направить горизонтальный луч, идущий от рейки, точно на центр сетки нитей. Успокоение чувствительной подвижной призмы компенсатора обеспечивается поршневым воздушным демпфером. Правильность работы компенсатора контролируют вращением подъемного винта в направлении визирования. При этом вращении отсчет по рейке не должен изменяться в пределах наклона  $\pm 15'$ .

Практика работы и исследования нивелира показывают, что экономия времени на установку визирной оси в горизонтальное положение по сравнению с нивелиром Н-3 составляет до 50 %.

### *Нивелир Н-10КЛ*

Нивелир Н-10КЛ предназначен для технического нивелирования со средней квадратической погрешностью  $\pm 10$  мм на 1 км двойного хода. Нижняя часть нивелира (рис. 74, *b*) — цилиндрическая 3, имеет три подъемных винта 2, соединенных с опорной пластинкой 1, имеющей отверстие с резьбой для станочного винта, которым нивелир крепится на штативе. С корпусом нивелира соединен горизонтальный круг 4, ось которого вращается внутри нижней части нивелира. Цена деления лимба горизонтального круга  $1^\circ$ , точность отсчета по верньеру  $6'$ . Зрительная труба имеет объектив 6 и окуляр 8 и заключена в термоизоляционный облегченный кожух 5, предохраняющий ее от температурных влияний. Оптическая система зрительной трубы дает прямое изображение рейки в поле зрения. Увеличение зрительной трубы —  $20\times$ .

Предварительную установку нивелира в рабочее положение производят подъемными винтами по круглому (установочному) уровню с ценой деления  $10'$  на 2 мм, который находится под зеркальной крышкой 7.

Точная установка визирной оси в горизонтальное положение производится автоматически с помощью компенсаторного устройства. Компенсатор выполнен из двух пентапризм, укрепленных неподвижно к корпусу трубы, и подвижной прямоугольной призмы, свободно подвешенной на горизонтальной оси между объективом и сеткой нитей. Колебания подвижной призмы гасятся воздушным демпфером в течение 2 с. Компенсатор занимает устойчивое положение к плоскости горизонта при угле наклона вертикальной оси нивелира до  $\pm 15'$ . Перемещением подвижной призмы компенсатора в вертикальной плоскости производят фокусирование зрительной трубы. Это достигается вращением винта 9. Наведение зрительной трубы на рейку производят от руки, закрепительного и наводящего винтов нивелир не имеет. Конструкция нивелира позволяет переставлять горизонтальный круг при помощи специального винта, имеющегося в нижней части прибора, что облегчает ориентирование лимба в нужном направлении.

## § 66. Нивелирные рейки и отсчеты по ним

Для производства нивелирования IV класса и технического применяют нивелирные рейки цельные (рис. 75, б) или складные (рис. 75, а) длиной 3 или 4 м, шириной 8—10 см и толщиной 2—2,5 см. Нивелирные рейки изготавливают из сухой, выдержанной древесины или пластмассы, покрытой белой масляной краской. Для придания жесткости поперечное сечение рейки выполняют в виде двутаврового сечения. Концы реек обивают металлической пластиной, называемой пятой. Рейка имеет две ручки, а для установки ее в отвесное положение — круглый уровень. По шаблону на рейке нанесены сантиметровые деления, окрашенные через одно деление черным (черная сторона) или красным цветом (красная сторона). Если деления нанесены только с одной стороны, рейку называют односторонней, если деления выполнены с обеих ее сторон, — двусторонней. Нуль рейки находится у ее пяты. Деления на рейках бывают штриховые и шашечные. Для нивелирования IV класса и технического применяют рейки с шашечными делениями. Первые пять шашек на рейке с сантиметровыми делениями объединены в виде буквы Е (см. рис. 75, б). Это значительно облегчает взятие отсчета. Дециметровые деления подписывают цифрами в перевернутом виде для нивелиров с обратным изображением. Деления на таких рейках возрастают от нуля пяты вверх. Наблюдая рейку в трубу нивелира с обратным изображением, геодезист видит в поле зрения изображения цифр возрастающими сверху вниз. Для нивелиров с трубами прямого изображения (Н-10КЛ) применяют рейки с нормальным изображением. На основной (черной) стороне рейки деления идут от нуля, а на дополнительной (красной) стороне они смещены на 4687 или 4787 мм. Следовательно, отсчеты по обеим сторонам рейки не могут быть одинаковыми, а их разность, являющаяся постоянной величиной, используется для контроля отсчетов.

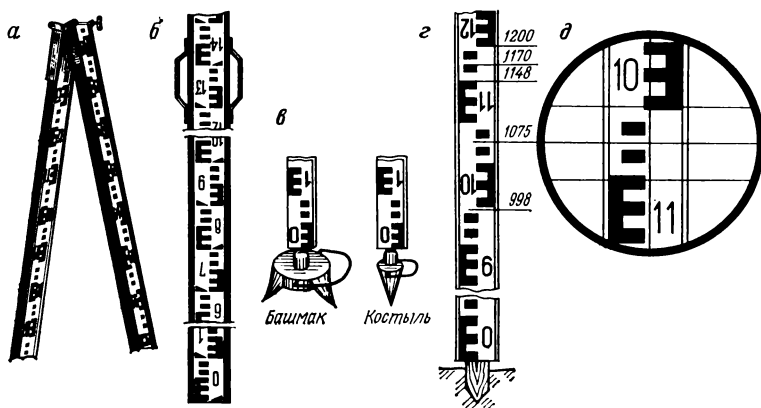


Рис. 75. Нивелирные рейки и отсчеты по ним

В соответствии с ГОСТ 11158—83 для нивелирования IV класса выпускаются нивелирные рейки РН-3, для технического нивелирования — РН-10. Первые две буквы обозначают: «рейка нивелирная», цифры обозначают среднюю квадратическую погрешность в мм на 1 км хода. Нивелирные рейки РН-3 изготовляют длиной 1,5; 3,0 и 4,0 м. Рейки длиной 4000 мм (РН-3-4000 и РН-10-4000) выполняют складными, а рейки длиной 3000 мм (РН-3-3000 и РН-10-3000) — цельными и складными. При маркировке складных реек добавляется буква С, например, РН-3-4000С и РН-10-4000С или РН-3-3000С. При прямой оцифровке шкал реек для нивелиров с прямым изображением труб в маркировку реек добавляется буква П. Например, для нивелирной рейки складной типа РН-10 длиной 3000 мм с прямой оцифровкой шкалы по ГОСТ 11158—83 применяется маркировка РН-10П-3000С.

Нивелирные рейки РН-3 и РН-10 должны отвечать следующим условиям: деления рейки, как и цифры, должны быть одинаковыми и хорошо видимыми в зрительную трубу. Правильность делений рейки проверяют контрольной линейкой длиной 1 м, на скошенном крае которой нанесены деления через 0,2 мм. Отсчеты на линейке производят через подвижную лупу. Случайные погрешности дециметровых делений не должны превышать  $\pm 0,5$  мм (для реек РН-3).

Разность отсчетов по черной и красной сторонам реек должна быть постоянной и равна разности нулей рейки — 4687 или 4787. Например, отсчет по черной стороне  $a_{\text{ч}}=2347$ ; отсчет по красной стороне  $a_{\text{к}}=7034$ ; разность высот нулей рейки:  $a_{\text{к}} - a_{\text{ч}}=7034 - 2347=4687$ .

Если рейка снабжена круглым уровнем, правильность его установки проверяют по отвесу. При техническом нивелировании пользуются рейками без уровней.

#### *Отсчеты по нивелирным рейкам*

При нивелировании для взятия отсчета рейки ставят вертикально нулем вниз на вбитые в землю колышки (рис. 75, *г*) или на переносные башмаки и костыли (рис. 75, *в*). В отвесное положение рейку приводят с помощью прикрепленного к ней круглого уровня. При отсутствии уровня рейку устанавливают в вертикальное положение на глаз и медленно покачивают вперед к нивелиру и назад. При этом записывают меньший отсчет по средней горизонтальной нити сетки, который будет соответствовать отвесному положению рейки. При отсчетах меньших 1 м, покачивать рейку нельзя, так как при этом возникает ошибка из-за смещения пятки рейки по ширине. Отсчет, взятый по средней горизонтальной нити сетки, записывают в миллиметрах. При этом количество дециметров и сантиметров в отсчете считают по рейке, а миллиметры оценивают на глаз. На рис. 75, *д* отсчет, видимый в поле зрения трубы, равен 1075.

## § 67. Поверки нивелиров Н-3, Н-10

Получая нивелир со склада, передавая его от одного лица другому, выполняют приемочные поверки. Последовательность приемочных поверок выполняют аналогично описанным в § 35. При этом проверяют комплектность, т. е. наличие всех частей, исправность их, плавность хода всех винтов. Полевые поверки выполняют каждый раз перед началом работы и в процессе их производят необходимые юстировки.

Нивелиры Н-3 и Н-10 должны удовлетворять следующим условиям:

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.* Для проверки этого условия вращением подъемных винтов устанавливают пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на  $180^\circ$ . Если после этого пузырек останется в центре ампулы — условие выполнено. При смещении пузырька с центра на половину отклонения перемещают пузырек к центру исправительными винтами уровня, а вращением подъемных винтов устанавливают пузырек в центр ампулы. Поверку производят несколько раз, добиваясь, чтобы пузырек оставался в центре ампулы при вращении нивелира вокруг оси.

2. *Вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна оси вращения нивелира.* Это условие проверяют несколькими способами. Один из них выполняют в такой последовательности. Установив нивелир по круглому уровню в рабочее положение, наводят зрительную трубу на отвес, подвешенный в 20—30 м от нивелира. Совмещают вертикальную нить сетки с нитью отвеса. Если на всем своем протяжении вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, условие выполнено (рис. 76, а). При несовпадении (рис. 76, б) производят юстировку. Для этого, отвинтив три закрепительных винта, снимают колпачок диафрагмы со стороны окуляра. Ослабив крепежные винты диафрагмы 1, 2, 3, поворачивают пластинку 4 с сеткой нитей до совмещения вертикальной нити сетки с нитью отвеса (рис. 76, в), после исправления винты 1, 2, 3 закрепляют.

3. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы.* Это основное условие проверяется двойным нивелированием. Для этого на местности с небольшим уклоном выбирают две точки, отстоящие друг от друга на расстоянии 50—70 м, которые закрепляют колышками А и В (рис. 77, а). Над точкой А уста-

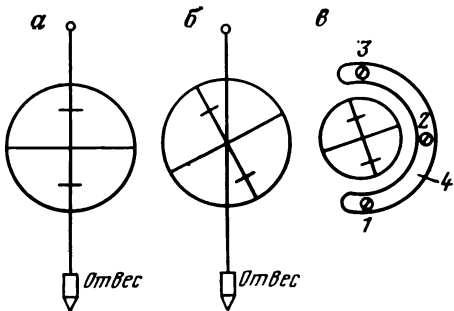


Рис. 76. Поверка сетки нитей

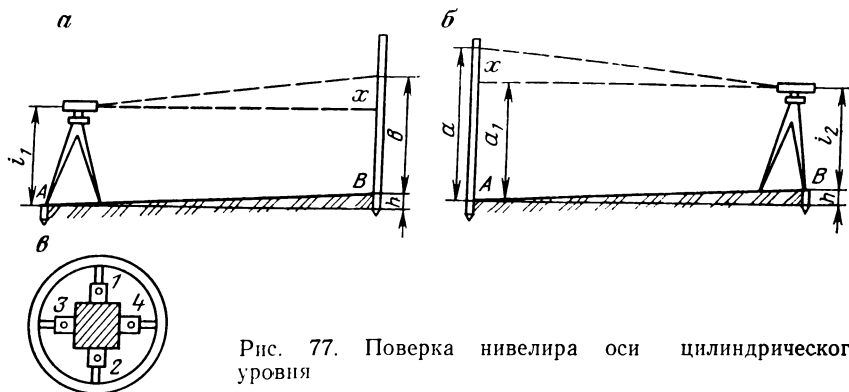


Рис. 77. Проверка нивелира оси цилиндрического уровня

навливают нивелир, который приводят в рабочее положение, а в точке ставят рейку. Измеряют по рейке высоту нивелира  $i_1$ . Приводят элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня на середину ампулы и производят передний отсчет по рейке, установленной в точке  $B$ . Затем нивелир и рейку меняют местами. Приведя нивелир по круглому уровню в рабочее положение, измеряют высоту нивелира  $i_2$  и производят отсчет по рейке, установленной в точке  $A$  (рис. 77, б). При непараллельности оси цилиндрического уровня визирной оси в оба отсчета войдет одинаковая ошибка  $x$ , которую находят, определяя превышение из рис. 91,

$$\begin{aligned} h &= i_1 + x - b; \\ h &= a - x - i_2, \end{aligned} \quad (148)$$

так как одно и то же превышение определено дважды, то левые части уравнения равны между собой, как равны и правые:

$$i_1 + x - b = a - x - i_2, \quad (149)$$

откуда ошибка  $x$  в отсчете

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{a + b}{2}. \quad (150)$$

Если ошибка  $x$  окажется не более  $\pm 4$  мм, условие выполнено. При ошибке более  $\pm 4$  мм производят юстировку. Для этого находят верный отсчет по рейке  $a_1 = a - x$  и вращением элевационного винта устанавливают среднюю нить сетки на исправленный (верный) отсчет  $a_1$ . При этом пузырек цилиндрического уровня уходит с контакта (с середины). Сняв крышку в торцевой части коробки цилиндрического уровня, совмещают изображение половинок концов пузырька, действуя исправительными винтами уровня 1 и 2, при этом слегка отпустив два винта 3 и 4 (рис. 77, в). После юстировки проверку повторяют.

## § 68. Поверки нивелиров с компенсаторами

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Эта поверка, как и юстировка, выполняется аналогично поверке нивелиров Н-3 и Н-10 (см. § 67).

2. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

Установив нивелир в рабочее положение, производят отсчеты по нивелирной рейке, установленной вертикально, вращая трубу вправо и влево. Если при этом получаются разные отсчеты, условие не выполнено. Для юстировки, ослабив винты диафрагмы, поворачивают кольцо сетки нитей до соблюдения условия поверки.

3. Линия визирования должна быть горизонтальна (если пузырек круглого уровня находится в центре ампулы). Это условие является основным, предъявляемым к нивелирам с компенсаторами. Поверку данного условия выполняют двойным нивелированием. На местности с небольшим уклоном закрепляют колышками *A* и *B* линию длиной 50—70 м (рис. 78). В точке *C* (точно в середине линии *AB*) устанавливают нивелир и приводят его в рабочее положение по круглому уровню. Производят отсчеты *a* и *b* по рейкам, установленным в точках *A* и *B*. Определяют превышение  $h = a - b$ . Так определяют превышение 2—3 раза при разных горизонтах прибора и вычисляют его среднее значение  $h_{\text{ср}}$ . Затем нивелир переносят в точку *D* на расстояние 3—5 м от точки *B* (на наименьшее расстояние визирования). Повторно определяют превышение  $h_1 = a_1 - b_1$  между точками *A* и *B*.

Разность между превышениями  $h_{\text{ср}} - h_1$  не должна отличаться более чем на  $\pm 4$  мм. Если эта разность более  $\pm 4$  мм, условие не выполнено, и визирную ось следует исправить. Перед выполнением юстировки убеждаются в исправности компенсатора. Для этого немного вращают подъемный винт, придавая небольшой наклон трубе нивелира в сторону рейки. Отсчет по рейке после колебания компенсатора должен оставаться постоянным, если угол наклона не превышает диапазон работы компенсатора. Убедившись в правильной работе компенсатора, находят исправленный отсчет  $a_{\text{испр}} = h_{\text{ср}} + b_1$ . Отсчет  $b_1$  принимают за верный. Сняв крышку у окулярной части трубы и дей-

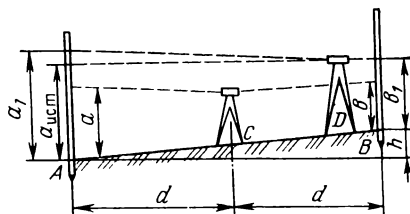


Рис. 78. Поверка визирной оси нивелиров Н-3К (Н-4), Н-10К

ствуя исправительными винтами сетки, наводят горизонтальную нить сетки нитей на исправленный отсчет  $a_{испр}$ . Поверку повторяют до соблюдения условия.

### **§ 69. Установка нивелира для работы. Уход за нивелирами и нивелирными рейками**

Чтобы установить нивелир в рабочее положение, извлекают нивелир из футляра и с помощью станowego винта закрепляют его на штативе. Приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы, действуя подъемными винтами (Н-3) или вращая нивелир на шаровой пяте (Н-10Л). Точную установку визирной оси нивелиров Н-3 и Н-10Л производят перед каждым отсчетом по рейке элевационным винтом, приводя пузырек цилиндрического уровня на середину (контактируя половинки концов пузырька). У нивелиров Н-3К (НС-4) и Н-10КЛ визирная ось после установки по круглому уровню автоматически занимает горизонтальное положение. После приведения нивелира в рабочее положение проверяют его устойчивость. Взяв отсчет по рейке, легко нажимают на штатив рукой. Если после нажатия отсчет не изменится, нивелир устойчив. Для устранения неустойчивости закрепляют становой винт, устраняют люфт подъемных винтов и винтов, крепящих отдельные части штатива.

При тугом вращении винтов или части нивелира нельзя применять усилий, а следует найти причину и устранить неисправность. При нивелировании нивелир переносят на другую станцию со штативом в отвесном положении. При работе и хранении нивелир защищают от влаги. При попадании капель влаги дают им высохнуть, а затем протирают мягкой фланелевой салфеткой. Нивелир оберегают от резких толчков и сотрясений. При длительных переноске и хранении нивелир укладывают в футляр, отпуская при этом зажимной винт. Хранят нивелир и нивелирные рейки в сухом отапливаемом помещении. После работы нивелира при низкой температуре его вносят в помещение в футляре на 2—3 ч, затем протирают чистой мягкой салфеткой.

Нивелирные рейки содержат чистыми, оберегают от механических повреждений. При длительном хранении рейки устанавливают отвесно, оберегая от прогибов. Тщательный уход за нивелиром и рейками обеспечивает необходимую точность их работы и увеличивает срок их службы.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Приведите основные технические характеристики нивелиров.
2. Какие основные части нивелира Н-3?
3. Перечислите конструктивные особенности нивелира Н-10Л.
4. В чем принципиальная сущность устройства нивелира Н-3К (НС-4)?
5. Какие отличительные конструктивные устройства нивелира Н-10КЛ?
6. Дайте характеристику наиболее часто применяемых марок нивелирных реек.
7. Как произвести отсчет по нивелирной рейке?

8. В чем состоит поверка круглого уровня нивелира?
9. Как поверить положение сетки нитей зрительной трубы нивелира?
10. В какой последовательности проверяют условие параллельности визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня нивелира?
11. Какие особенности поверок нивелира Н-10КЛ?
12. Какие основные правила ухода за нивелирами и нивелирными рейками?

## Глава 12

# ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

## § 70. Понятие о геодезических работах при проложении трассы железной дороги

Трасса железной дороги — это проходящая на местности продольная ось железнодорожного пути на уровне бровок основной площадки земельного полотна. В процессе изысканий и проектирования железной дороги трасса ее предварительно наносится на плане и карте. Вынесение положения трассы с карты на местность называют разбивкой трассы. При разбивке трассы на местности выполняют такие геодезические работы, как проложение линии заданного направления и уклона, измерение и разбивка углов поворота трассы, разбивка круговых и переходных кривых при заданных углах поворота, закрепление трассы и ее привязка, разбивка трассы на стометровые отрезки (пикеты), съемка плана трассы, нивелирование трассы и мостовых переходов и др.

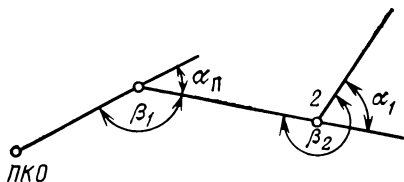
Проложение и закрепление трассы на местности выполняют специалисты и рабочие изыскательной экспедиции или партии, которая делится на отряды и бригады. В плане трасса представляет сочетание прямых участков с кривыми различной кривизны. Прокладку трассы на местности называют трассированием. Вслед за трассированием прокладывают теодолитный ход по трассе, измеряют и разбивают ее углы поворота и определяют расстояния между ними.

Углы поворота трассы измеряют правые по ходу способом полных приемов. По измеренному правому углу вычисляют угол поворота, составленный между продолжением предыдущего и последующего направления трассы (рис. 79). Если значение измеренного правого угла будет меньше  $180^\circ$ , угол поворота правый; при измеренном правом угле, большем  $180^\circ$ , угол поворота левый;

$$\left. \begin{aligned} \alpha_n &= 180^\circ - \beta_1; \\ \alpha_n &= \beta_2 - 180^\circ. \end{aligned} \right\} \quad (151)$$

Одновременно измеряют азимут или румб по буссоли предыдущего и последующего направлений для приближенного

Рис. 79. Углы поворота трассы



контроля измеренного угла между ними. При прокладке теодолитного хода осуществляют плановую привязку отдельных точек трассы к пунктам геодезической сети с целью получения их координат.

## § 71. Подготовка трассы к нивелированию.

### Разбивка пикетажа

Подготовку трассы к нивелированию начинают с осмотра местности и уточнения положения трассы, проверки сохранности точек углов поворота и закрепления трассы. В необходимых случаях эти точки восстанавливают. Вслед за этим проводят вешение прямолинейных участков трассы между вершинами углов поворота. Вешение на окончательных изысканиях выполняют по теодолиту способом на себя; при предварительных изысканиях — по биноклю. На длинных прямых участках трассы ставят створные столбы через 1000 м на предварительных и через 500 м — на окончательных изысканиях, измерение трассы производят от ее начала землемерными стальными лентами или дальномерами с выделением стометровых отрезков (пикетов). Разбивку пикетажа 20-метровой землемерной лентой с шестью шпильками выполняет звено из четырех человек: техник-пикетажист, два рабочих-мерщика и один рабочий, переносящий колья, сторожки и др. При ведении пикетажа каждую характерную точку трассы закрепляют колышком (точкой), забитым вровень с землей, и в 15—20 см от него сторожком — вторым колышком. Сторожок на 20—30 см возвышается над землей. На его затесанной стороне, обращенной к точке, пишут цифрами пикетажное положение точки. При разбивке пикетажа точками отмечают все стометровые отрезки — пикеты (*ПК 3*, *ПК 18*), все характерные места перегибов поверхности земли, где происходит изменение уклонов трассы, — плюсовые точки. На их сторожках указывают номер младшего (заднего) пикета плюс расстояние от него до характерной точки. Например, надпись *ПК 2+61,00* указывает, что расстояние от пикета 2 до точки перелома профиля 61 м (рис. 80). В вершинах углов поворота трассы пишут номер младшего пикета плюс расстояние до вершины; кроме того, указывают номер угла поворота, его величину, радиус кривой  $R$ , длину переходной кривой, например, *ВУ 1*, *ПК 6+48,00* — вершина угла поворота 1 находится в 48 м

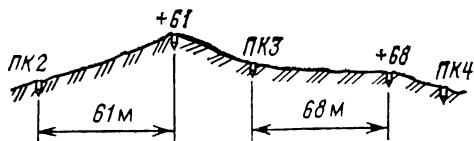


Рис. 80. Схема разбивки пикетажа на трассе

от ближайшего заднего пикета 6. Пикетажное положение (значение) каждой точки указывает ее расстояние от начала трассы. Например, *ПК 34* обозначает, что эта точка находится от начала трассы на 34 сотни метров, т. е. 3400 м, а *ПК 34+23* обозначает, что эта точка удалена от начала трассы на 3423 м. Зная пикетажное значение двух точек, можно определить расстояние между ними. Например,  $3723 - 3400 = 323$  м.

Плюсовыми точками обозначают начало, середину и конец каждой кривой, а также пересечение трассой дорог, водных преград, уровень воды рек и водотоков. Измерение линий землемерной лентой производят передний и задний мерщики в порядке, описанном в § 20. Когда передний мерщик израсходует все 5 шпилек, происходит передача их. Задний мерщик передает 5 шпилек переднему мерщику, не вынимая шестой шпильки из земли. После передачи передний мерщик укладывает первую ленту нового пикета и, натянув ее, ставит шпильку. Только тогда задний рабочий вынимает шпильку из земли и в этом месте забивает колышек (пикетную точку) вровень с землей. При углах наклона более  $2-3^\circ$  после измерения их эклиметром определяют горизонтальное проложение линии (см. § 21). Встречаются случаи, когда пикет оказывается больше или меньше 100 м. Это бывает при встрече двух партий, разбивающих трассу с противоположных концов, при примыкании к железной дороге, к другой трассе. Такие пикеты от 50 до 150 м называют неправильными или резаными (рублеными).

Одновременно с разбивкой пикетажа ведут съемку ситуации и предметов местности, отстоящих по обе стороны от трассы в полосе от 25 до 50 м. При съемке ситуации наиболее применим способ перпендикуляров с помощью рулетки и эккера. В работы по подготовке трассы к нивелированию входит и разбивка поперечников. Они проходят перпендикулярно к оси трассы или вдоль радиусов кривой. Поперечники разбивают под прямым углом к трассе с помощью гониометра или эккера на длину не менее 50 м в каждую сторону. Их назначают в пикетных и плюсовых точках, местах пересечения дорог, водотоков, населенных пунктов на поперечных к трассе косогорах круче  $1:10$  и других точках, предусмотренных проектом. На сторожках точек поперечника, лежащих справа от трассы, указывают букву *П* и расстояние до трассы, а на точках, лежащих слева,— букву *Л* ( $P+35$ ;  $L+17$ ).

Разбивка пикетажа и все измерения на трассе сопровождаются составлением пикетажного журнала (называемого иногда пикетажной книжкой) (рис. 81). Пикетажный журнал выпол-



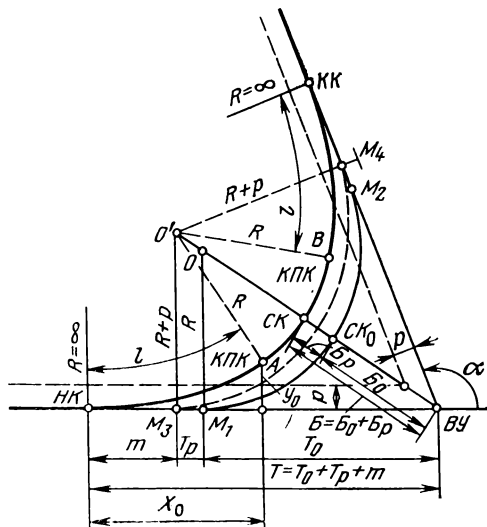
В пикетажный журнал заносят все данные о съемке ситуации: положение и длину перпендикуляров до характерных точек ситуаций, обозначают границы и пишут вид угодия (лес, пашня, луг и др.), обозначают дороги с указанием названия пунктов, куда и откуда они проходят, указывают расстояние от трассы до линии связи и электропередач, высоту подвеса проводов и их количество, а также другие подробности местности, которые будут необходимы при проектировании и строительстве железной дороги. Направление скатов местности указывают стрелками. При переходе водотока отмечают его границы и урез воды. Данные пикетажного журнала используют при составлении плана трассы.

## § 72. Круговые кривые и их элементы

Трасса железной дороги состоит в плане из отрезков прямых, пересекающихся между собой. Прямые участки трассы соприкасаются между собой плавными кривыми линиями. Такие плавные линии состоят из переходных и круговых кривых. Круговая кривая имеет следующие элементы (рис. 82):

- $\alpha$  — угол поворота;
- $R$  — радиус круговой кривой;
- $T_0$  — расстояние от вершины угла поворота ( $BV$ ) до начала круговой кривой — тангенс;
- $K_0$  — круговая кривая (длина окружности от начала круговой кривой до конца круговой кривой);
- $B_0$  — биссектриса (расстояние от  $BV$  до середины круговой кривой  $СК_0$ );

$D_0$  — домер (разность суммы двух тангенсов и круговой кривой).



По измеренному углу поворота  $\alpha$  и радиусу  $R$ , размер которого зависит от характера местности и технических условий проектирования данной дороги, вычисляют остальные элементы круговой кривой. При проектировании новых железных дорог принимают следующие унифицированные радиусы кривых: 4000; 3000; 2500; 2000; 1800; 1500; 1200; 1000; 800; 700; 600; 500; 400; 350; 250; 200; 180; 150 м.

Рис. 82. Схема круговых и переходных кривых

Все остальные элементы круговой кривой вычисляют из прямоугольного треугольника  $O(BY)M_1$  (см. рис. 82) по формулам

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= R \operatorname{tg} \alpha/2; & K_0 &= \pi R \alpha/180^\circ; \\ B_0 &= R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right); & D_0 &= 2T_0 - K_0. \end{aligned} \right\} \quad (152)$$

Практически элементы круговых кривых определяют по специальным таблицам, например Власов Д. И., Логинов В. Н. «Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах». М., Транспорт, 1974. В прил. 4 приведены выписки из таблиц.

**Пример.** Определить элементы круговой кривой при  $R=700$  м и угле поворота  $\alpha=25^\circ 24'$ . На стр. 241 указанных таблиц (см. прил. 4) находим:  $T_0=157,75$  м;  $K_0=310,32$  м;  $D_0=5,18$  м;  $B_0=17,56$  м.

При угле поворота больше или меньше приведенного в таблице значения элементов определяют по интерполяции. Для этого находят поправки  $\Delta T$ ,  $\Delta K$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta B$  при изменении угла поворота на  $1'$ .

**Пример.** Определить элементы круговой кривой при  $R=600$  м и угле поворота  $\alpha=41^\circ 37'$ . В прил. 5 приведена выписка из табл. 1.

Значения всех элементов в таблице даны через  $3'$ . Находим их значения для угла  $41^\circ 36'$ :

$$T = 227,92 \text{ м}; \quad K = 435,63 \text{ м}; \quad D = 20,20 \text{ м}; \quad B = 41,83 \text{ м}.$$

Поправки к элементам кривой при изменении угла на  $1'$  помещены в этой же таблице:

$$\Delta T = 10 \text{ см}; \quad \Delta K = 18 \text{ см}; \quad \Delta D = 3 \text{ см}; \quad \Delta B = 4 \text{ см}.$$

Прибавляя найденные поправки на  $1'$  к элементам круговой кривой при  $\alpha=41^\circ 36'$ , получим их значения для угла  $41^\circ 37'$ :

$$T_0 = T + \Delta T = 227,92 + 0,10 = 228,02 \text{ м};$$

$$K_0 = K + \Delta K = 435,63 + 0,18 = 435,81 \text{ м};$$

$$D_0 = D + \Delta D = 20,20 + 0,03 = 20,23 \text{ м};$$

$$B_0 = B + \Delta B = 41,83 + 0,04 = 41,87 \text{ м}.$$

Проверку производят по формуле  $D_0=2T-K_0$ ,

$$D_0 = 2 \times 228,02 - 435,81 = 20,23 \text{ м}.$$

Ошибка в найденном значении домера не должна превышать 1—2 см. Для радиуса 1000 м значения элементов приведены при углах поворота от 0 до  $60^\circ$ , а для радиуса 100 м — от 60 до  $120^\circ$ , тогда как для остальных радиусов кривых — от 0 до  $45^\circ$ .

Чтобы найти элементы круговых кривых для больших углов поворота, например  $\alpha=74^\circ 51'$ , при любом радиусе, например  $R=500$  м, надо выписать из табл. 1 (прил. 6) элементы для радиуса 100 м и найденные значения умножить на отношения радиусов  $500:100=5$ .

**Пример.** Найти элементы круговой кривой при  $R=500$  м, угле поворота  $\alpha=74^\circ 51'$ . По табл. 1 (прил. 6) находим элементы круговой кривой для  $R=100$  м и умножаем их значения на 5:

$$T_0 = 76,525 \cdot 5 = 382,625 = 382,62 \text{ м};$$

$$K_0 = 130,638 \cdot 5 = 653,19 \text{ м};$$

$$D_0 = 22,412 \cdot 5 = 112,06 \text{ м};$$

$$B_0 = 25,921 \cdot 5 = 129,605 = 129,60 \text{ м}.$$

Проверка:

$$D_0 = 2 \cdot 382,62 - 653,19 = 112,05 \text{ м}.$$

### § 73. Переходные кривые. Определение суммированных элементов кривой

Для плавного вписывания подвижного состава из прямой в круговую кривую и выхода из нее на прямой участок устраивают переходные кривые. В пределах переходной кривой плавно отводят возвышение наружного рельса и уширение колеи, устраиваемые в круговых кривых. Радиус переходной кривой изменяется от  $\infty$  (в точке примыкания к прямой) до радиуса круговой кривой. Этому условию наиболее удовлетворяет уравнение радиальной спирали (клотоиды), которая и принята в качестве переходной кривой.

Длина переходных кривых при проектировании железных дорог принимается стандартной длины от 20 до 200 м в зависимости от радиуса сопрягаемой кривой и категории проектируемой дороги, которую характеризуют скорости движения поездов на ней. На линиях I категории (где скорости максимальные) длина переходных кривых наибольшая, а на линиях IV категории — наименьшая, что обусловлено меньшими скоростями.

Для разбивки переходной кривой (см. рис. 82) центр  $O$  смещен по направлению биссектрисы в точку  $O'$ . Из полученного центра  $O'$  тем же радиусом  $R$  проведена круговая кривая, начальная и конечная точки которой смещены на величину приращения тангенса  $T_p$ . Сдвинутая к центру (внутрь) круговая кривая обеспечивает устройство переходных кривых между касательными и круговой кривой.

Переходная кривая имеет следующие элементы (см. рис. 82):

$l$  — длина переходной кривой;

$m$  — приращение тангенса, вызванное устройством переходной кривой;

$p$  — сдвижка;

$T_p$  — приращение тангенса, вызванное сдвижкой;

$B_p$  — приращение биссектрисы (смещение центра круговой кривой).

Элементы переходной кривой в зависимости от длины ее  $l$  и радиуса круговой кривой  $R$  определяют по формулам

$$\left. \begin{aligned} p &\approx l^2/24R; \\ T_p &= p \operatorname{tg} \alpha/2; \\ B_p &= p \sec \alpha/2; \\ m &\approx l/2; \\ D_p &= 2T_p - 2(0,5l - m). \end{aligned} \right\} \quad (153)$$

Из рис. 82 видно, что кривая, плавно сопрягающая прямые участки трассы, состоит из круговой кривой, радиуса  $R$  и двух переходных кривых  $l$ . Разбить такое сопряжение можно, только зная суммированные элементы кривой, определяемые по формулам

$$\left. \begin{aligned} T_c &= T_o + T_p + m; \\ K_c &= K_o + l; \\ D_c &= D_o + D_p; \\ B_c &= B_o + B_p. \end{aligned} \right\} \quad (154)$$

В рассмотренных выше таблицах для разбивки кривых на железных дорогах (см. табл. 1) [2] для каждого радиуса кривой даны элементы переходных кривых в нижней части строки (см. прил. 4).

**Пример.** Определить суммированные элементы для разбивки круговой и переходных кривых при  $\alpha = 25^\circ 18'$ ;  $R = 700$  м;  $l = 60$  м. Находят по табл. 1 элементы для круговой кривой при  $l_n = 60$  м (прил. 4). Верхняя часть таблицы:  $T_o = 157,11$  м;  $K_o = 309,10$  м;  $D_o = 5,12$  м;  $B_o = 17,41$  м. В нижней части табл. 1 находят элементы переходной кривой при  $l = 60$  м:  $T_p = 0,05$  м;  $m = 30,00$  м;  $p = 0,21$  м;  $B_p = 0,22$  м. По формулам (154) определяют суммированные элементы круговой и переходных кривых:

$$T_c = 157,11 + 0,05 + 30,00 = 187,16 \text{ м};$$

$$K_c = 309,10 + 60 = 369,10 \text{ м};$$

$$D_c = 5,12 + 2 \cdot 0,05 - 2(0,5 \cdot 60,0 - 30,0) = 5,12 + 0,10 = 5,22 \text{ м};$$

$$B_c = 17,41 + 0,22 = 17,63 \text{ м}.$$

Проверка:

$$D_c = 2T_c - K_c;$$

$$D_c = 2 \cdot 187,16 - 369,10 = 5,22 \text{ мм}.$$

## § 74. Расчет пикетажного значения главных точек круговой и переходных кривых

Каждая суммированная кривая, состоящая из круговой кривой и двух переходных кривых, определение элементов которой приведено в § 73, имеет следующие главные точки (см. рис. 82): НК — начало кривой;

*СК* — середина кривой;  
*ВУ* — вершина угла поворота;  
*КК* — конец кривой.

Для разбивки трассы необходимо знать не только пикетажное значение вершины угла поворота *ВУ*, определенное при промере прямых участков, но и положение в пикетажном исчислении всех главных точек кривой. При расчете пикетажного положения главных точек учитывается, что после постройки железной дороги измерения будут вестись не по касательным, а по кривой.

Положение главных точек в пикетажном значении вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} HK &= BU - T_c; \\ SK &= HK + K_c/2; \\ KK &= HK + K_c. \end{aligned} \right\} \quad (155)$$

Для контроля вычислений положение конца кривой *КК* получают, если к пикетажному значению вершины угла поворота *ВУ* прибавить длину тангенса и из полученной суммы вычесть домер,

$$KK = BU + T_c - D_c. \quad (156)$$

Расхождение между двумя вычисленными значениями *КК* допускается  $\pm 1$  см.

**Пример.** Определить пикетажное значение положения главных точек суммированной кривой, элементы которой определены в § 73, если вершина угла поворота *ВУ* находится в точке *ПК 7+29,43*.

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>ВУ ПК 7 + 29,43</i>              | Контроль                            |
| <i>— Т<sub>с</sub> ПК 1 + 87,16</i> | <i>ВУ ПК 7 + 29,43</i>              |
|                                     | <i>+ Т<sub>с</sub> ПК 1 + 87,16</i> |
| <i>НК ПК 5 + 42,27</i>              | <i>ПК 9 + 16,59</i>                 |
| <i>+ К<sub>с</sub> ПК 3 + 69,10</i> | <i>— Д<sub>с</sub> ПК 0 + 5,22</i>  |
| <i>КК ПК 9 + 11,37</i>              | <i>КК ПК 9 + 11,37</i>              |
| <i>НК ПК 5 + 42,27</i>              | Контроль                            |
| <i>+ К/2 ПК 1 + 84,55</i>           | <i>СК ПК 7 + 27,82</i>              |
| <i>СК ПК 7 + 27,82</i>              | <i>+ К/2 ПК 1 + 84,55</i>           |
|                                     | <i>КК ПК 9 + 11,37</i>              |

Все вычисления по определению положения главных точек кривых в пикетажном исчислении заносят в пикетажный журнал.

## § 75. Разбивка главных точек суммированной кривой на трассе

Разбивку главных точек суммированной кривой *НК*, *СК*, *КК* на трассе производят в такой последовательности. Определяют пикетажное положение вершины угла поворота *ВУ* при ведении пикетажа и записывают эти данные на угловой точке и в пикетажном журнале. Производят расчет кривой в пикетажном журнале, т. е. определение всех элементов суммированной кривой (по углу поворота и радиусу), и определяют положение главных точек кривой в пикетажном положении (§ 74). Техник-пикетажист записывает на сторожке для точки *НК* пикетажное значение *НК ПК 5+42,27* и вместе с мерщиками идет назад по трассе к точке *ПК 5*. От точки *ПК 5* мерщики отмеряют вперед по трассе отрезок 42,27 м. В этой точке забивают сторожок *НК ПК 5+42,27* и ставят веху.

Чтобы отыскать положение точки середины кривой *СК*, необходимо найти положение биссектрисы. Для этого устанавливают теодолит в вершине угла поворота *ВУ* и, совместив нули лимба и алидады, визируют теодолит на точку *НК*. Затем поворачивают алидаду на угол, равный  $(180^\circ - \alpha)/2$ , и выставляют по визирной оси веху. В этом направлении рулеткой откладывают отрезок, равный величине биссектрисы  $B_c$ , и забивают сторожок. В примере, рассмотренном в § 73,  $B_c = 17,63$  м. На сторожке пишут *СК ПК 7+27,82*. Разбивку точки *КК* производят совместно с разбивкой пикетажа вперед по трассе от вершины угла поворота. При разбивке пикетажа найденную величину домера  $D_c$  откладывают сразу же за вершиной угла поворота. Для этого от угла поворота мерщики протягивают землемерную ленту вперед по трассе на величину домера. При этом получают пикетажное положение всех остальных точек такими, какие бы они получились при измерении по кривой, а не по касательной. Для отыскания положения точки конца кривой *КК* откладывают от вершины угла вперед по трассе величину тангенса (в § 73, 74  $T_c = 187,16$  м) и забивают сторожок, на котором пишут *КК ПК 9+11,37*. Такие действия повторяют при разбивке каждой кривой.

## § 76. Вынос пикетных точек с тангенса на кривую

Трассы железнодорожной линии нивелируют по точкам, расположенным на кривых. Поэтому при подготовке трассы к нивелированию все пикетные и плюсовые точки, лежащие на касательных (тангенсах), выносят на кривую. Перенесение таких точек выполняют способом прямоугольных координат. Для этого касательную к кривой принимают за ось *X*, а за ось *Y* принимают радиус  $R$ , направленный к центру кривой (рис. 83, а). Точку начала кривой *НК* принимают за начало координат.

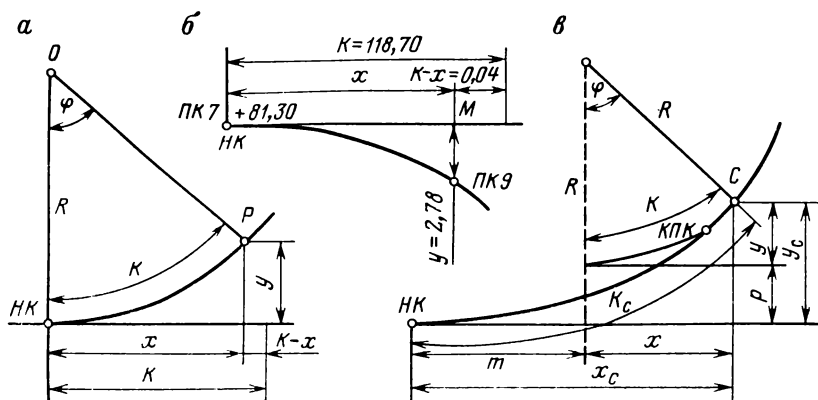


Рис. 83. Схемы выноса пикетных точек с тангенса на кривую

Координаты точки  $P$ , лежащей на кривой, находят по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_P &= R \sin \varphi; \\ y_P &= R (1 - \cos \varphi); \\ \varphi &= 180^\circ K / \pi R, \end{aligned} \right\} \quad (157)$$

где  $R$  — радиус кривой;  $\varphi$  — центральный угол дуги  $K$ .

Практически вынос точек с тангенса на кривую производят по «Таблицам для разбивки кривых на железных дорогах» (см. табл. 5, прил. 7).

**Пример.** Вынести на круговую кривую  $R=2500$  м точку ПК 9, лежащую на тангенсе, если начало кривой находится на ПК 7+81,30 м (рис. 83, б).

Определяют расстояние  $K$  от НК до ПК 9:

$$K = \text{ПК}9 - \text{ПК}7 + 81,30 = 118,70 \text{ м.}$$

По табл. 5 (прил. 7), интерполируя, находят значение  $(K-x)$  при  $K=118,70$  м и ординаты  $y$ :

$(K-x)=0,04$  м — кривая без абсциссы;

$y=2,78$  м — ордината.

От ПК 9 отмеряют рулеткой по касательной в сторону НК расстояние  $(K-x)=0,04$  м и ставят в эту точку  $M$  шпильку (см. рис. 83, б). Из точки  $M$  по перпендикуляру к касательной отмеряют рулеткой ординату  $y=2,78$  м и забивают колышек. Эта точка и будет местоположением ПК 9 на оси кривой. Аналогично определяют по табл. 5 прил. 7 данные и для других точек, лежащих на касательной (тангенсе), и выносят их на кривую. При вынесении пикетных точек с тангенса на кривую,

имеющую переходные кривые, определяют координаты суммированных кривых по формулам (рис. 83, в)

$$\left. \begin{aligned} K_c &= K + 0,5l; \\ K_c - x_c &= (K - x) + (0,5l - m); \\ y_c &= y + p, \end{aligned} \right\} \quad (158)$$

где  $K_c$  — длина кривой от  $HK$  до определяемой точки  $C$ ;  $x_c$  и  $y_c$  — координаты определяемой точки  $C$ ;  $m$  и  $p$  — элементы переходной кривой (см. § 73).

**Пример.** Найти данные для выноса с тангенса на кривую  $R=500$  м точки  $ПК 7$ , расположенной на расстоянии 16 м от конца переходной кривой  $l=60$  м. Определяют длину чистой круговой кривой до  $ПК 7$ :  $K=0,5 \cdot 60 + 16 = 46$  м.

По таблицам для разбивки кривых на железных дорогах (с. 475) находят значения  $(K-x)=0,06$  м и  $y=2,11$  м.

По табл. 9 (с. 515) выписывают расчетные данные  $m=30$  м и сдвиги  $p=0,30$  м. Определяют координаты  $ПК 7$  для суммированной кривой:

$$y_c = 2,11 + 0,30 = 2,41 \text{ м};$$

$$K_c - x_c = 0,06 + (0,5 \cdot 60 - 30) = 0,06 \text{ м}.$$

Отмерив от точки  $ПК 7$  назад по тангенсу отрезок  $(K_c - x_c) = 0,06$  м, откладывают по перпендикуляру к касательной отрезок  $y = 2,41$  м. Забитый в найденной точке колышек будет указывать местоположение точки  $ПК 7$  на кривой.

Координаты для вынесения пикетажных точек на переходную кривую определяют по табл. 3 (прил. 8).

## § 77. Разбивка кривых при больших углах поворота.

### Кратные кривые

При больших углах поворота разбивка на местности кривых вызывает значительные затруднения, так как откладывание биссектрисы длиной порядка 100 м делает невозможным применение рулетки. В таких случаях вместо длинной кривой с большим углом поворота и значительными элементами по длине вписывают несколько кривых с меньшими углами поворота, получая составную кривую. Круговые кривые всех малых углов поворота назначают одного радиуса. Длины круговых кривых принимают кратными 10 или 5 м. Такие кривые, идущие одна за другой и кратные 10 или 5 м, называют кратными кривыми.

**Пример.** Определить элементы круговой кривой и пикетажное положение главных точек кратных кривых, если угол поворота вправо  $\alpha = 73^\circ 21'$ , радиус  $R = 600$  м, вершина угла поворота ( $ВУ$ ) находится на  $ПК 22 + 60,0$  м. Для удобства разбивки заданный угол поворота  $\alpha$  разбивают на три меньших угла (рис. 84).

Определение элементов кривых. По таблицам для разбивки кривых на железных дорогах находят элементы круговой кривой для первого угла, величину которого задают

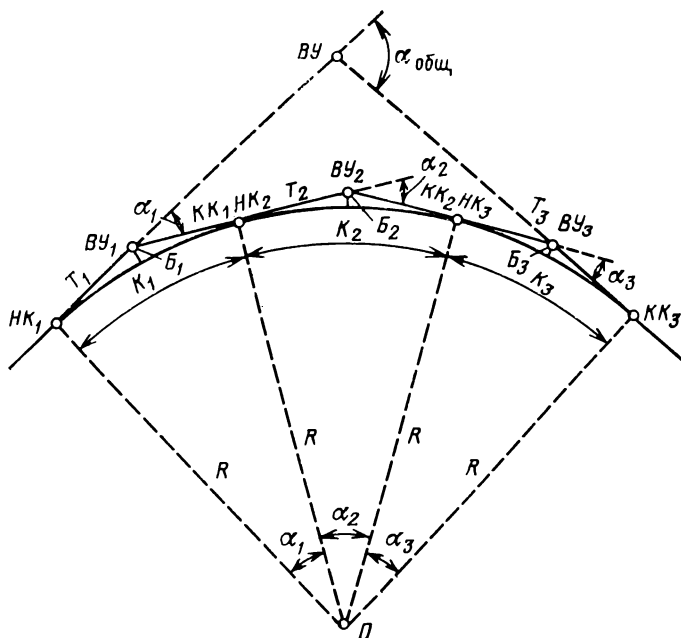


Рис. 84. Схема разбивки кривой при большом угле поворота

вначале как  $1/3$  от общего. Затем величину первого угла уточняют по длине круговой кривой, кратной  $10$  м. По табл. 1 (с. 272) [2] первая кривая  $K_1 = 260$  м;  $\alpha_1 = 24^\circ 50'$ ;  $T_1 = 132,07$  м;  $D_1 = 4,15$  м и  $B_1 = 14,36$  м. Приняв длину второй круговой кривой  $K_2 = 300$  м, по той же таблице находят  $\alpha_2 = 28^\circ 39'$ ;  $T_2 = 153,21$  м;  $D_2 = 6,41$  м;  $B_2 = 19,25$  м. Длина третьей круговой кривой определится по значению третьего угла поворота:  $\alpha_3 = \alpha - (\alpha_1 + \alpha_2) = 73^\circ 21' - (24^\circ 50' + 28^\circ 39') = 19^\circ 52'$ .

По табл. 1 находят элементы для третьей круговой кривой при  $R = 600$  м и  $\alpha = 19^\circ 52'$ , вводят в табличные значения элементов поправки при изменении угла поворота на  $1'$ :

$$T_3 = 104,99 + 0,09 = 105,08 \text{ м};$$

$$K_3 = 207,87 + 0,17 = 208,04 \text{ м};$$

$$D_3 = 2,10 + 0,01 = 2,11 \text{ м};$$

$$B_3 = 9,12 + 0,01 = 9,13 \text{ м}.$$

Определение пикетажного положения главных точек кривых. Определяют пикетаж начала первой кривой. Для этого находят по таблицам [2] величину общего тангенса при  $\alpha = 73^\circ 21'$  и  $R = 600$  м (по  $R = 100$  м):

$$T_{600} = T_{100} \cdot 6; \quad T_{600} = 74,47 \cdot 6 = 446,82 \text{ м};$$

$$K_{600} = K_{100} \cdot 6; \quad K_{600} = 128,02 \cdot 6 = 768,12 \text{ м};$$

$$D_{600} = D_{100} \cdot 6; \quad D_{600} = 20,92 \cdot 6 = 125,52 \text{ м}.$$

По формуле (155) находят положение в пикетаже точки начала первой кривой

$$\begin{array}{r} ВУ \quad ПК \quad 22 + 60,00 \\ - T \quad \quad \quad 4 + 46,82 \\ \hline \end{array}$$

$$НК_1 \quad ПК \quad 18 + 13,18,$$

определяют положение главных точек кратных кривых:

$$\begin{array}{r} НК_1 \quad ПК \quad 18 + 13,18 \\ + T_1 \quad \quad \quad 1 + 32,07 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} ВУ_1 \quad ПК \quad 19 + 45,25 \\ + T_1 \quad \quad \quad 1 + 32,07 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad 20 + 77,32 \\ - D_1 \quad \quad \quad 4,15 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} КК_1 \quad ПК \quad 20 + 73,17 \text{ (это же } НК_2) \\ + T_2 \quad \quad \quad 1 + 53,21 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} ВУ_2 \quad ПК \quad 22 + 26,38 \\ + T_2 \quad \quad \quad 1 + 53,21 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad 23 + 79,59 \\ - D_2 \quad \quad \quad 6,41 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} КК_2 \quad \quad \quad 23 + 73,18 \text{ (это же } НК_3) \\ + T_3 \quad \quad \quad 1 + 05,08 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} ВУ_3 \quad \quad \quad 24 + 78,26 \\ + T_3 \quad \quad \quad 1 + 05,08 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad 25 + 83,34 \\ - D_3 \quad \quad \quad 2,11 \\ \hline \end{array}$$

$$КК_3 \quad \quad \quad 25 + 81,23.$$

При разбивке концевых переходных кривых промежуточные кривые сдвигаются внутрь кривой на величину сдвижки  $p$ .

При разбивке кривой большого угла поворота расчет пикетажа выполняется по малым кривым, а промер расстояний ведется по их касательной. При этом от каждого угла поворота каждой отдельной кривой откладывают вперед величину домера. Если измеряют расстояния через вершину большого угла поворота, откладывают вперед величину домера всей общей кривой без учета его в пикетаже.

## § 78. Нивелирование трассы. Журнал нивелирования

Чтобы получить высоты пикетных и плюсовых точек трассы для составления продольного профиля ее, производят нивелирование по пикетажу. Такое нивелирование называют продольным. Нивелирование трассы производят способом из середины.

Нормальное расстояние между нивелиром и рейками при нивелировании IV класса — 100 м, а при техническом — 120 м. Высота визирного луча над поверхностью земли не должна быть менее 20 см. Неравенство расстояний от нивелира до реек должно быть менее 10 м. Для этого нивелир устанавливают на каждой станции (места установки нивелира) на равных расстояниях, определяемых на глаз или измеряемых шагами. Нивелир (особенно цилиндрический уровень) рекомендуется закрывать от прямого попадания солнечных лучей зонтом, а при переносе — чехлом. Нивелирные рейки, как правило, применяют двусторонние. Высотное обоснование производят привязкой к знакам государственного нивелирования — маркам или реперам. Такие привязки выполняют в начале и в конце трассы, прокладывая привязочные ходы с одной или нескольких станций. Рейки при этом ставят на чугунные башмаки или костыли.

Выбор станции производят так, чтобы с нее были видны все нивелируемые точки, которые могут быть связующими и промежуточными. Связующими называют точки, по которым передают высоты от начала к концу нивелирного хода, т. е. точки, которые связывают по высоте две смежные станции. Для предыдущей станции связующая точка будет передней, а для последующей — задней. Такими точками, например, на рис. 85, будут *ПК 0*, *ПК 1*, *ПК 2*, *ПК 3* и др. На связующих точках берут отсчеты по обеим сторонам реек с двух смежных станций. Между связующими точками имеются точки, подлежащие ни-

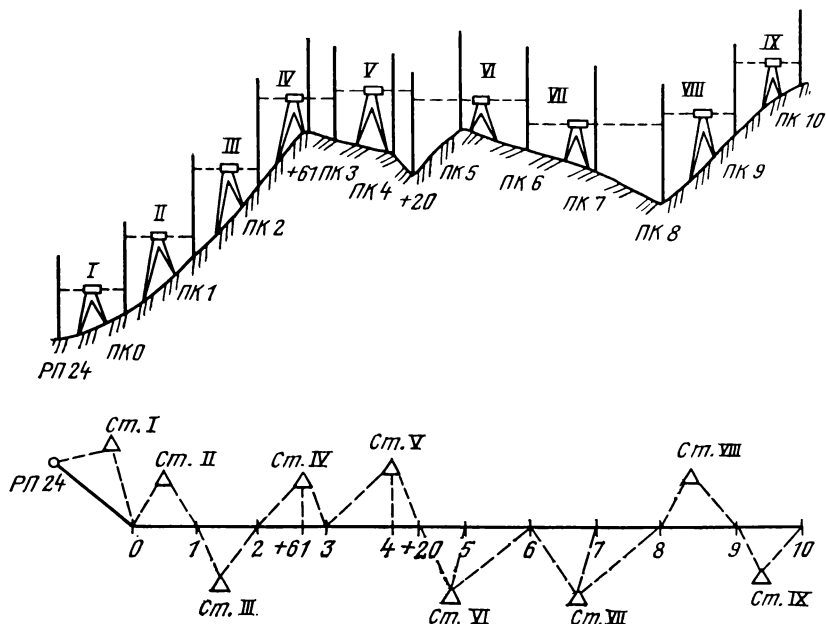


Рис. 85. Схема нивелирования трассы

велированию, называемые промежуточными (например  $ПК\ 2 + 61$ , см. рис. 85). Они могут быть как пикетными, так и плюсовыми. Однако пикетные точки, как правило, назначают связующими. На промежуточных точках отсчеты по рейке берут только по черной стороне.

### *Порядок работы на станции*

После установки нивелира для работы перед каждым отсчетом по рейке нивелиром Н-3 (НВ-1) вращением элевационного винта приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт. Рассмотрим последовательность нивелирования участка трассы от репера 24 до пикета 10 (см. рис. 85). Нивелирование начинают привязкой к реперу, установив нивелир на ст. I между репером 24 и пикетом 0. Трубу нивелира последовательно визируют на эти точки и производят отсчеты по средней нити с точностью до 1 мм. Берут задний отсчет по черной стороне рейки, установленной на точку РП 24:

$$a_{РП\ 24}^{\text{ч}} = 1539.$$

Отсчет на рейку, установленную в точку ПК 0, по черной стороне

$$b_{ПК\ 0}^{\text{ч}} = 0846.$$

Затем рейку, установленную в ПК 0, поворачивают красной стороной и по ней производят отсчет

$$b_{ПК\ 0}^{\text{к}} = 5533.$$

Визируют трубу на заднюю рейку, по красной стороне ее берут отсчет

$$a_{РП\ 24}^{\text{к}} = 6228.$$

Полученные отсчеты последовательно записывают в журнал нивелирования (графы 3 и 4 табл. 15). По отсчетам по красной и черной сторонам реек вычисляют превышения по формуле

$$h = a - b,$$

по черной стороне  $h_{\text{ч}} = 1539 - 0846 = 0693$  мм = 0,693 м, по красной стороне  $h_{\text{к}} = 6228 - 5533 = 0695$  мм = 0,695 м.

Разность между превышениями, определенными по черной и красной сторонам реек, не должна быть более  $\pm 5$  мм при нивелировании IV класса и техническом.

Если разность получается больше, отсчеты производят вновь, предварительно проверив устойчивость штатива, крепление нивелира на нем, положение концов пузырька контактного уровня и т. п. Полученные правильные отсчеты пишут над неверными, которые зачеркивают.

При допустимой разности превышений вычисляют среднее превышение

$$h_{\text{ср}} = (0695 + 0693)/2 = 0694.$$

Нивелир: НВ № 284112

Нивелировал: техник Валовин

Рейки двусторонние

Погода: пасмурно, безветренно

| № п/п | № точек | Отсчеты по рейке, мм |               |                    | Превышения, мм |   |         |   |              |    | Горизонт прибора, м | Высота точек, м |         |
|-------|---------|----------------------|---------------|--------------------|----------------|---|---------|---|--------------|----|---------------------|-----------------|---------|
|       |         | задние               | перед-<br>ние | проме-<br>жуточные | вычисленные    |   | средние |   | исправленные |    |                     |                 |         |
|       |         |                      |               |                    | +              | - | +       | - | +            | -  |                     |                 |         |
| 1     | 2       | 3                    | 4             | 5                  | 6              | 7 | 8       | 9 | 10           | 11 | 12                  | 13              | 14      |
|       | РП24    | 1539                 |               |                    |                |   |         |   |              |    |                     | 174,260         | 174,260 |
| 1     |         | 6228                 |               |                    |                |   | -3      |   |              |    |                     |                 |         |
|       | ПК0     | 2863                 | 0846          |                    | 0693           |   | 0694    |   | 0691         |    |                     | 174,954         | 174,951 |
| 2     |         | 7550                 | 5533          |                    |                |   | -3      |   |              |    |                     |                 |         |
|       | ПК1     | 2406                 | 0511          |                    | 2352           |   | 2353    |   | 2350         |    |                     | 177,307         | 177,301 |
| 3     |         | 7093                 | 5196          |                    | 2354           |   | -3      |   |              |    |                     |                 |         |
|       | ПК2     | 2918                 | 0623          |                    | 1783           |   | 1783    |   | 1780         |    | 181,999             | 179,087         | 179,081 |
| 4     |         | 7604                 | 5310          |                    | 1783           |   |         |   |              |    |                     |                 |         |
|       | +61     |                      |               | 0370               |                |   | -3      |   |              |    |                     |                 | 181,629 |
|       | ПК3     | 1015                 | 0742          |                    | 2176           |   | 2175    |   | 2172         |    | 182,268             | 181,265         | 181,253 |
| 5     |         | 5702                 | 5430          |                    | 2174           |   |         |   |              |    |                     |                 |         |
|       |         |                      |               |                    |                |   |         |   |              |    |                     |                 |         |

[illegible]

Полученные превышения заносят в журнал нивелирования (графы 6, 7, 8, 9 табл. 15).

После нивелирования связующих точек нивелируют все промежуточные точки с данной станции. Прежде чем перейти на новую станцию, проверяют правильность записей всех отсчетов, занесенных в журнал нивелирования.

После этого задний реечник переносит рейку в переднюю точку следующей станции (для станций *II* этой рейкой является *ПК 1*), а передний реечник остается в точке *ПК 0*, которая для станции *II* будет задней. Порядок работы на станции *II* аналогичен работе на станции *I*.

Если на трассе встречаются характерные точки перелома (изгиба) местности, в которых забиты плюсовые точки, их также нивелируют. Например, на ст. *IV* между точками *ПК 2* и *ПК 3* находится точка *ПК 2+61*. После взятия отсчетов по черной и красной сторонам реек, установленных в связующие точки *ПК 2* и *ПК 3*, задний реечник ставит рейку в промежуточную точку *ПК 2+61*. Промежуточный отсчет берут только по черной стороне (0370), записывают в графу 5 (см. табл. 15). Контроль отсчетов на промежуточные точки не производят. При перерыве нивелирования связующую конечную точку надежно закрепляют в виде временного репера (в уступе сооружения, пне, валуне и т. п.).

#### Применение *X*-точки

При нивелировании крутых косоогоров бывает, что с одной станции невозможно взять отсчеты на две установленные при разбивке пикетажа точки. Луч визирования при этом проходит выше одной из реек или ниже ее — «бьет в землю» (рис. 86, *а*). В таких случаях назначают иксовые точки (*X*-точки). При этом заднюю рейку оставляют в точке *ПК 12*, приблизив к ней нивелир настолько, чтобы можно было взять отсчет, а переднюю рейку передвигают к нивелиру, чтобы можно было взять передний отсчет не менее 0200. В этой точке *X* ставят башмак или костыль (рис. 86, *б*). Взяв передний отсчет на *X*-точку, направляют нивелир на новую станцию и берут задний отсчет на *X*-точку, а передний на *ПК 13*. Так с помощью установки связующей *X*-точки высота *ПК 12* передана на *ПК 13*. После запол-

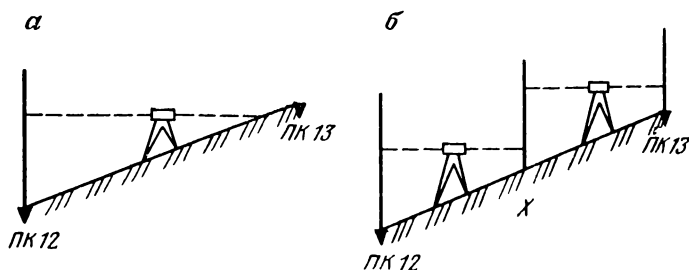


Рис. 86. Схема установки *X*-точки

нения каждой страницы нивелирного журнала производят постраничный контроль по формуле

$$(\Sigma a - \Sigma b)/2 = \Sigma h/2 = \Sigma h_{\text{ср}}, \quad (159)$$

где  $\Sigma a$  — сумма всех задних отсчетов;  $\Sigma b$  — сумма всех передних отсчетов;  $\Sigma h_{\text{выч}}$  — алгебраическая сумма всех вычисленных превышений;  $\Sigma h_{\text{ср}}$  — алгебраическая сумма всех средних превышений. В рассматриваемом примере (см. табл. 15)

$$\begin{aligned} \Sigma a &= 80\,673; & \Sigma b &= 64\,155; \\ (\Sigma a - \Sigma b)/2 &= (80\,673 - 64\,155)/2 = +8259; \\ \Sigma h_{\text{выч}}/2 &= 16\,518/2 = +8259; \\ \Sigma h_{\text{ср}} &= +12\,491 - 4232 = +8259. \end{aligned}$$

Результаты вычислений записывают внизу каждой страницы журнала нивелирования. Постраничный контроль позволяет проверить правильность вычисления превышений на каждой странице журнала нивелирования.

Процесс нивелирования может быть сокращен, а производительность труда нивелировщиков повышена, если применить механизацию нивелировочных работ. С этой целью могут быть использованы мотоциклы или автомобили повышенной проходимостью, на одном из которых размещают нивелир, а на других — нивелирные рейки. Нивелирование производят способом из середины. Нивелир с компенсатором, установленный на автомобиле, приводят в горизонтальное положение, и с этой станции берут отсчеты по задней и передней рейкам. Рейки перемещаются на мотоцикле или на автомобиле и могут быть быстро приведены в вертикальное положение в заданной точке.

## § 79. Нивелирование поперечников

Поперечники — прямые линии, перпендикулярные к направлению трассы, нивелируют с отдельных станций независимо от нивелирования трассы. Станции нивелирования выбирают так, чтобы были видны отсчеты на все характерные точки одного или нескольких поперечников, а также на две точки, лежащие на трассе. Задней (исходной) точкой является пикетная или плюсовая точка, на которую берут задний отсчет по двум сторонам рейки, затем последовательно на все характерные точки одного или двух поперечников ставят рейки, по которым берут только по одному отсчету по черной стороне (рис. 87, а). Нивелирование заканчивают взятием двух отсчетов по черной и красной сторонам рейки, установленной в переднюю пикетную или плюсовую точку трассы.

На крутых косогорах нивелирование поперечников производят с нескольких станций (рис. 87, б). В этих случаях высоты точек на последующие станции нивелирования передают через связующие точки, лежащие на трассе. На рис. 87, б такими точ-

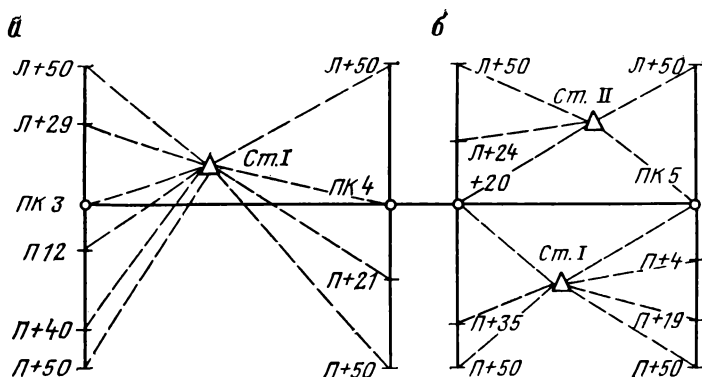


Рис. 87. Схема нивелирования поперечников

Таблица 16. Журнал нивелирования поперечника ПК 3

Нивелир: Н-3 № 26732  
Рейки двусторонние

Нивелировал: Ковров П. М.  
Погода: ясная, ветра нет

| № станций                                                                        | № точек | Отсчеты по рейке, мм |          |               | Превышения, мм                                                                                          |      |         |      | Горизонт прибора, м                                                        | Высоты точек Н, м |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------|----------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                  |         | задние               | передние | промежуточные | вычисленные                                                                                             |      | средние |      |                                                                            |                   |
|                                                                                  |         |                      |          |               | +                                                                                                       | —    | +       | —    |                                                                            |                   |
| 1                                                                                | 2       | 3                    | 4        | 5             | 6                                                                                                       | 7    | 8       | 9    | 10                                                                         | 11                |
| I                                                                                | ПК 3    | 0916                 |          |               |                                                                                                         |      |         |      | 182,169                                                                    | 181,253           |
|                                                                                  |         | 5603                 |          |               |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            |                   |
|                                                                                  | Л+29    |                      |          | 2473          |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            | 179,696           |
|                                                                                  | Л+50    |                      |          | 1102          |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            | 181,067           |
|                                                                                  | П+12    |                      |          | 1432          |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            | 180,737           |
|                                                                                  | П+40    |                      |          | 0529          |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            | 181,640           |
|                                                                                  | П+50    |                      |          | 0306          |                                                                                                         |      |         |      |                                                                            | 181,863           |
|                                                                                  | ПК 4    |                      | 1584     |               |                                                                                                         | 0668 |         | 0668 |                                                                            | 180,585           |
|                                                                                  |         |                      | 6271     |               |                                                                                                         | 0668 |         |      |                                                                            |                   |
| $\sum a = 6519$<br>$\sum b = 7855$<br>$\frac{6519 - 7855}{2} = -0,668 \text{ м}$ |         |                      |          |               | $\sum h_{\text{выч}}/2 = \frac{-1336}{2} = -0,668 \text{ м}$<br>$\sum h_{\text{ср}} = -0,668 \text{ м}$ |      |         |      | $H_{\text{ПК 4}} - H_{\text{ПК 3}} = 180,585 - 181,253 = -0,668 \text{ м}$ |                   |

ками являются *ПК 4+20* и *ПК 5*. Все данные нивелирования записывают в журнал нивелирования поперечника, пример заполнения которого приведен в табл. 16. Контроль отсчетов по вычисленным превышениям по красной и черной сторонам реек производят по формулам, приведенным в § 78. Для приведенного примера нивелирования поперечника *ПК 3*

$$h_q = a_{ПК3} - b_{ПК4} = 0916 - 1584 = -0668 = -0,668 \text{ м};$$

$$h_k = a_{ПК3} - b_{ПК4} = 5603 - 6271 = -0668 = -0,668 \text{ м}.$$

Постраничный контроль производят по формулам (159):

$$(\Sigma a - \Sigma b)/2 = (6519 - 7855)/2 = -0,668 \text{ м};$$

$$\Sigma h_{\text{выч}}/2 = -1336 : 2 = -0,668 \text{ м};$$

$$\Sigma h_{\text{ср}} = -0,668 \text{ м}.$$

## § 80. Контроль нивелирования

Чтобы устранить неизбежные ошибки при нивелировании на каждой станции, производят контроль одним из следующих способов:

*Применение двусторонних реек, нивелирование при двух горизонтах прибора*

Применение двусторонних реек рассмотрено в § 78. Расхождение между разностями отсчетов по красной и черной сторонам реек должно быть равно разности нулей на данной рейке. Расхождение не должно превышать для технического нивелирования  $\pm 3$  мм.

Нивелирование при двух горизонтах прибора применяют в том случае, если пользуются односторонними рейками. При этом со станции *I* (рис. 88, *а*) производят отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  по рейкам, установленным в задней и передней точках. Затем переносят нивелир на станцию *II* или уменьшают его высоту и вновь берут отсчеты  $a_2$  и  $b_2$  по рейкам на связующие точки. Вычисленные превышения при двух горизонтах прибора не должны отличаться на величину  $\pm 5$  мм (на 100 м расстояния),

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1; & h_2 &= a_2 - b_2; \\ \Delta h &= h_1 - h_2; & \Delta h &\leq \pm 5 \text{ мм.} \end{aligned} \right\} \quad (160)$$

Контроль при нивелировании на трассе, позволяющий устранить грубые ошибки и уменьшить влияние случайных погрешностей производят одним из следующих способов:

### *Нивелирование в два нивелира*

Звено первого нивелировщика производит отсчеты по рейкам, установленным во все связующие и промежуточные точки трассы. Второй нивелировщик нивелирует только связующие точки. Ежедневно в конце работы оба нивелировщика сверяют результаты нивелирования. Разность вычисленных превышений

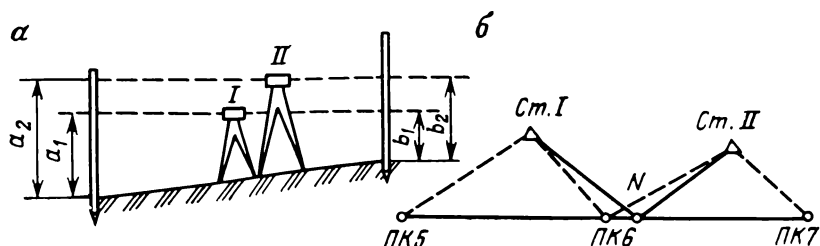


Рис. 88. Контроль нивелирования:

*а* — при двух горизонтах прибора; *б* — с контрольной точкой *N*

по первому и второму нивелирам на нивелируемом участке при техническом нивелировании не должна превышать

$$\Delta h = \pm (50 \sqrt{L}) \text{ мм}, \quad (161)$$

где  $L$  — длина хода нивелируемого участка трассы в км. Если высотная невязка  $\Delta h$  превышает предельно допустимую для данного класса нивелирования, производят повторное нивелирование участка трассы с целью нахождения допущенной ошибки. Этот способ обеспечивает надежный контроль и имеет наибольшее применение при нивелировании трасс при изысканиях железных дорог.

### *Замкнутый ход*

Если нивелирование начинают и заканчивают в одной и той же точке, такой ход называют замкнутым или сомкнутым. Контролем при замкнутом ходе служит алгебраическая сумма всех превышений хода, которая должна быть равна 0.

### *Проложение обратного хода*

При нивелировании одним нивелиром для контроля участок трассы нивелируют два раза — в прямом и обратном направлениях. При обратном ходе нивелируют только связующие точки. На каждой станции обратного хода вычисленные превышения сравнивают с превышениями прямого хода. Участки трассы, где допущены грубые ошибки, нивелируют третий раз. Большие по протяжению ходы делят на участки такой длины, чтобы их можно было пронивелировать в течение одного дня. Контролем нивелирования служат алгебраические суммы превышений прямого и обратного ходов, равных по абсолютной величине, но противоположных по знаку. Допустимая высотная невязка  $\Delta h$  не должна превышать  $\pm (50 \sqrt{L})$  мм. Этот способ весьма надежен и распространен при нивелировании одним прибором.

## Нивелирование между реперами

При этом способе контроля нивелирный ход прокладывают между реперами государственного нивелирования. Высоты реперов, с которых начинается и которым заканчивается нивелирование участка трассы, известны из точных нивелировок. Алгебраическая сумма превышений нивелируемого участка трассы  $\Delta h$  сравнивается с разностью высот начального  $H_0$  и конечного  $H_k$  реперов:  $(H_k - H_0)$ . Эта разность не должна превышать  $\pm (50 \sqrt{L})$  мм.

### Нивелирование по контрольным точкам

Это один из способов контроля на двух соседних станциях. Он заключается в том, что рядом с основной связующей точкой, например на ПК 5 (рис. 88, б), назначают еще одну контрольную связующую точку  $N$ . Если основной точкой является пикетный колышек, то контрольной может быть сторожок этого пикета или специально неподалеку забитый кол. Таким образом, на каждой станции назначают не две, а четыре связующих точки: две основные, две контрольные. Как видно из рис. 88, б, высоту контрольной точки  $N$  определяют по горизонту прибора ГП для контроля дважды — со станции  $I$  и со станции  $II$ :

$$H_N^I = \text{ГП}^I - b_N^I;$$

$$H_N^{II} = \text{ГП}^{II} - b_N^{II},$$

где  $b_N^I$  и  $b_N^{II}$  — отсчеты по рейке, установленной в точку со станций  $I$  и  $II$ ;  $\text{ГП}^I$  и  $\text{ГП}^{II}$  — горизонты прибора на станциях  $I$  и  $II$ .

Разность высот контрольной точки  $N$ , полученных нивелированием со станций  $I$  и  $II$ , не более 3—4 мм считают допустимой. При превышении указанной величины нивелирование на станциях  $I$  и  $II$  повторяют.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие геодезические работы производят при прокладке трассы железнодорожного пути?
2. В чем заключается подготовка трассы к нивелированию?
3. Выполните схему круговой кривой и укажите ее элементы и главные точки.
4. Определите величину элементов круговой кривой при радиусе  $R = 600$  м и угле поворота  $\alpha = 23^\circ 15'$ , пользуясь таблицами для разбивки железнодорожных кривых.
5. Пользуясь таблицами, определите элементы круговой кривой при  $R = 600$  м и  $\alpha = 23^\circ 16'$ .
6. Найдите элементы круговой кривой при  $R = 500$  м и угле поворота  $\alpha = 70^\circ$ .
7. Выполните схему круговой и переходных кривых и укажите элементы переходной кривой и ее главные точки.
8. Как найти элементы переходной кривой, пользуясь таблицами?
9. По каким формулам определяют суммированные элементы кривой?

10. Как найти пикетажное положение главных точек кривой?
11. Расскажите последовательность разбивки главных точек круговой и переходных кривых.
12. В какой последовательности выносят пикетные точки с тангенса на кривую?
13. В каком порядке разбивают кривые при больших углах поворота?
14. Расскажите порядок работы на станции при продольном нивелировании трассы.
15. Как производят контроль отсчетов на станции нивелирования?
16. В каких случаях при нивелировании трассы назначают X-точки?
17. Приведите формулы, которыми пользуются при обработке нивелирного журнала.
18. По какой формуле производят постраничный контроль?
19. Как могут быть механизированы нивелировочные работы?
20. Что называют поперечником трассы и как его нивелируют?
21. Какие виды контроля применяют при нивелировании трассы?
22. Как выполняют контроль нивелирования при двух горизонтах прибора?
23. В каком порядке выполняют контроль нивелирования в два нивелира?
24. Как проконтролировать нивелирование трассы замкнутым и обратным ходами?
25. Какой формулой пользуются при контроле нивелированием между реперами?

## Глава 13

### ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ

#### § 81. Обработка журнала геометрического нивелирования трассы. Увязка высот

В полевые материалы нивелирования трассы входят пикетажные журналы основного хода и поперечников, журналы нивелирования основного хода и поперечников.

Обработку полевых материалов производят в такой последовательности:

1. Проверка правильности и полноты составления пикетажных журналов. При этом проверяют правильность определения элементов кривых, вычисления главных точек кривых в пикетажном положении.
  2. Проверка заполнения нивелирного журнала трассы и поперечников.
  3. Вычисление превышений точек трассы, их увязка. Формулы для определения превышений и постраничного контроля и методика их вычисления приведены в § 78, 79, 80.
  4. Вычисление высот точек основного хода трассы.
- Высоту связующих точек нивелируемого участка определяют по формуле

$$H_B = H_A + h_{cp}, \quad (162)$$

где  $H_B$  — высота задней точки;  $h_{cp}$  — среднее превышение;  $H_A$  — высота передней, связующей точки.

В рассматриваемом примере журнала нивелирования (см. табл. 14)

$$H_{ПК0} = H_{РП\ 24} + h_{ср} = 174,260 + 0,694 = 174,954 \text{ м.}$$

Вычисленные высоты связующих точек заносят в графу 13 журнала нивелирования (см. табл. 15). Правильность вычисленных высот проверяют по формуле постраничного контроля. Разность высот конечной  $H_k$  и начальной точек каждой страницы журнала нивелирования должна быть равна сумме вычисленных средних превышений:

$$(\Sigma a - \Sigma b)/2 = \Sigma h/2 = \Sigma h_{ср} = H_k - H_n. \quad (163)$$

Если нивелирный ход проложен между реперами, отметки которых известны, то вычисленная сумма превышений  $\Sigma h_{ср}$  должна быть равна разности высот конечного  $H_k$  и начального  $H_n$  реперов. Невязки в ходах технического нивелирования согласно классификации высотных сетей не должны превышать  $\pm (50\sqrt{L})$  мм, где  $L$  — длина хода в км.

В рассматриваемом примере нивелирного журнала (см. табл. 15) сумма вычисленных превышений  $\Sigma h_{ср} = +8,259$  м, а разность между высотами конечного репера № 7 и начального № 24 равна

$$H_{РП\ 7} - H_{РП\ 24} = 182,492 - 174,260 = +8,232.$$

Высотную невязку определяют по формуле

$$\Delta h = \Sigma h_{ср} - (H_k - H_n), \quad (164)$$

$$\Delta h = +8,259 - 8,232 = +0,027 \text{ м} = 27 \text{ мм.}$$

Допустимая высотная невязка при длине хода  $L = 1$  км

$$\Delta h_{доп} = 50\sqrt{1} = \pm 50 \text{ мм,}$$

$27 < 50$  — невязка допустима.

Увязка вычисленных превышений состоит в том, что в превышения вводят поправки, прибавляя их со знаком, обратным знаку невязки. Если расстояния между связующими точками равны, как это наблюдается в рассматриваемом примере, невязки на каждую станцию из девяти рассматривают одинаковой величины ( $27:9 = 3$  мм) по  $+3$  мм в каждое вычисленное превышение. Исправленные превышения заносят в графы 10 и 11 журнала нивелирования (см. табл. 15). По исправленным превышениям вычисляют исправленные высоты связующих точек, при этом исправленная высота каждой связующей точки равна исправленной высоте предыдущей точки плюс исправленное превышение. Исправленные высоты точек заносят в графу 14 табл. 15. Сумма исправленных превышений должна быть равна разности конечной и начальной точек хода. В рассматриваемом журнале нивелирования  $\Sigma h_{испр} = +8,232$  м;  $H_k - H_n = 182,492 - 174,260 = +8,232$  м. Равенство сумм исправленных превышений и разности высот точек указывает на правильность вычис-

лений высот при увязке хода. Исправленные высоты промежуточных точек хода вычисляют по горизонту прибора по формулам (143), (145).

Пример. Станция 5.

Исправленная высота задней точки  $H_{ПК3} = 181,253$ , задний отсчет  $a_{ПК3} = 1,015$ , промежуточный отсчет  $c_{ПК4} = 1,683$ . Определяют горизонт прибора:  $ГП = 181,253 + 1,015 = 182,268$  м.

Исправленная высота промежуточной точки:  $H_{ПК4} = 182,268 - 1,683 = 180,585$  м.

Аналогично вычисляют исправленные высоты всех промежуточных точек. Вычисленные значения горизонтов приборов и высот промежуточных точек заносят в графы 12 и 14 (см. табл. 15).

При увязке замкнутых ходов технического нивелирования высотная невязка в вычисленных превышениях не должна превышать  $\pm (50\sqrt{L})$  мм. Распределение высотных невязок в превышениях выполняют аналогично сказанному выше. Исправленная сумма превышений должна быть равна нулю, так как нивелирный ход начинают и заканчивают в одной и той же точке.

## § 82. Виды продольных профилей. Составление подробного продольного профиля

Продольный профиль — это изображение разреза земной поверхности по линии нивелирования на вертикальной плоскости. Продольный профиль трассы представляет собой изображение развертки трассы на вертикальную плоскость.

Различают следующие основные виды профилей:

*Подробный продольный профиль* выполняют в масштабах: горизонтальный 1:10 000, вертикальный 1:1000. Он служит основным документом, по которому выполняют проектирование, а затем строительство железной дороги. На нем в условных обозначениях наносят все линейные сооружения; указывают геологические данные.

*Схематический продольный профиль* составляют в процессе проектирования плана трассы в масштабе карты. Вертикальный масштаб схематического профиля — 1:1000.

*Утрированный профиль* применяют при проектировании реконструкции и капитального ремонта существующих линий и вторых путей.

Горизонтальный масштаб утрированного профиля 1:10 000, а вертикальный 1:100. Такой крупный вертикальный масштаб необходим для того, чтобы наглядно показать изменение высот профиля даже на несколько сантиметров.

Подробный продольный профиль составляют на миллиметровой бумаге с обрезкой по высоте 297 мм, по длине профиль складывается по формату размера — 210 мм. В начале профиля на титульном листе указываются все данные о проектируемой трассе. В конце профиля ставят штамп, в котором указывают

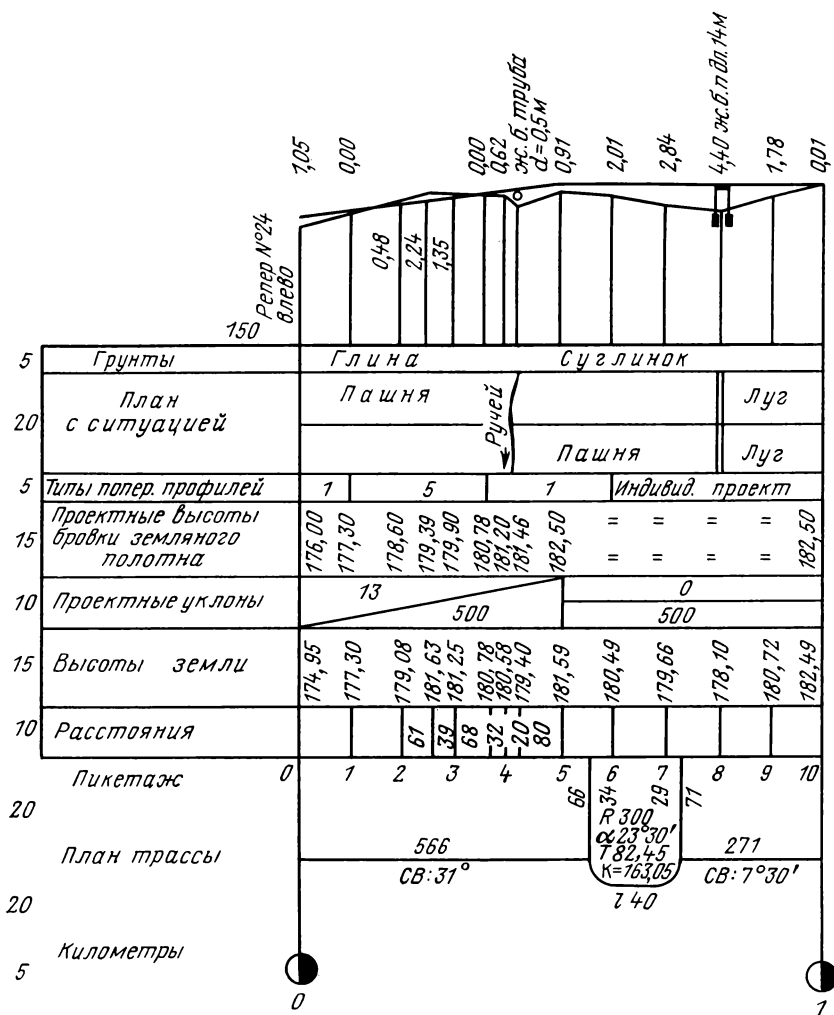


Рис. 89. Подробный продольный профиль

проектную организацию, фамилии исполнителей и руководителей проекта.

Построение продольного профиля производят в такой последовательности:

1. Наносят сетку профиля, наименование граф которой и размеры в миллиметрах приведены на рис. 89.

2. В графе «Расстояния» вертикальными линиями отмечают пикетные и плюсовые точки. Расстояния указывают от заднего пикета до ближайшей плюсовой точки и до переднего пикета. При нескольких плюсовых точках в пределах пикета указывают

расстояния между ними, так чтобы сумма этих расстояний была равна длине пикета (1000 м). Номера пикетов записывают под вертикальными пикетными линиями.

3. В графу «Высоты земли» над соответствующими вертикальными линиями записывают округленные до сантиметров высоты пикетных и плюсовых точек, взятые из журнала нивелирования.

4. Посередине графы «План с ситуацией» проводят красным цветом выпрямленную ось трассы и на основании пикетажного журнала заполняют все данные о ситуации.

5. Наименование грунтов по данным геологических обследований заносят в верхнюю графу профиля.

6. От верхней линии сетки профиля откладывают вертикальные линии, равные в масштабе 1:1000 высотам точек земли. Чтобы отрезки вертикальных линий не превышали 5—10 см, верхней линии сетки профиля — условного горизонта придают соответствующую отметку, например 100 м.

Концы отложенных вертикальных отрезков соединяют прямыми линиями. Полученная ломаная линия — это профиль местности по оси будущего железнодорожного пути.

### **§ 83. Проектирование по продольному профилю. Вычисление проектных высот и уклонов**

После составления продольного профиля поверхности земли по трассе проектируют линию бровки земляного полотна. Построение проектной линии (профиля бровки земляного полотна) производят на основании технических условий (ТУ) согласно строительным нормам и правилам (СНиП). Это сложная инженерно-экономическая задача, состав и методика решения которой подробно рассматриваются в курсе «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог». Ниже рассматривается только геометрическое построение проектной линии с вычислением проектных высот и уклонов.

Проектная линия состоит из сочетания различной протяженности горизонтальных и наклонных линий — площадок, спусков, подъемов. Крутизна спусков и подъемов характеризуется величиной проектного уклона  $i$ .

Точки, в которых заканчивается один уклон и начинается другой, называют точками перелома профиля. Расстояния между точками перелома профиля называют элементами продольного профиля. Наибольшая величина проектных уклонов, как и длина элементов проектирования, определяется техническими условиями проектирования железных дорог. Следовательно, для нанесения проектной линии на профиль необходимо знать максимальную величину проектного уклона и его протяженность, начальную высоту точки нулевого пикета — примыкания трассы к существующему железнодорожному пути, при-

мерные величины рабочих высот проектной линии для обеспечения земляных работ и другие данные.

Например, при нанесении проектной линии на продольный профиль (см. рис. 89) учитывались следующие данные.

Проектная отметка  $ПК0$ :  $H_{ПК0} = 176,00$  м (примыкание к существующей железной дороге). Необходимость устройства круглой железобетонной трубы  $d = 0,5$  м на пикете  $4 + 20$  и железобетонного путепровода на  $ПК8$  длиной 14 м с высотой 182,50 м. Максимальный проектный уклон — не более 15‰.

На основании этих данных проводят проектную линию двумя элементами: уклоном от  $ПК0$  до  $ПК5$  и площадкой от  $ПК5$  до  $ПК10$ . Эти элементы наносят в графе «Проектные уклоны», снизу отрезка пишут протяженность элемента, а сверху — величину проектного уклона.

Проектный уклон  $i$  вычисляют по формуле

$$i = (H_k - H_n)/d, \quad (165)$$

где  $H_k$  — проектная высота в конце элемента;  $H_n$  — проектная высота в начале элемента;  $d$  — протяженность элемента.

Пример.

$$\begin{aligned} H_k &= 182,50; & H_n &= 176,00; & d &= 500 \text{ м;} \\ i &= (182,50 - 176,00)/500 = + 0,013 = + 13 \text{ ‰.} \end{aligned}$$

Для обозначения положительного уклона в графе «Проектные уклоны» проводят диагональ (направленную вверх) и над ней пишут значение уклона в тысячных (промиллях).

От  $ПК5$  до  $ПК10$  нанесена проектная линия с нулевым уклоном (площадка). В графе «Проектные уклоны» посередине проведена горизонтальная линия, над которой нанесена цифра 0, а под ней протяженность элемента — 500.

Проектные высоты вычисляют по формуле

$$H_k = H_n + id. \quad (166)$$

Проектная высота последующей точки равна проектной высоте предыдущей точки плюс произведение уклона элемента на его протяженность:

$$H_{ПК1} = H_{ПК0} + 0,013 \cdot 100 = 176,00 + 1,30 = 177,30 \text{ м.}$$

Аналогично вычисляют проектные высоты всех пикетных и плюсовых точек. Значения проектных высот, округленные до сантиметров, записывают красным цветом в графу «Проектные высоты». По проектным высотам в вертикальном масштабе 1 : 1000 наносят на профиле линию красным цветом. Разность между проектной высотой  $H_{пр}$  и фактической высотой земли  $H_3$  называют рабочей высотой (отметкой). Рабочая высота  $h_p$  показывает глубину выемки или высоту насыпи:

$$h_p = H_{пр} - H_3. \quad (167)$$

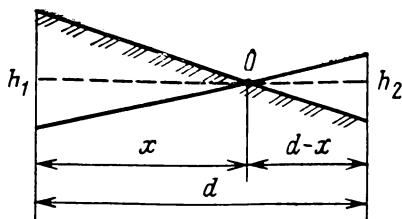


Рис. 90. Схема определения положения точки нулевых работ

Например, рабочая высота на пикете  $O$  равна

$$h_p = 176,00 - 174,95 = +1,05 \text{ м},$$

а на пикете 2

$$h_p = 178,60 - 179,08 = -0,48 \text{ м}.$$

Рабочие высоты надписывают красным цветом над проектной линией, если знак ее (+) — насыпь, и под проектной линией, если знак (—) — выемка. Знаки рабочих высот не указывают.

Если на продольном профиле проектная линия пересекается с линией поверхности земли, рабочая высота в точке пересечения равна нулю.

Такие точки называются нулевыми или точками нулевых работ.

На продольном профиле (см. рис. 89) такими точками являются ПК 1 и точка, лежащая на четвертом пикете.

Расстояние  $x$  от ближайшего заднего пикета до точки нулевых работ определяют из пропорции (рис. 90)

$$x : (d - x) = h_1 : h_2,$$

откуда

$$x = dh_1 / (h_1 + h_2), \quad (168)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — рабочие высоты справа и слева от точки нулевых работ;  $d$  — расстояние между ближайшими рабочими отметками справа и слева от точки нулевых работ.

Пример.

$$h_{ПК3} = -1,35 \text{ м}; \quad h_{ПК4} = +0,62 \text{ м}; \quad d = 100 \text{ м}.$$

В формулу (168) подставляют только абсолютные значения рабочих высот (без учета знаков)

$$x = \frac{1,35}{1,35 + 0,62} \cdot 100 = 68,5 \text{ м}.$$

Значение расстояния до точки нулевых работ округляют до метров и записывают в графу «Расстояния» и проводят ординаты от условного горизонта до точки нулевых работ. Проектную высоту точки нулевых работ вычисляют по формуле (166).

Например, проектная высота точки нулевых работ на ПКЗ+68 будет равна

$$H_{ПКЗ+68} = H_{ПКЗ} + ix = 179,90 + 0,013 \cdot 68 = 179,90 + 0,88 = 180,78.$$

Высоту нулевой точки записывают в графу «Проектные высоты» синим цветом и такую же высоту заносят черным цветом в графу «Высоты земли».

На проектной линии условными знаками (рис. 91) наносят отдельные пункты, путевые здания, искусственные сооружения, переезды.

В графу «План трассы» (см. рис. 89) заносят все данные о прямых и кривых участках трассы: величина азимутов, протяженность участков трассы в плане, все элементы кривых.

Зная угол поворота  $\alpha$ , азимут начального направления трассы  $A_{нач}$ , определяют азимут последующего направления  $A_{посл}$  по формуле

$$A_{посл} = A_{нач} \pm \alpha. \quad (169)$$

Знак (+) ставят при правом угле, а знак (—) при левом. По вычисленным азимутам определяют румбы.

Пример. Угол поворота  $\alpha = 23^\circ 30'$  (лево):

$$A_{нач} = 31^\circ 00';$$

$$A_{посл} = 31^\circ 00' - 23^\circ 30' = 7^\circ 30';$$

$$r_{нач} = CB : 31^\circ 00'; \quad r_{посл} = CB : 7^\circ 30'.$$

Вычисленные значения румбов пишут красным цветом под отрезками прямых участков плана, а их протяженность — над ними. Величины элементов кривых и пикетажное значение главных точек кривых заносят красным цветом в графу «План трассы» в соответствии с пикетажом. На ординатах пишут расстояние в метрах от ближайшего заднего пикета до точек начала и конца кривой. Условный план линии и все надписи на нем выполняют красным цветом. Вычисленная сумма длин прямых и кривых должна быть равна общей сумме участка трассы.

На участке продольного профиля трассы ПК0—ПК10 (см. рис. 89):

$$\begin{array}{r} 566 \\ + \\ 271 \\ \hline 837 \text{ (сумма прямых)} \\ + \\ 163 \text{ (длина кривых)} \\ \hline 1000 \text{ м (длина участка трассы).} \end{array}$$

Построенный в карандаше продольный профиль обводят тушью разными цветами.

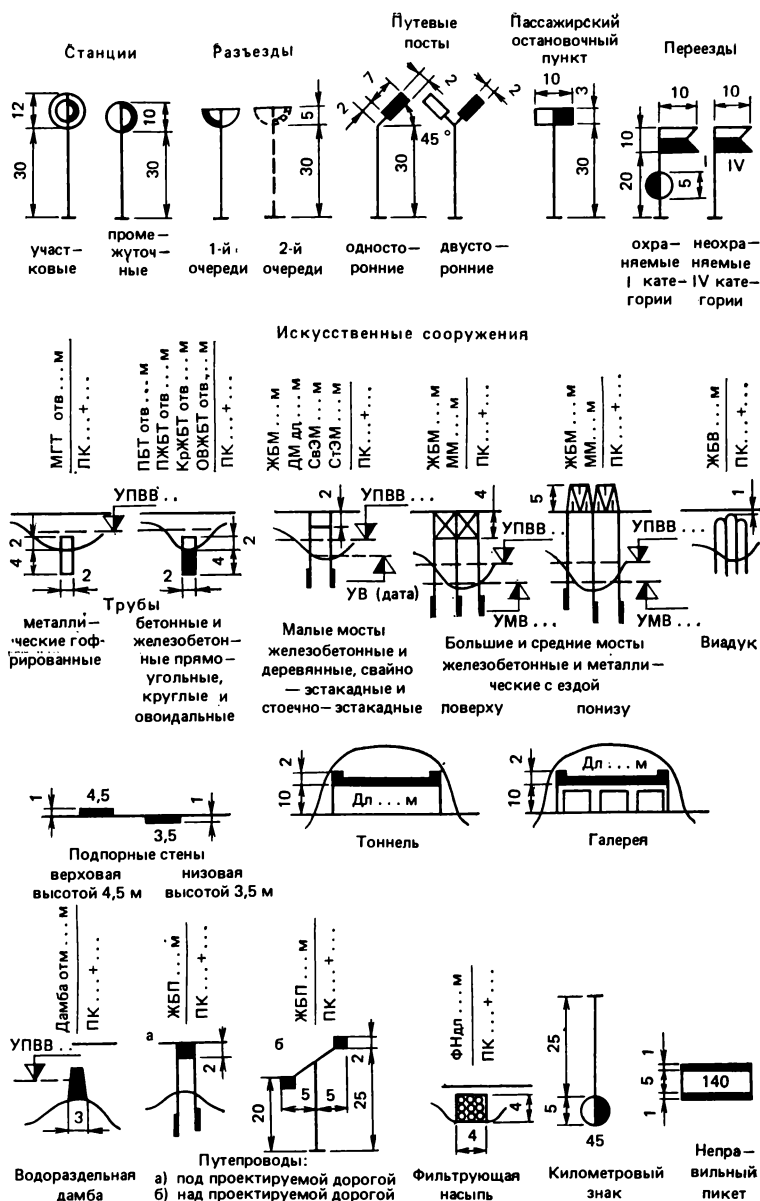


Рис. 91. Условные обозначения линейных сооружений на продольных профилях

Черным цветом обводят все существующие пикеты, расстояния, ситуацию, профиль земли и высоты ее, все линии профильной сетки, кроме трех, ограничивающих графы: проектную

линию, проектные уклоны, проектные высоты, которые обводят красным цветом.

Красным цветом показывают проектируемый план трассы и все надписи на нем, проектную линию, проектные уклоны и высоты, условные знаки на проектной линии.

Синим цветом — горизонты вод у искусственных сооружений и их высоты, высоты точек нулевых работ.

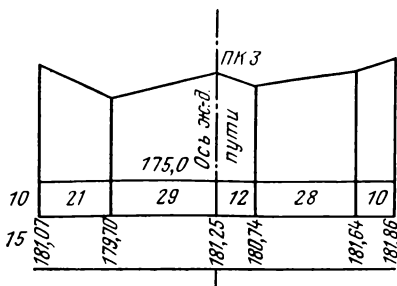


Рис. 92. Поперечный профиль на ПКЗ

## § 84. Составление поперечных профилей

Поперечные профили составляют по данным журнала нивелирования поперечников (см. табл. 15) в масштабах: горизонтальном 1:1000, вертикальном 1:100. Составляют поперечные профили в такой же последовательности, что и продольные. На профильной сетке указывают высоты характерных точек поверхности земли, поперечников, включая высоты точки, на которых он разбит, расстояния между этими точками вправо и влево от трассы. Откладывают в масштабе 1:100 ординаты вверх от горизонтальной линии, которой придают условную высоту, например 175,0 (рис. 92). Полученные точки соединяют ломаной линией, которая и будет изображать поперечный профиль, разбитый в определенной точке трассы, например на ПКЗ.

При проектировании поперечных профилей земляного полотна (насыпей или выемок) поперечные профили строят в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабах 1:100 или 1:200. Изображения выемок или насыпей при этом получаются неискаженными, что позволяет геометрическим способом определить площади поперечных сечений их. Такие вычисления необходимы для подсчета объемов земляных работ на трассе. Принцип обводки поперечных профилей в цвете тот же, что и для продольных профилей: черным цветом обводят линии, высоты точек и расстояния существующие, красным — все проектируемые.

## § 85. Составление плана трассы

План трассы — это проекция трассы на горизонтальную плоскость.

Составляют план трассы в масштабах 1:5000 или 1:10 000. Вершины углов поворота наносят на план по координатам. На предварительных изысканиях трассу допускается наносить по румбам. Проверку правильности нанесенных точек проверяют

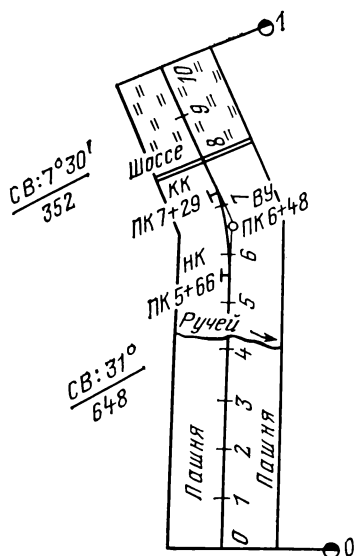


Рис. 93. План участка трассы

измерением расстояний на плане между этими точками (вершинами углов поворота). Расхождения измеренных расстояний с горизонтальными проекциями измерений на местности не должны превышать 0,2 мм на плане. Трассу наносят красным цветом. После нанесения трассы на ней отмечают поперечными черточками положение пикетных и километровых точек, главных точек круговых и переходных кривых (рис. 93). На плане трассы указывают номера пикетных и километровых точек, положение вершины углов поворота и главных точек кривой в пикетажном положении. Величину румба каждого направления трассы пишут над горизонтальной чертой, а под ней — протяженность прямых участков. По данным пикетажного журнала, заполненного при прокладке трассы и разбивке пикетажа, наносят ситуацию в снятой полосе местности шириной не менее 50 м. Все надписи делают красным цветом и располагают параллельно линии трассы. К плану трассы прилагают данные об углах поворота и элементах кривых (табл. 17).

Таблица 17. Ведомость кривых

| № угла                             | Угол поворота $\alpha$ | Радиус $R$ , м | Тангенс суммированный $T_c$ | Кривая $K_c$ , м | Биссектриса $B_c$ , м | Домер суммированный $D_c$ , м | Переходная кривая $l$ , м | Румб $r$ |
|------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------|
| Вершина угла поворота ПК 6 + 48,00 |                        |                |                             |                  |                       |                               |                           |          |
| 1                                  | 23°30' лево            | 300            | 82,45                       | 163,05           | 6,65                  | 1,85                          | 40                        | СВ : 31° |

#### Вопросы для самопроверки

1. В какой последовательности обрабатывают журнал нивелирования трассы?
2. Как определяют высотную невязку при обработке нивелирного журнала?
3. Как находят исправленные высоты точек в нивелирном журнале при увязке нивелирного хода?
4. Перечислите основные виды продольных профилей и дайте их краткие характеристики.
5. Какие графы содержат подробный продольный профиль?

6. Как определить проектный уклон на продольном профиле?
7. Приведите формулу, по которой вычисляют проектные высоты на продольном профиле?
8. Что такое рабочая высота, как ее определяют и где заносят на продольном профиле?
9. Как определить и обозначить расстояние до места нулевых работ на продольном профиле?
10. По каким формулам определяют величину азимута и румба последующего направления трассы, зная угол поворота и азимут начального направления?
11. В какой последовательности составляют поперечные профили трассы?
12. Что содержит план трассы и как его составляют?

## Глава 14

### НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

#### § 86. Способы нивелирования поверхности. Нивелирование по квадратам

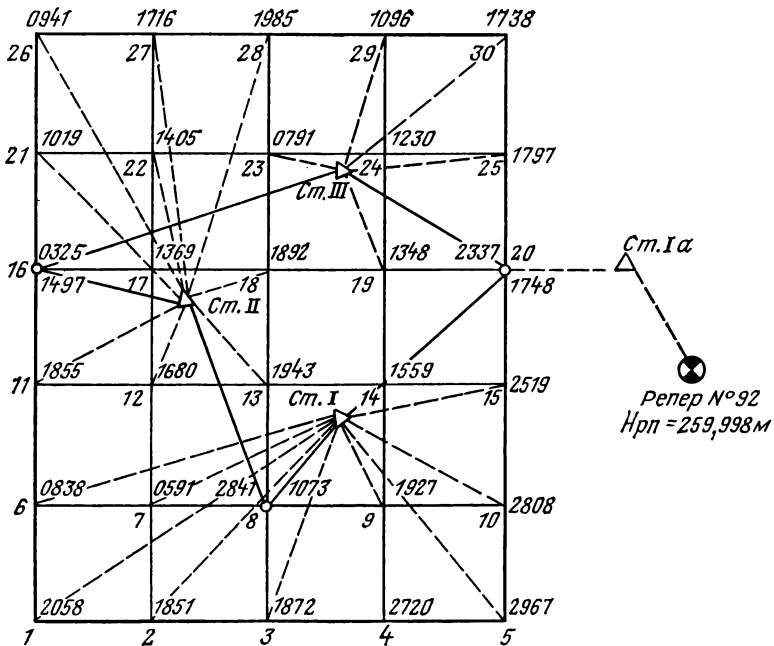
Нивелирование поверхности производят для составления крупномасштабных планов с горизонталями. В зависимости от вида рельефа и поставленных задач для составления планов применяют в основном два вида нивелирования поверхности: по поперечникам с магистральным ходом и по квадратам. При ясно выраженном рельефе по характерным линиям местности прокладывают магистральный ход с разбивкой поперечников на нем. Затем нивелируют все характерные точки поперечников магистрального хода (см. § 79). Для получения топографического плана наносят на бумаге магистральный ход с поперечниками. Полученные нивелированием высоты точек поперечников, округленные до сантиметров, используют для составления плана с горизонталями. Этот способ наиболее применим для составления планов длинных, вытянутых участков местности, например, полосы отвода железнодорожного пути и др.

Нивелирование по квадратам применяют на местности со сравнительно спокойным рельефом, преимущественно равниной, для составления планов в масштабах  $1:200$ — $1:5000$  с сечением рельефа  $0,1$ — $1$  м.

Этим способом нивелируют участки местности, намечаемые под строительство. Стороны квадратов принимают от 20 до 100 м. Подготовку поверхности к нивелированию по квадратам начинают с построения на местности наружного полигона, большого по размерам прямоугольника или квадрата, стороны которых совпадают с границами снимаемого участка или проходят близко к ней (рис. 94, а).

В вершине одной из сторон прямоугольника, например  $I$ , устанавливают теодолит и разбивают под углом  $90^\circ$  сторону  $I$ — $B$ . На сторонах  $I$ — $A$  и  $I$ — $B$  откладывают землемерной лентой или рулеткой стороны квадратов заданной длины (напри-

*а* — абрис нивелируемого участка с разбивкой на квадраты; *б* — схема нивелирования поверхности по квадратам



210

ных сторон наружного прямоугольника. На всех колышках пишут номера точек. Одновременно с разбивкой квадратов снимают контуры ситуации, привязывая их к вершинам квадратов. Все данные заносят в абрис (см. рис. 94, а). Характерные точки рельефа, не совпадающие с вершинами квадратов, отмечают колышками, заносят в абрис и нивелируют одновременно с вершинами квадратов.

Для разбивки квадратов можно применять гониометр или эккер.

### *Нивелирование вершин квадратов*

Для получения высот вершин квадратов производят их нивелирование. Для высотного обоснования на одну из вершин квадратов передают высоту с ближайшего репера. В рассматриваемом примере нивелируемого участка (рис. 94, б) высота исходной точки 20 определена высотной привязкой к реперу 92 со станции нивелирования 1а.

Для нивелирования вершин квадратов прямоугольника намечают станции так, чтобы при их минимальном количестве можно было пронивелировать все точки замкнутым ходом. В рассматриваемом примере таких станций назначено 3. Этими станциями и связующими точками проложен замкнутый опорный ход между точками 20—8—16—20, который и нивелируют. Данные нивелирования опорного хода записывают в журнал нивелирования (табл. 18). По отсчетам, взятым по черным  $a_{\text{ч}}$  и  $b_{\text{ч}}$  и красным  $a_{\text{к}}$  и  $b_{\text{к}}$  сторонам реек, находят превышения

$$h_{\text{ч}} = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}}; \quad h_{\text{к}} = a_{\text{к}} - b_{\text{к}}. \quad (170)$$

Средние превышения  $h_{\text{ср}}$  определяют по формуле

$$h_{\text{ср}} = (n_{\text{ч}} + h_{\text{к}})/2, \quad (171)$$

где  $h_{\text{ч}}$  — превышение, определенное по черной стороне рейки;  $h_{\text{к}}$  — превышение, определенное по красной стороне рейки.

Алгебраическая сумма средних превышений для замкнутого хода должна быть равна нулю:

$$\sum h_{\text{ср}} = 0.$$

Допустимая высотная невязка в замкнутом ходе при техническом нивелировании не должна превышать  $\pm 10\sqrt{n}$ , где  $n$  — число станций нивелирования.

При трех станциях нивелирования предельно допустима высотная невязка

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm 10\sqrt{3} = \pm 10 \cdot 1,73 = \pm 17,3 \text{ мм.}$$

Если невязка допустима, ее распределяют поровну на каждую станцию с обратным знаком (см. табл. 18).

Одновременно с нивелированием связующих точек опорного хода на каждой станции производят отсчеты по черной стороне реек, устанавливаемых в вершинах квадратов. Отсчеты по

**Таблица 18. Журнал нивелирования связующих точек опорного хода**  
 Нивелир Н-3, рейки двусторонние Нивелировал . . . . .

| № станции                                                                              | № точек | Отсчеты по рейкам, мм |                   | Превышения, мм                   |              |                                            |            | Исправленные превышения, мм |      | Отметки точек, м           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|--------------|--------------------------------------------|------------|-----------------------------|------|----------------------------|
|                                                                                        |         | задние                | передние          | вычисленные                      |              | средние                                    |            | +                           | -    |                            |
|                                                                                        |         |                       |                   | +                                | -            | +                                          | -          |                             |      |                            |
|                                                                                        |         |                       | Привязка к реперу |                                  |              |                                            |            |                             |      |                            |
| I <sub>a</sub>                                                                         | РП92    | 1293<br>5978          |                   |                                  |              |                                            |            |                             |      | 259,988                    |
|                                                                                        | 20      |                       | 0680<br>5365      | 0613<br>0613                     |              | 0613                                       |            | 0613                        |      | 260,601                    |
|                                                                                        |         |                       | Опорный ход       |                                  |              |                                            |            |                             |      |                            |
|                                                                                        | 20      | 1748<br>6432          |                   |                                  |              |                                            |            |                             |      | 260,601                    |
| I                                                                                      | 8       | 2841<br>7526          | 1073<br>5759      | 0675<br>0673                     |              | —3<br>0674                                 |            | 0671                        |      | 261,272                    |
| II                                                                                     | 16      | 0325<br>5011          | 1497<br>6180      | 1344<br>1346                     |              | —3<br>1345                                 |            | 1342                        |      | 262,614                    |
| III                                                                                    | 20      |                       | 2337<br>7019      |                                  | 2012<br>2008 |                                            | —3<br>2010 |                             | 2013 | 260,601                    |
| $\frac{\sum a - \sum b}{2} =$<br>$= \frac{23\,883 - 23\,865}{2} =$<br>$= +9\text{ мм}$ |         |                       |                   | 4038                             | 4020         | 2019                                       | 2010       | 2013                        | 2013 | $\sum h_{\text{испр}} = 0$ |
|                                                                                        |         |                       |                   | $\sum h/2 =$<br>$= +9\text{ мм}$ |              | $\sum h_{\text{ср}} =$<br>$= +9\text{ мм}$ |            |                             |      |                            |
| $\Delta h_{\text{доп}} = 10 \sqrt{3} = 10 \cdot 1,73 = 17,3\text{ мм}$                 |         |                       |                   |                                  |              |                                            |            |                             |      |                            |
| $9 < 17$                                                                               |         |                       |                   |                                  |              |                                            |            |                             |      |                            |

черной стороне рейки записывают в журнал нивелирования как промежуточные или заносят в журнал-схему около соответствующих точек (см. рис. 94, б).

## § 87. Обработка материалов нивелирования поверхности по квадратам

Обработку журнала нивелирования поверхности начинают с увязки превышений опорного хода. Если высотная невязка не превышает допустимую, вычисляют исправленные превышения, которые равны вычисленным плюс поправка со знаком, обратным знаку невязки. В нивелирном журнале (см. табл. 18)

таких поправок три, каждая из которых равна 3 мм. Сумма исправленных превышений должна быть равна нулю. По исправленным превышениям вычисляют высоты связующих точек опорного хода 20, 8, 16.

Для определения высот вершин квадратов, проnivelированных из каждой станции, определяют горизонты прибора ГП:

$$\text{ГП} = H_A + a,$$

где  $a$  — задний отсчет.

В рассматриваемом примере

$$\text{ГП} = 260,601 + 1,748 = 162,349 \text{ м};$$

$$\text{ГП} = 261,272 + 2,841 = 264,113 \text{ м};$$

$$\text{ГП} = 262,614 + 0,325 = 262,939 \text{ м}.$$

По отсчетам, записанным на схеме нивелирования (см. рис. 94, б), вычисляют высоты вершин квадратов  $H_C$ :

$$H_C = \text{ГП} - C,$$

где ГП — высота горизонта прибора на станции, с которой нивелировали вершины квадратов;  $C$  — отсчет по черной стороне рейки в вершине квадрата.

В рассматриваемом примере

Станция I

$$H_{15} = 262,349 - 2,519 = 259,830;$$

$$H_{10} = 262,349 - 2,808 = 259,541;$$

$$H_5 = 262,349 - 2,967 = 259,382;$$

$$H_6 = 262,349 - 0,838 = 261,511.$$

Станция II

$$H_{19} = 264,113 - 1,680 = 262,433;$$

$$H_{11} = 264,113 - 1,855 = 262,258;$$

$$H_{21} = 264,113 - 1,019 = 263,094;$$

$$H_{28} = 264,113 - 1,985 = 262,128.$$

Станция III

$$H_{23} = 262,932 - 0,791 = 262,141;$$

$$H_{20} = 262,932 - 1,096 = 261,836;$$

$$H_{30} = 262,932 - 1,738 = 261,194;$$

$$H_{19} = 262,932 - 1,348 = 261,584.$$

## § 88. Составление плана нивелируемой поверхности

Начинают составление плана построением на бумаге в заданном масштабе сетки квадратов и надписывают около каждой вершины их вычисленные высоты, с округлением до 0,01 м. Условными знаками наносят контуры ситуации по данным абриса. Рельеф местности изображают горизонталями. Построение горизонталей можно выполнять аналитическим способом или с помощью палетки. Наиболее распространен для этих целей способ графической интерполяции. Сущность способа графической интерполяции состоит в том, что положение горизонталей на плане с известными высотами определяют графически. Для этого на кальке проводят ряд параллельных

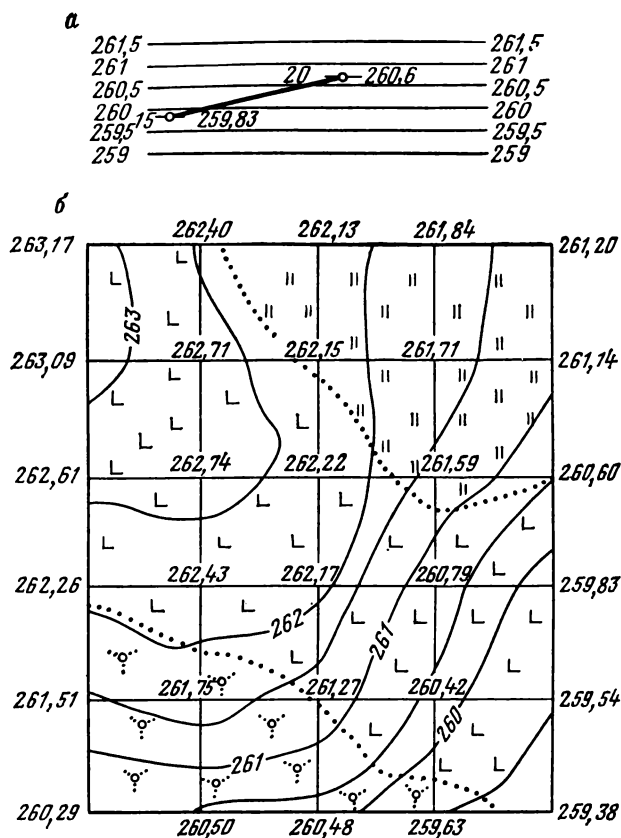


Рис. 95. Составление плана нивелируемой поверхности:

*а* — построение горизонталей графическим интерполированием; *б* — план с горизонталями

равноотстоящих друг от друга линий (рис. 95, *а*). Справа и слева у концов линий пишут высоты, соответствующие заданной высоте сечения рельефа, например через 0,5 м. Рассмотрим нахождение точек пересечения горизонталей 260,0 и 260,5 на стороне квадрата 20—15 с высотами  $H_{20}=260,60$  м и  $H_{15}=259,83$  м. Накладывают кальку на план так, чтобы точки 20 и 15 находились между линиями, соответствующими их высотам (см. рис. 95, *а*). Точки пересечения горизонталей со стороной квадрата накалывают острием карандаша, и их следы отмечают на плане. Аналогично находят положение горизонталей на всех остальных сторонах квадратов. Зачастую на одной кальке не удастся отложить по высоте некоторые стороны квадратов. Для этого заготавливают несколько таких калек с различными надписями высот, а иногда с разными расстояниями между параллельными линиями. Отмеченные на сторо-

нах квадратов (линии) точки с одинаковыми высотами соединяют плавными кривыми линиями — горизонталями. Горизонтали обводят светло-коричневой тушью линиями толщиной 0,2 мм. Горизонтали, кратные 10 м, обводят линиями толщиной 0,4 мм. В разрывах горизонталей пишут их высоту, обращая цифры вверх к вершине склона (рис. 95, б).

#### *Вопросы для самопроверки*

1. В каком порядке нивелируют поверхность по квадратам?
2. Какова последовательность отработки материалов нивелирования поверхности по квадратам?
3. Как составляют план с горизонталями по материалам нивелирования поверхности?

## Глава 15

### **НИВЕЛИРОВАНИЕ ВОДОТОКОВ**

#### **§ 89. Состав основных работ при нивелировании водотоков.**

##### **Определение уклона поверхности воды в реке**

Нивелирование постоянных или временных водотоков производят для проектирования искусственных сооружений: мостов, труб, лотков, дамб и т. п. При эксплуатации искусственных сооружений производят геодезические съемки для составления проектов их реконструкции и ремонта.

Основными геодезическими работами при съемке и нивелировании водотоков являются:

- передача высот через овраги, водотоки;
- определение уклона поверхности воды водотока;
- съемка живого сечения водотока;
- промер глубин;
- определение скорости течения и расхода воды.

*Передача высот через овраги и водотоки.* Если трасса пересекает неглубокие овраги, суходолы и небольшие водотоки (ручьи и т. п.), нивелирование ведут обычным порядком, так как передача высот по пикетажу через связующие точки не вызывает затруднений. При переходе через глубокие и узкие овраги высоту точки, например *ПК15*, с одного склона оврага передают на две связующие точки: точку *X* и точку *ПК 15 + 90*, находящуюся на другом склоне оврага (рис. 96, а). После этого спускаются по склону и нивелируют склоны и дно оврага с одной или нескольких станций.

При очень крутых склонах оврагов применяют ватерпасовку (рис. 96, б), которую выполняют двумя нивелирными рейками и цилиндрическим уровнем. Одну рейку ставят вертикально, а вторую — с помощью наложенного на нее уровня приводят в горизонтальное положение. При этом одновременно

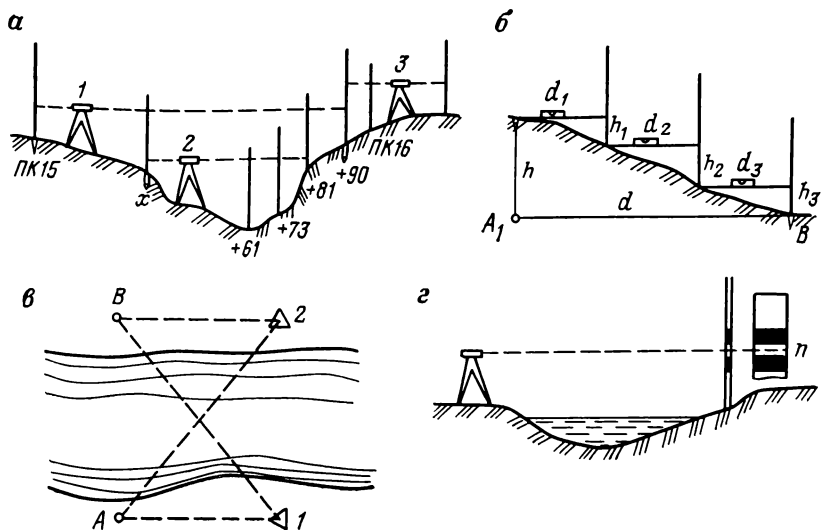


Рис. 96. Передача высот через овраг и водотоки:

*а* — схема нивелирования оврага; *б* — ватерпасовка; *в* — схема передачи высот через водоток шириной до 300 м; *г* — схема передачи высот через водоток шириной более 300 м

определяют превышения  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  и т. д. и горизонтальные проложения  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и т. д. Превышение точки  $M$  над точкой  $N$  будет равно  $h = h_1 + h_2 + h_3$ , а горизонтальное проложение между этими точками  $d = d_1 + d_2 + d_3$ . Обычно ватерпасовку ведут только для нивелирования промежуточных точек, так как для передачи высот связующих точек, например  $M$  и  $N$ , прокладывают в более доступном месте специальный нивелирный ход (обходной).

Если ширина водотока до 300 м (рис. 96, *в*), на обоих его берегах устанавливают закрепленные точки  $A$  и  $B$ . На расстоянии от этих точек выбирают места станций нивелирования  $1$  и  $2$  так, чтобы расстояния  $1A$  и  $2B$  были равны, т. е.  $1A = 2B$ . Со станции  $1$  берут отсчеты по черной и красной сторонам реек, установленных в точках  $A$  и  $B$ . Не меняя фокусировки трубы нивелира, со станции  $2$  берут отсчеты по обоим сторонам рейки, установленной в точке  $A$ . Изменив фокусировку, берут отсчеты по рейке в точке  $B$ . Средние превышения точки  $B$  над точкой  $A$  должны быть одинаковы. Разность превышений, определенных с двух станций, не должна превышать  $\pm 10$  мм на 100 м расстояния. При ширине реки более 300 м рейки, установленные в точках  $A$  и  $B$ , снабжают специальными щитками или на них наклеивают две черные узкие полоски — марки с просветом между ними. Щиток с прорезью или полоски передвигают по команде нивелировщика так, чтобы отсчет при горизонтальном положении визирной оси трубы был между полосками

(рис. 96, з). Отсчет по рейке производит не нивелировщик, который видит в трубу по средней нити только узкую черную полосу, а реечник, стоящий у рейки. Этот отсчет берут по средней линии между просветом щитка или черных полосок.

При нивелировании широких рек зимой во льду вырубая лунки на расстоянии 100—150 м. В них вставляют колья и заливают водой. Нивелирование производят по вмороженным кольям.

В летнее время передачу высоты с одного берега на другой можно производить упрощенным способом по уровню поверхности воды в реке. Нивелирование на одном берегу заканчивают на коле, забитом вровень с водой. Определяют высоту верха кола, забитого на одном берегу, а такую же высоту принимают для верха кола, забитого на другом берегу. Оба кола забивают в одно и то же время, выбрав прямолинейный участок реки (без поворотов) со спокойным течением.

*Определение уклона поверхности воды в реке.* Для определения продольного уклона поверхности воды в реке на ее берегу, на расстоянии 300—500 м друг от друга, вызывают небольшие канавки, в которые забивают колья вровень с водой. Расстояние между кольями тщательно измеряют. Верх кольев нивелируют с привязкой к реперу и вычисляют разность высот их:  $h = H_2 - H_1$ . Уклон поверхности воды в реке на участке 1—2 определяют как разность высот уровня воды в точках 1 и 2, деленной на расстояние между ними,

$$i = h/d = (H_2 - H_1)/d. \quad (172)$$

Чтобы избежать влияния подъема воды в реке, в одно и то же время колья забивают на 20—30 см выше уровня воды в реке, а ножом делают отметки на коле вровень с водой. Линейкой с точностью до 1 мм измеряют расстояние от верха кола до уровня воды. Эти расстояния вычитают при вычислении высот точек уровня поверхности воды в реке.

Пример. Высоты уреза воды в реке в точках 1 и 2 равны  $H_1 = 267,348$  м;  $H_2 = 267,303$  м. Расстояние между точками 300 м. Определить уклон  $i$  на участке реки 1—2

$$i = \frac{267,303 - 267,348}{300} = -0,00015.$$

Для определенного уклона реки на значительном протяжении вдоль ее берега разбивают магистральный ход, опорные точки которого (временные реперы) тщательно нивелируют и закрепляют. Перпендикулярно к магистральному ходу разбивают поперечники, против которых в дно реки забивают колья. Высоты верха кольев определяют нивелированием от временных реперов. Уклон реки определяют на каждом участке, закрепленном двумя крайними соседними точками аналогично описанным выше приемам. Уклон на значительном протяжении реки определяют как среднее арифметическое уклонов отдельных участков.

## § 90. Съёмка живого сечения и построение поперечного профиля реки

Для проектирования мостовых переходов через реки необходимо иметь ее поперечный профиль. Поперечным разрезом или живым сечением реки называют фигуру, ограниченную линией горизонта воды и линией дна (рис. 97, а). Чтобы получить поперечный разрез реки, разбивают створ, перпендикулярный к направлению течения в данном месте реки, который обозначают вехами и закрепляют столбиками. У берегов створа забивают колья  $m, n$  вровень с поверхностью воды. Отметки дна реки получают промером глубин. Если ширина реки до 500 м, вблизи урезов воды прочно закрепляют столбы  $A, B$ , между которыми натягивают стальной трос или канат с метками через 5, 10 или 20 м. Несколько выше первого или параллельно ему натягивают второй канат без мерных меток. Держась за верхний канат и передвигаясь на лодке, измеряют глубину реки у каждой метки каната. Глубины до 5 м измеряют рейкой-наметкой с раскрашенными делениями через 10 см. При глубинах более 5 м и значительном течении применяют лот-линь. Лот — это трос с грузом массой 5—10 кг (для больших глубин — до 20 кг) с прикрепленным к нему канатом с метками

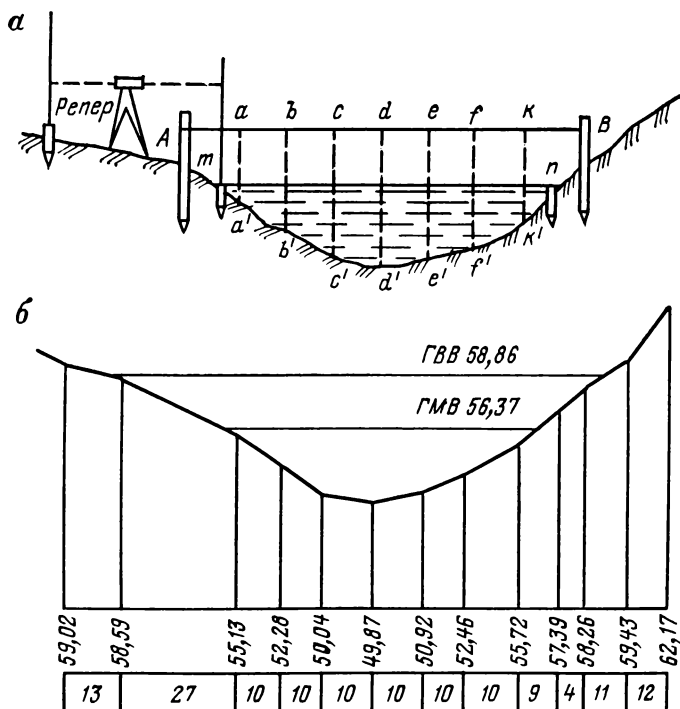


Рис. 97. Живое сечение и поперечный профиль реки

метров и дециметров. Наиболее точные промеры глубин производят, применяя эхолоты, радиолоты и другие приборы. Данные промера глубин заносят в специальный журнал. Все промеры должны быть от одного горизонта воды, а при его изменении приведены к первоначально определенному (расчетному) горизонту. По горизонту воды в реке и величинам глубин вычисляют высоты дна реки в точках измерения.

Пример. Высота горизонта *мл* воды в реке, принятого за расчетный,  $H_{мл} = 256,378$  м.

Глубина реки в точке *a* равна  $h_a = 1,250$  м. Высота точки *a'* дна реки:  $H_{a'} = H_{мл} - h_a = 256,378 - 1,250 = 255,128$  м.

Аналогично определяют высоты всех точек дна реки.

Съемку поперечных разрезов широких рек зачастую производят зимой. Глубину реки измеряют через пробитые во льду лунки. В период изысканий водопропускных сооружений разбивают не менее трех створов: главный створ — по оси перехода, а два других створа — выше и ниже по течению реки на расстоянии один от другого 300—500 м. При съемках живых сечений реки устанавливают горизонты самых высоких (весенних) и самых малых (меженных) вод. Высоты этих горизонтов ГВВ и ГМВ определяют нивелированием. Высокий исторический горизонт (ВИГ) устанавливают по архивным документам или опросам старожилов.

По обработанным данным съемки живого сечения меженных вод и нивелирования створа водотока составляют поперечный профиль реки (рис. 97, б).

## § 91. Определение скорости течения и расхода воды в реке

При выполнении геодезических работ, связанных с изысканиями и проектированием даже малых мостовых переходов, необходимо знать направление течения воды в реке, ее скорость и расход воды, скорость течения воды по ширине реки и ее глубине. Наиболее точные измерения скорости течения воды в реке определяют специальными приборами — гидрометрическими вертушками. Основной частью вертушки являются лопасти пропеллера или турбинка, которые при погружении в воду вращаются под действием водного потока. При помощи счетного механизма определяют скорость течения воды на разной глубине. Наиболее просто скорость течения определяют при помощи поплавков или бутылок, заполненных наполовину водой. Поплавками могут служить полые шары или деревянные диски с удаленной на одну треть диаметра сердцевинкой. Поплавки окрашивают в ярко-красный цвет и нумеруют. На берегу, перпендикулярно к направлению течения реки, разбивают два створа, на расстоянии до 100 м один от другого. Створы обозначают вешками. Поплавки опускают с лодки выше первого створа, находящегося вверх по течению. Когда поплавок прохо-

дит первый створ, включают секундомер, а при прохождении им второго створа секундомер выключают. Разделив расстояние между створами на время, в течение которого поплавков проходит это расстояние, получают скорость течения реки на ее поверхности. Аналогично определяют скорость течения и по другим створам. Зная скорость и площадь живого сечения реки, можно приближенно определить расход воды в реке. Расходом воды в реке называют количество воды, проходящей в одну секунду через поперечное (живое) сечение реки. Чтобы получить более точную величину расхода воды, скорость течения определяют на разной глубине и в различных местах. Тогда расход воды  $Q$  определяют как произведение площади живого сечения  $\omega$  ( $\text{м}^2$ ) и средней скорости течения  $v$  ( $\text{м/с}$ ):

$$Q = \omega v \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (173)$$

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какими способами передают высоты через овраги?
2. Как передают высоты через водотоки шириной до 300 м?
3. В какой последовательности определяют уклон поверхности воды в реке?
4. Какими приемами и приборами пользуются для съемки «живого сечения» водотока?
5. В какой последовательности составляют поперечный профиль реки?
6. Как определить скорость течения и расход воды в реке?

## Раздел четвертый

# ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И АЭРОФОТОСЪЕМКА

---

## Глава 16

### ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИБОРЫ

#### § 92. Сущность тахеометрической съемки.

##### Тахеометрические формулы

Тахеометрической съемкой называют такой вид съемки, при которой одновременно определяют положение точек земной поверхности по трем измерениям: направлению, расстоянию и высоте. В переводе с греческого языка тахеометрия означает быстрое измерение. Такой термин применен потому, что эта съемка характерна значительно меньшими затратами времени на полевые работы.

В результате тахеометрической съемки, при которой определяют совместное плановое и высотное положение рельефа, получают план местности с горизонталями. Тахеометрическая съемка широко применяется при изысканиях и проектировании железных дорог и искусственных сооружений. По материалам тахеометрической съемки составляют крупномасштабные планы с горизонталями, на которых проектируют строительство искусственных сооружений, зданий, путепроводов и других инженерных сооружений.

Выполняют тахеометрическую съемку с помощью круговых тахеометров и тахеометров-автоматов и тахеометрических реек. Расстояния определяют по дальномеру, направления линий — по углам, отсчитываемым на горизонтальном круге, а превышения — методом тригонометрического нивелирования.

Сущность тригонометрического нивелирования состоит в том, что превышение одной точки над другой определяют наклонным лучом визирования. При этом в зависимости от рельефа местности применяют два способа определения превышений: «по высоте прибора» и «по высоте сигнала».

Для определения превышения способом «по высоте прибора» тахеометр устанавливают в точке *A*, приводят его в рабочее положение и выводят уровень алидады вертикального круга на середину (рис. 98, *a*). Затем рулеткой или отвесно поставленной рейкой измеряют высоту прибора *i* — отвесное расстояние от верха колышка точки *A* до оси вращения трубы. Рейку устанавливают в точке *B*. Трубу тахеометра визируют

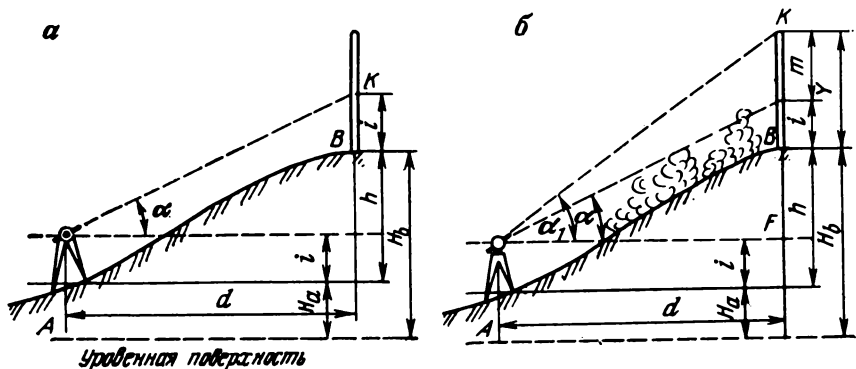


Рис. 98. Схема определения превышения тригонометрическим нивелированием:

а — по высоте прибора; б — по высоте сигнала

так, чтобы средняя нить сетки нитей была наведена на отсчет по рейке, равный высоте прибора  $i$ . По вертикальному кругу производят отсчет и определяют угол наклона  $\alpha$ . Из рис. 98, а

$$h = d \operatorname{tg} \alpha. \quad (174)$$

Расстояние между точками А и В при определении по дальномеру (см. § 41)

$$d = Kn \cos^2 \alpha. \quad (175)$$

Подставляя значение  $d$  в формулу (174), получим

$$h = Kn \cos^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha = Kn \sin \alpha \cos \alpha$$

или окончательно

$$h = 0,5Kn \sin 2\alpha, \quad (176)$$

где  $K$  — коэффициент дальномера;  $n$  — число сантиметровых делений между дальномерными нитями. Из-за встречающихся препятствий навести горизонтальную нить сетки на отсчет по рейке, равный высоте прибора, невозможно. В этих случаях для определения превышений применяют способ «по высоте сигнала». Зрительную трубу при этом визируют на верх рейки или шеста (сигнала) (см. рис. 98, б). Превышение находят по формуле (176) за вычетом отрезка  $m = v - i$ :

$$\begin{aligned} h &= 0,5Kn \sin 2\alpha - m; \\ h &= 0,5Kn \sin 2\alpha + i - v. \end{aligned} \quad (177)$$

Высота точки В будет равна высоте точки А плюс превышение  $h$ :

$$H_B = H_A + h. \quad (178)$$

Знак превышения определяют по знаку угла наклона.

Практически при тахеометрических съемках для определения горизонтальных проложений и превышений пользуются микроалькуляторами, таблицами натуральных значений тригонометрических функций, тахеометрическими таблицами А. С. Никулина, В. Н. Ганьшина и Л. С. Хренова, Г. Г. Егорова и др.

*Пример.* Определить горизонтальное проложение  $d$  и превышение  $h$ , если угол наклона, измеренный тахеометром,  $\alpha = +3^\circ 20'$ , а разность отсчетов по дальномерной рейке  $n = 72$  см при визировании на высоту прибора  $i = 1,30$  м.

По тахеометрическим таблицам \* на стр. 72 находят горизонтальное проложение  $d$  и превышение  $h$  для угла наклона  $\alpha = +3^\circ 20'$ :  $d = 71,8$  м;  $h = +4,18$  м.

Выполняя тахеометрическую съемку, не допускают удаления рейки более чем на 300 м, так как при увеличении этого расстояния возникают ошибки  $f$  в превышениях из-за влияния кривизны Земли и рефракции. Если расстояние между станцией и рейкой не превышает 300 м, поправки в превышении за кривизну Земли и рефракцию не производят.

### § 93. Приборы, применяемые при тахеометрической съемке

Выполняют тахеометрическую съемку круговыми тахеометрами и тахеометрами-автоматами. В качестве круговых тахеометров применяют теодолиты ТТ-5, Т30, Т15, Т10 и другие и модификации оптических теодолитов с компенсаторами при вертикальном круге (см. § 34). Эти теодолиты позволяют измерить горизонтальные и вертикальные углы, магнитные азимуты и румбы, а также расстояния дальномерами. Наиболее трудоемкой работой в процессе съемки указанными теодолитами является определение превышений и горизонтальных проложений линий на местности. Автоматизация тахеометрической съемки достигается применением авторедукционных и номограммных тахеометров ТД, ТН, ТВ, ТА, а также электронного тахеометра ТЭ. Тахеометры-автоматы дают возможность кроме измерения горизонтальных и вертикальных углов автоматически получать величину превышения и горизонтального проложения, производя отсчеты по рейке.

#### *Авторедукционный тахеометр ТД (ТП)*

Выпуск тахеометра ТД предусмотрен в нашей стране ГОСТ 10812—82, до 1975 г. выпускался под шифром ТП. Предназначен для выполнения тахеометрической съемки повышенной точности. Тахеометр ТД (рис. 99, а) сконструирован на базе теодолита Т5К и имеет с ним одинаковые технические характеристики. Оптическая система ТД выполнена также по схеме повторительного теодолита Т5 со стеклянными кругами. Основ-

---

\* Никулин А. С. Тахеометрические таблицы. М., Недра, 1973.

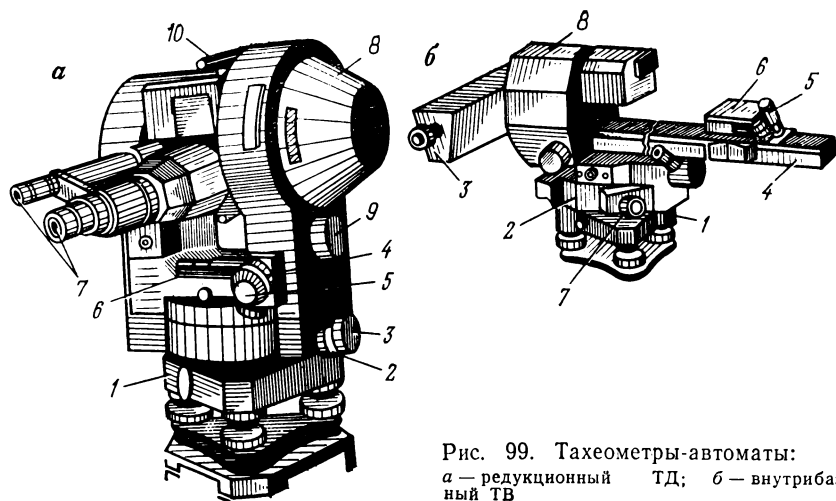


Рис. 99. Тахеометры-автоматы:  
 а — редуцированный ТД; б — внутрибаз-  
 ный ТВ

ные части тахеометра ТД, показанные на рис. 99, а, следующие: 1 — треножник; 2 и 3 — закрепительные и наводящие винты алидады горизонтального круга; 4 и 5 — закрепительные и наводящие винты вертикального круга; 6 — цилиндрический уровень; 7 — окуляр шкалового микроскопа, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы; 8 — место расположения дальномерно-высотного узла; 9 — рукоятка переключения режима работы дальномерно-высотного узла. Зрительная труба тахеометра снабжена оптическим визиром 10.

Цена деления горизонтального и вертикального лимбов —  $1^\circ$ , точность отсчета шкалового микроскопа —  $1'$ . Дальномер тахеометра двойного изображения с неподвижными клиньями оптического компенсатора. Оптический компенсатор работает в режиме дальномера и высотомера. Режим работы задается переводом рукоятки 9, на которой указаны обозначения *S* (режим дальномера) и *H* (режим высотомера). Дальномером тахеометра можно измерять расстояния от 20 до 180 м. Дальномер-высотомер позволяет получать редуцированные (приведенные к горизонтальной плоскости) расстояния, а также автоматически определять превышения. Для этого в заданной точке устанавливают горизонтально на штативе двухметровую рейку. Отсчет по рейке производят по нониусу и отсчетному микроскопу. Грубую установку тахеометра производят по цилиндрическому уровню 6. Точная установка производится автоматически с помощью компенсатора, расположенного в правой колонке тахеометра, состоящего из призмы, подвешенной на упругой пластинке. Компенсатор действует при наклоне вертикальной оси в пределах  $\pm 3'$ . В левой колонке расположена оптическая система, передающая изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов. Центрирование тахеометра

производят с помощью оптического центрира, вмонтированного в алидадную часть. Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний на 100 м не более 3 см, а превышений точек, удаленных на 100 м,— не более 5 см. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла 7", а вертикального — 10". Масса тахеометра ТД — 5,7 кг.

### *Авторедукционный (внутрибазный) тахеометр ТВ*

Выпускается в соответствии с ГОСТ 10812—82. Предназначен для измерения горизонтальных проложений, углов и превышений. Тахеометр ТВ может быть применен при изысканиях железных дорог, строящихся и существующих железнодорожных путей с интенсивным движением поездов, карьеров и в труднодоступных участках местности. Тахеометром определяют расстояния, редуцированные на горизонтальную плоскость, и вычисляют превышения по углам наклона и редуцированным расстояниям. Угломерная часть прибора (рис. 99, б) состоит из «ломаной» зрительной трубы прямого изображения 3, горизонтального круга 2, закрепленного в треножнике 1, и вертикального круга, помещенного в колонке 8. Тахеометр имеет неповторительную систему вертикальной оси. Тахеометр ТВ относится к дальномерам двойного изображения с переменной базой внутри прибора — линейкой 4, отсчеты по которой берут с помощью лупы 5. Изменение базы достигается перемещением каретки с пентапризмой 6 по линейке. В алидадной части прибора расположен окуляр 7 оптического центрира, объектив которого расположен во внутренней полости вертикальной оси. Зрительная труба имеет оптический визир для грубого наведения на цель. Цена деления лимба горизонтального и вертикального кругов — 10'. Точность отсчета по микроскопу  $\pm 1'$ . Отсчеты по горизонтальным и вертикальным кругам берут, как у теодолита Т30. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов — 30", а вертикальных — 40".

Тахеометром можно измерять расстояния при углах наклона  $\pm 45^\circ$  в пределах от 2 до 60 м непосредственно прибором по контуру местности, а от 60 до 180 м — при помощи специальной дальномерной рейки. Дальномерная рейка представляет собой базис, определяемый тремя марками на ней. Расстояния между марками 300 мм. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных проложений на 100 м — 10 см. Масса тахеометра ТВ — 7,5 кг.

На рис. 100, а показан ход лучей в дальномерном узле тахеометра ТВ. Верхнее половинное изображение предмета наблюдают через верхнюю пентапризму 8, юстировочный клин 7, призму 5, объектив 4, линзу 3, разделительное устройство 2 и окуляр 1. Нижнее половинное изображение предмета наблюдают через подвижную пентапризму 9, кольцеобразные клинья компенсатора 6, оптическую систему 5, 4, 2 в окуляр 1.

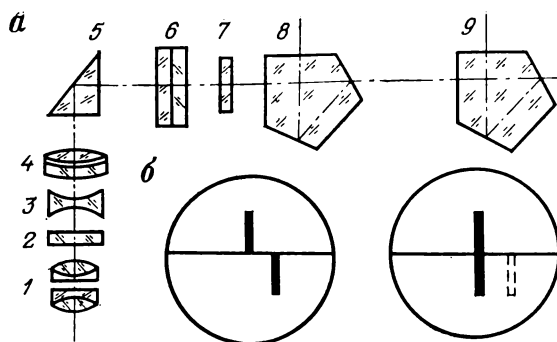


Рис. 100. Тахеометр ТВ:  
а — оптическая схема даль-  
номерного узла; б — поле  
зрения трубы

Чтобы определить расстояние до наблюдаемого предмета, необходимо каретку с пентапризмой 6 переместить вдоль базовой линейки 4 (см. рис. 99, б) до совмещения в поле зрения трубы двух наблюдаемых половинных изображений предмета (рис. 100, б). Затем произвести отсчет по шкале линейки. Отсчет по шкале линейки 1 будет соответствовать горизонтальному проложению  $d$ , так как тахеометр имеет компенсатор, редуцирующий параллактический угол дальномера. Горизонтальное проложение  $d$  определяют по формуле

$$d = Kl, \quad (179)$$

где  $K = 200$  — коэффициент дальномера.

Номограммные тахеометры позволяют получить в поле зрения трубы кривые, по положению которых определяют величину горизонтального проложения и превышения. Наиболее эффективным прибором при тахеометрической съемке высокой точности является электронный тахеометр ТЭ, позволяющий измерять горизонтальные и вертикальные углы с точностью 3 и 5" и определять расстояния с помощью светодальномера до 2 км со средней квадратической погрешностью не более 2 см. Результаты измерений фиксируются на световом табло или на перфоленте.

#### Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность, содержание и цель тахеометрической съемки?
2. Как определяют при тахеометрической съемке превышение и горизонтальное проложение по высоте прибора?
3. В каких случаях при тахеометрической съемке пользуются способом «по высоте сигнала» и как при этом находят превышение и горизонтальное проложение?
4. Как определить, пользуясь тахеометрическими таблицами, превышение и горизонтальное проложение, если известны угол наклона и разность отсчетов по дальномерной рейке?
5. Какие приборы применяют при тахеометрической съемке?
6. Из каких основных частей состоит авторедукционный тахеометр ТД (ТП)?
7. Расскажите об устройстве внутрибазного авторедукционного тахеометра ТВ.
8. Как производят отсчеты в дальномерном узле тахеометра ТВ?

## ПРОИЗВОДСТВО ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА

### § 94. Планово-высотное обоснование тахеометрической съемки. Обработка полевых материалов

При тахеометрической съемке опорными точками планового обоснования служат существующие пункты триангуляции и полигонометрии, а высотного обоснования — марки и реперы. Учитывая, что расстояния между станциями тахеометрической съемки не превышают 200—250 м, для сгущения существующей геодезической опорной сети прокладывают опорные планово-высотные ходы. В зависимости от способов измерения линий и превышений различают следующие виды ходов: теодолитно-нивелирный, теодолитно-высотный и теодолитно-тахеометрический.

Теодолитно-нивелирный ход прокладывают как замкнутый, так и разомкнутый. Он служит планово-высотным обоснованием для крупномасштабной съемки (1:500—1:1000). Высоты точек получают нивелированием теодолитного хода, например вдоль оси железной дороги.

Теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы применяют для составления топографических планов масштабов 1:1000—1:5000. Такие ходы могут быть как замкнутыми (при съемке участков местности), так и разомкнутыми (при съемке вытянутых участков), но должны опираться на опорные точки с известными координатами и высотами. Ниже приводится последовательность прокладки разомкнутого теодолитно-тахеометрического хода.

#### *Рекогносцировка местности*

Съемочные работы начинают с рекогносцировки, т. е. с ознакомления с местностью, назначая при этом направление и вершины опорных ходов и речные точки. Положение станционных опорных точек выбирают так, чтобы с них были хорошо видны речные точки в радиусе до 150 м для снятия рельефа и ситуации. Расстояния между станциями назначают не более 200—250 м. Рекогносцировку заканчивают составлением схемы опорного хода. Схема теодолитно-тахеометрического хода, опирающегося на полигонометрические центры 5 и 12, приведены рис. 101.

#### *Прокладка теодолитно-тахеометрического хода*

Прокладку и съемку опорного хода ведут на основании составленной при рекогносцировке схемы. Выбранные угловые опорные точки — станции закрепляются на местности. На каждой станции измеряют высоту прибора  $i$ . Длину каждой сто-

Теодолит Т30

Высота рейки 3 м

Наблюдатель техник Семенов Б. М.  
17 июля 1984 г.

| № точек<br>наблюдения                                                    | Разность<br>отсчетов,<br>м | Отсчеты по<br>горизонтально-<br>ному кругу | Горизонталь-<br>ный угол | Средний<br>горизон-<br>тальный<br>угол | Отсчеты по<br>вертикаль-<br>ному кругу | Угол<br>наклона $\alpha$ | Горизонталь-<br>ное проложе-<br>ние, м<br>$d = K n \cos^2 \alpha$ | Превышение,<br>м $h_i =$<br>$= 0,5 K n \sin \alpha \times$<br>$\times 2 \alpha$ | Превыше-<br>ние, м<br>$h = h_i +$<br>$+ i - v$ | Высоты<br>точек Н,<br>м |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|
| I                                                                        | 2                          | 3                                          | 4                        | 5                                      | 6                                      | 7                        | 8                                                                 | 9                                                                               | 10                                             | 11                      |
| Ст ПЦ 5 $H_{ст} = 80,80$ м $i = 1,45$ $MO = 0^{\circ}00'$ $i - v = 0,00$ |                            |                                            |                          |                                        |                                        |                          |                                                                   |                                                                                 |                                                |                         |
| I                                                                        | 130,6                      | 69°00'                                     | 69°00'                   | 69°00'                                 | П<br>359°41'                           | — 0°19'                  | 130,6                                                             | — 0,72                                                                          | — 0,72                                         |                         |
| I                                                                        | 130,6                      |                                            |                          |                                        | Л<br>0 19                              | — 0 19                   |                                                                   | — 0,72                                                                          | — 0,72                                         | 80,08                   |
| Ст I $H_{стI} = 80,08$ $i = 1,44$ $MO = 0^{\circ}00'$ $i - v = 0,00$     |                            |                                            |                          |                                        |                                        |                          |                                                                   |                                                                                 |                                                |                         |
| ПЦ5                                                                      | 130,6                      | 359 43                                     | 237 20                   |                                        | П<br>0'19                              | + 0 19                   | 130,6                                                             | + 0,72                                                                          | + 0,72                                         | 80,80                   |
|                                                                          | 151,2                      | 122 23                                     |                          |                                        | 1 12                                   | + 1 12                   | 151,1                                                             | + 3,17                                                                          | + 3,17                                         | 83,25                   |
| II<br>ПЦ5                                                                | 130,6                      | 16 56                                      | 237 20                   | 237 20                                 | Л<br>359 41                            | + 0 19                   | 130,6                                                             | + 0,72                                                                          | + 0,72                                         |                         |
|                                                                          | 151,2                      | 139,36                                     |                          |                                        | 358 48                                 | + 1 12                   | 151,1                                                             | + 3,17                                                                          | + 3,17                                         |                         |
| Ст II $H_{стII} = 83,25$ $i = 1,48$ $MO = 0^{\circ}01'$ $i - v = 0,00$   |                            |                                            |                          |                                        |                                        |                          |                                                                   |                                                                                 |                                                |                         |

|             |       |        |        |                      |            |            |                |        |
|-------------|-------|--------|--------|----------------------|------------|------------|----------------|--------|
| <i>I</i>    | 151,2 | 18 44  | 202 11 | Π<br>358 48          | — 1 13     | 151,1      | — 3,22         | 80,03  |
| <i>III</i>  | 140,8 | 176 33 |        | 2 32                 | + 2 31     | 140,5      | + 6,17         | 89,42  |
|             |       |        | 202 11 | Π                    |            |            |                |        |
| <i>I</i>    | 151,2 | 306 19 | 202 11 | 1 14                 | — 1 13     | 151,1      | — 3,22         | — 3,22 |
| <i>III</i>  | 140,8 | 104 08 |        | 357 30               | + 2 30     | 140,5      | + 6,17         | + 6,17 |
|             |       |        | Cr III | $H_{cr III} = 89,42$ | $i = 1,39$ | MO 0°00'   | $i - v = 0,00$ |        |
| <i>II</i>   | 140,8 | 283 24 | 110 56 | Π<br>357 30          | — 2 30     | 140,5      | — 6,13         | 83,29  |
| <i>ΠЦ12</i> | 106,1 | 172 28 |        | 0 31                 | + 0 31     | 106,1      | + 0,96         | 90,38  |
|             |       |        | 110 56 | Π                    |            |            |                |        |
| <i>II</i>   | 140,8 | 321 13 | 110 56 | 2 30                 | — 2 30     | 140,5      | — 6,13         | — 6,13 |
| <i>ΠЦ12</i> | 106,1 | 210 17 |        | 359 29               | + 0 31     | 106,1      | + 0,96         | + 0,96 |
|             |       |        | ΠЦ12   | $H_{cr} = 90,40$     | $i = 1,42$ | MO = 0°00' | $i - v = 0,00$ |        |
| <i>III</i>  | 106,1 |        |        | Π<br>359,28          | — 0 32     | 106,1      | — 0,99         | 89,41  |
| <i>III</i>  | 106,1 |        |        | Π<br>0 32            | — 0 32     |            | 0,99           | — 0,99 |

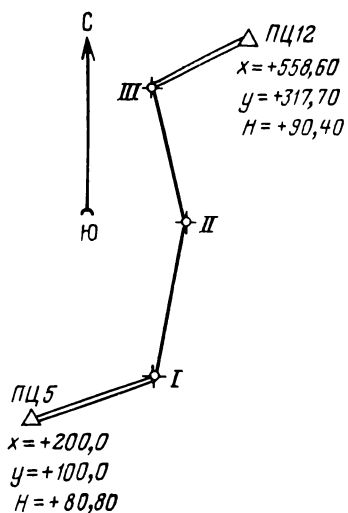


Рис. 101. Схема опорного теодолитно тахеометрического хода

роны хода определяют по дальномеру в прямом и обратном направлениях. Горизонтальные и вертикальные углы измеряют полным приемом при круге право П и круге лево Л. Все отсчеты записывают в журнал теодолитно-тахеометрического хода (табл. 19).

Для проложения теодолитно-тахеометрических ходов применяют теодолиты с точностью отсчета по вертикальному кругу не менее  $30''$ , оптические дальномеры Д-2, ДН-8 и др., а также тахеометры ТД, ТВ, ТЭ и др. При обработке журнала теодолитно-тахеометрического хода вычисляют величину горизонтальных углов, значение места нуля вертикального круга, вычисляют величину вертикальных углов по формулам (72) — (74).

Например, для теодолита ТЗО  $\alpha = (П - Л - 180^\circ) : 2$ .

По тахеометрическим таблицам, например А. С. Никулина, определяют величину горизонтальных проложений и превышений

$$d = K n \cos^2 \alpha; \quad h = 0,5 K n \sin 2 \alpha.$$

Горизонтальные проложения, определенные на станции по дальномеру в прямом и обратном направлениях, не должны отличаться между собой более чем на 1:300, а расхождение в превышениях не более 4 см на 100 м длины стороны хода. На основании обработанного журнала теодолитно-тахеометрического хода составляют ведомость вычисления высот хода (табл. 20). Для разомкнутого тахеометрического хода, проложенного между реперами, алгебраическая сумма превышений не должна отличаться от разности высот конечного и начального реперов более чем на величину допустимой высотной невязки  $\Delta h$ , определяемой по формуле

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm (4 \cdot S_{100} \sqrt{n}) \text{ см}, \quad (180)$$

где  $n$  — число станций хода;  $S_{100}$  — средняя длина линии хода в сотнях метров.

В рассматриваемом примере вычисляют высоты тахеометрического хода ПЦ5 и ПЦ12 (см. табл. 20). Сумма длин четырех сторон хода  $\Sigma d = 528,3$  м, выраженная в сотнях метров —  $S_{100} = 5,3$ ; длина хода:

$$S_{100} = 5,3 : 4 = 1,325.$$

Таблица 20. Ведомость вычисления отметок тахеометрического хода ПЦ5 и ПЦ12

| № станций | Горизонтальное проложение, м | Превышения, м |          |         | Поправка, м | Увязанное превышение, м | Высоты точек, м |            |
|-----------|------------------------------|---------------|----------|---------|-------------|-------------------------|-----------------|------------|
|           |                              | прямые        | обратные | средние |             |                         | выис-ленные     | увязан-ные |
| ПЦ 5      | 130,6                        | -0,72         | +0,72    | -0,72   | -0,01       | -0,73                   |                 | 80,80      |
| I         |                              |               |          |         |             |                         | 80,08           | 80,07      |
| II        | 151,1                        | +3,17         | -3,22    | +3,20   | -0,02       | +3,18                   | 83,25           | 83,25      |
| III       | 140,5                        | +6,17         | -6,13    | +6,20   | -0,02       | +6,18                   | 89,42           | 89,43      |
| ПЦ 12     | 106,1                        | +0,96         | -0,99    | +0,98   | -0,01       | +0,97                   |                 | 90,40      |

$$\Sigma d = 528,3 \text{ м} \quad \Sigma h_{\text{ср}} = +9,66 \text{ м} - 0,06 \quad \Sigma h_{\text{ув}} = +9,60 \text{ м}$$

$$\Sigma d_{100} = 5,3 \text{ сотни м} \quad \Delta h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{ПЦ5}} - H_{\text{ПЦ12}}) = +9,66 - 9,60 = 0,06 \text{ м}$$

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm \left( 4 \frac{\Sigma d_{100}}{4} \sqrt{n} \right) \text{ см} = \pm 4 \frac{5,3}{4} \sqrt{4} = \pm 10,6 \text{ см}; \quad 6 < 10,6.$$

Допустимая высотная невязка  $\Delta h$  при четырех станциях и средней длине хода  $S_{100} = 1,325$

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm (4 \cdot 1,325 \sqrt{4}) = \pm 10,6 \text{ см.}$$

Разность высот конечной  $H_{\text{к}}$  и начальной  $H_{\text{н}}$  точек

$$\Delta h = H_{\text{к}} - H_{\text{н}} = 90,40 - 80,80 = \pm 9,60 \text{ м.}$$

Алгебраическая сумма средних превышений

$$\Sigma h_{\text{ср}} = +9,66 \text{ м.}$$

Полученная высотная невязка

$$\Delta h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{ПЦ12}} - H_{\text{ПЦ5}}) = +9,66 - (90,40 - 80,80) = +9,66 - 9,60 - 0,06 \text{ м} = +6 \text{ см,}$$

6 см < 10,6 см — невязка допустима.

При допустимой невязке ее распределяют, вычисляя поправки, пропорционально длинам сторон. Поправки прибавляют со знаком, обратным знаку невязки, к средним превышениям.

Вычисляют высоты станций по увязанным превышениям по формуле

$$H_N = H_{N-1} + h_{\text{ув}}, \quad (181)$$

где  $H_N$  — высота последующей станции;  $H_{N-1}$  — высота предыдущей станции;  $h_{\text{ув}}$  — увязанное среднее превышение.

Т а б л и ц а 21. Ведомость координат вершин тахеометрического хода

| № точек | Измерен-<br>ные углы | Увязан-<br>ные углы | Дирекци-<br>онные<br>углы | Румбы       | Горизон-<br>тальное<br>продолже-<br>ние $d$ , м | Приращения, м    |                  |              |            | Координаты, м |         |
|---------|----------------------|---------------------|---------------------------|-------------|-------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|------------|---------------|---------|
|         |                      |                     |                           |             |                                                 | вычисленные      |                  | исправленные |            | $x$           | $y$     |
|         |                      |                     |                           |             |                                                 | $\Delta x$       | $\Delta y$       | $\Delta x$   | $\Delta y$ |               |         |
| ПЦ5     |                      |                     | 69°00'                    | CB : 69°00' | 130,6                                           | +0,07<br>+46,80  | +0,09<br>+121,92 |              |            | +200,00       | +100,00 |
| 1       | 237°20'              | 237°20'             |                           |             |                                                 |                  |                  |              |            |               |         |
|         |                      |                     | 11,40                     | CB : 11 40  | 151,1                                           | +0,08<br>+147,98 | +0,11<br>+30,54  |              |            | +246,87       | +222,01 |
| 2       | 202 11               | 202 11              | 349 29                    | C3 : 10 31  | 140,5                                           | +0,08<br>+138,15 | +0,09<br>-25,61  |              |            | +394,03       | +252,66 |
|         |                      |                     |                           |             |                                                 |                  |                  |              |            |               |         |
| 3       | 110 56               | 110 57              | 58 32                     | CB : 58 32  | 106,1                                           | +0,05<br>+55,39  | +0,07<br>+90,49  |              |            | +533,16       | +227,14 |
| ПЦ12    |                      |                     |                           |             |                                                 |                  |                  |              |            |               |         |
|         | 550 27               | 550 28              |                           |             | =528,3                                          | +388,32          | +217,34          | +388,60      | +217,70    | +588,60       | +317,70 |

$$\Sigma x_T = +558,60 - 200,00 = +388,60 \text{ м}$$

$$= 69^\circ 00' - 58^\circ 32' + 180^\circ \cdot 3 = 550^\circ 28'$$

$$f_\beta = 550^\circ 27' - 550^\circ 28' = -01'$$

$$f_{\text{доп}} = 2t \sqrt{n} = \pm 1,7'$$

$$1' < 1,7'$$

$$\Sigma \beta_T = \alpha_0 - \alpha_n + 180^\circ n =$$

$$f_x = +338,32 - 338,60 = -0,28 \text{ м}$$

$$\Sigma y_T = +317,70 - 100,0 = +217,70 \text{ м}$$

$$f_y = +217,34 - 217,70 = -0,36 \text{ м}$$

$$f_P = \sqrt{(0,28)^2 + (0,36)^2} = 0,46$$

$$n = \frac{1}{528,3 \pm 0,46} = \frac{1}{1148}$$

$$\frac{1}{1148} < \frac{1}{1000}$$

Все вычисленные данные заносят в ведомость вычисления высот (см. табл. 20).

Увязку горизонтальных углов и вычисление приращений координат производят так же, как при теодолитной съемке (см. § 49—51). Линейная невязка хода не должна превышать  $0,001 P$ , где  $P$  — длина опорного хода.

Пример обработки ведомости координат тахеометрического хода приведен в табл. 21.

### § 95. Работа с тахеометром на станции. Журнал тахеометрической съемки, абрис

На основе проложенного на местности теодолитно-тахеометрического хода приступают к съемке рельефа и ситуации. В некоторых случаях такую съемку выполняют одновременно с прокладкой тахеометрического хода. На каждой станции произ-

*a*



*б*

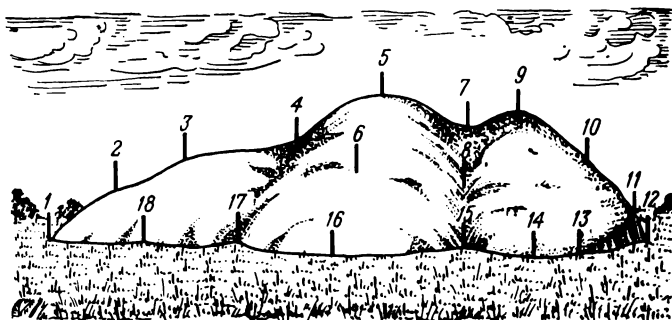


Рис. 102. Назначение речных точек:

*a* — контурных (ситуационных); *б* — высотных

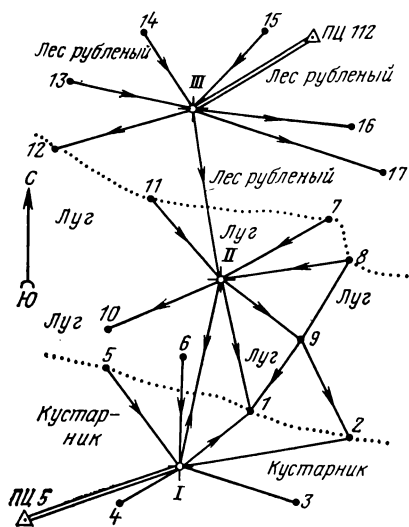


Рис. 103. Абрис

значают высотные точки (рис. 102, б). Их ставят во всех характерных точках и линиях рельефа местности: вершинах холмов 5, 9 и подошвы его 14, 15, 16, 17, 18; мест седловин 7: водоразделов и мест его перегибов 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 6, 16; мест перегибов скатов 8; тальвегов, бровок и дна котловины, уреза воды водоемов и водотоков и во всех других точках, характеризующих формы рельефа. Некоторые реечные точки могут быть одновременно высотными и ситуационными. Количество высотных точек назначают так, чтобы между станциями не осталось неснятых мест. Наибольшее расстояние между высотными точками зависит от масштаба и высоты сечения рельефа и находится в пределах от 15 до 100 м при масштабах от 1:500 до 1:5000 соответственно. Съемку контуров ситуации и рельефа выполняют преимущественно полярным способом. При тахеометрической съемке на каждой станции составляют схематический чертеж местности — абрис (рис. 103). На абрисе показывают все снятые контуры ситуации и рельефа, опорные геодезические точки. Речные точки заносят в абрис пронумерованными, в необходимых случаях схематически наносят направления горизонталей. Стрелками на абрисе показывают направление скатов рельефа. Границы угодий изображают пунктиром, а их названия подписывают. Составлять абрис нужно аккуратно и исчерпывающе по содержанию, так как от его качества зависит правильность изображения на плане ситуации и рельефа местности.

Если съемка выполняется после проложения теодолитно-тахеометрического хода, то тахеометр устанавливают в рабочее положение на каждой из опорных точек (станций), напри-

водят осмотр местности, подлежащей съемке, назначают высотные и контурные (ситуационные) точки. Контурные точки назначают на границах ситуации и угодий, учитывают изгибы снимаемых контуров (рис. 102, а). Съемку контуров ситуации начинают с дальних точек и заканчивают ближними к станции точками. Ситуационные точки колышками не закрепляют. Количество ситуационных точек назначают тем больше, чем крупнее масштаб плана, учитывая, что изгибы снимаемых контуров спрямляются, если в заданном масштабе плана они меньше 0,5 мм. Чтобы снять рельеф местности, вокруг станции на-

мер на станции *I* (см. рис. 103). Измеряют высоту прибора *i* с помощью рейки или рулетки. Цветной ленточкой обозначают отсчет, равный высоте прибора *i*. До начала измерений углов следует привести место нуля вертикального круга к  $0^{\circ}0'$ , что облегчит вычисление углов наклона при съемке (см. § 38). Для измерения горизонтальных углов на каждой станции выбирают начальное (нулевое) направление визирования. Для этого нулевой индекс алидады совмещают с нулем лимба и при закрепленной алидаде визируют зрительную трубу на заднюю или переднюю опорную точку хода, например на станцию *II*. Закрепив лимб и открыв алидаду горизонтального круга, визируют трубу на одну из реечных точек, например на точку *I*. Отсчет по горизонтальному кругу будет выражать горизонтальный угол между стороной тахеометрического хода *I—II* и направлением на точку *I*.

Затем наводят среднюю нить сетки нитей на отсчет по рейке, равный высоте прибора, и берут отсчет по вертикальному кругу. Перед взятием отсчета пузырек уровня вертикального круга устанавливают в нуль-пункт. Расстояния до реечных точек измеряют по дальномеру. Для этого производят отсчеты по нижней и верхней дальномерным нитям и определяют их разность. Аналогичные измерения производят, визируя тахеометр на все ситуационные и высотные точки. При визировании на ситуационные точки измеряют только горизонтальные углы и расстояния по дальномеру. Все данные наблюдений заносят в журнал тахеометрической съемки (табл. 22).

Если тахеометрическую съемку выполняют одновременно с прокладкой тахеометрического хода, то при визировании на станции вертикальный угол и расстояние по дальномеру измеряют дважды, при круге право  $\Pi$  и круге лево  $\Lambda$ .

Сняв в одной станции все ситуационные и высотные точки полярным способом, переходят на следующую опорную точку (станцию *II*) тахеометрического хода. На станции *II* съемку производят в таком же порядке, как и на предыдущей станции. Лимб горизонтального круга прибора ориентируют на предыдущую или на последующую станцию. В рассматриваемом примере (см. табл. 22) лимб ориентирован на станцию *III*.

## § 96. Обработка журнала тахеометрической съемки

Начинают обработку с проверки записей в журнале тахеометрической съемки и правильности составления абриса. Цель обработки журнала — получение высот реечных точек, которые сняты с каждой станции опорного теодолитно-тахеометрического хода, обработка материалов которого приведена в § 94.

Последовательность обработки журнала:

1. Углы наклона вычисляют по формулам:

$\alpha = \Pi - \text{МО}$ ,  $\alpha = \text{МО} - \Pi - 180^{\circ}$  (при работе с теодолитом Т30);

Т а б л и ц а 22. Журнал тахеометрической съемки

Июнь 1984 г.

Наблюдал техник Орлов П. К.

| № точек<br>наблюдений                                                                                                         | Разность<br>отсчетов, см | Горизонталь-<br>ное проло-<br>жение, м | Отсчеты                      |                            | Угол накло-<br>на $\alpha = \frac{\pi - \angle 1}{2}$<br>$\alpha = \text{МО} - \angle 1$<br>$\alpha = \pi - \text{МО}$ | Превыше-<br>ния, м $h_i =$<br>$= 0,5 K h_i \sin 2\alpha$ | Высота визн-<br>рования, м $v$ | Превыше-<br>ния, м $h = h_i + i - v$ | Отметки $H$ | Примечание                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                               |                          |                                        | горизон-<br>тальный<br>круп. | верти-<br>кальный<br>круп. |                                                                                                                        |                                                          |                                |                                      |             |                                                                       |
| 1                                                                                                                             | 67,8                     | 67,8                                   | 39°10'                       | Л<br>358°46'               | — 1°14'                                                                                                                | — 1,45                                                   | $v = i$                        | — 1,45                               | 78,62       | Рейка нивелирная<br>РН-3-3000С<br><br>Коэффициент дальномера<br>K-100 |
| 2                                                                                                                             | 140,0                    | 139,9                                  | 68 42                        | 358 57                     | — 1 03                                                                                                                 | — 2,56                                                   | $v = i$                        | — 2,56                               | 77,51       |                                                                       |
| 3                                                                                                                             | 96,1                     | 96,1                                   | 95 03                        | 359 52                     | — 0 08                                                                                                                 | — 0,22                                                   | $v = i$                        | — 0,22                               | 79,85       |                                                                       |
| 4                                                                                                                             | 52,3                     | 52,3                                   | 230 16                       | 1 11                       | + 1 11                                                                                                                 | + 1,08                                                   | $v = i$                        | + 1,08                               | 81,15       |                                                                       |
| 5                                                                                                                             | 101,3                    | 101,3                                  | 309 54                       | 0 19                       | + 0 19                                                                                                                 | + 0,56                                                   | $v = i$                        | + 0,56                               | 80,63       |                                                                       |
| 6                                                                                                                             | 90,6                     | 90,6                                   | 350 11                       | 0 32                       | + 0 32                                                                                                                 | + 0,84                                                   | $v = i$                        | + 0,84                               | 80,91       |                                                                       |
| Станция I $i = 1,38$ $H_{\text{ст I}} = 80,07$ м $\text{МО} = 0^{\circ}00'$ $\alpha_{\text{I} - \text{II}} = 11^{\circ}40'$   |                          |                                        |                              |                            |                                                                                                                        |                                                          |                                |                                      |             |                                                                       |
| Ориентировка на ст. II                                                                                                        |                          |                                        |                              |                            |                                                                                                                        |                                                          |                                |                                      |             |                                                                       |
| Станция II $i = 1,40$ м $H_{\text{ст II}} = 83,25$ м $\text{МО} = 0^{\circ}01'$ $A_{\text{II} - \text{III}} = 349^{\circ}29'$ |                          |                                        |                              |                            |                                                                                                                        |                                                          |                                |                                      |             |                                                                       |

Теодолит Т30 № 37551

Ориентировка на ст. III

|    |       |       |        |           |        |        |         |        |       |
|----|-------|-------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 7  | 98,3  | 98,2  | 71 16  | Л<br>1 59 | + 1 58 | + 3,37 | $v = i$ | + 3,37 | 86,62 |
| 8  | 104,1 | 104,1 | 92 53  | 0 19      | + 0 18 | + 0,54 | $v = i$ | + 0,54 | 83,79 |
| 9  | 80,5  | 80,4  | 138 44 | 357 53    | - 2 06 | - 2,95 | $v = i$ | - 2,95 | 80,30 |
| 10 | 97,9  | 97,9  | 257 01 | 359 43    | - 0 16 | - 0,46 | $v = i$ | - 0,46 | 82,79 |
| 11 | 86,2  | 86,1  | 328 36 | 2 03      | + 0 02 | + 3,06 | $v = i$ | + 3,06 | 86,31 |

Станция III  $i = 1,39$  м  $H_{ст III} = 89,43$  м  $MO = 0^{\circ}00'$   $А III - ПЦ_{112} = 58^{\circ}32'$

Ориентировка на ст. II

|    |       |       |        |        |        |        |         |        |       |
|----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 12 | 112,2 | 112,2 | 84 02  | 359 44 | - 0 16 | - 0,52 | $v = i$ | - 0,52 | 88,91 |
| 13 | 99,7  | 99,6  | 113 41 | 1 21   | + 1 21 | + 2,34 | $v = i$ | + 2 34 | 91,77 |
| 14 | 74,1  | 73,8  | 158 11 | 3 46   | + 3 46 | + 4,86 | 3,00    | + 3,25 | 92,68 |
| 15 | 84,3  | 84,1  | 234 28 | 2 34   | + 2 34 | + 3,77 | 3,00    | + 2,16 | 91,59 |
| 16 | 128,0 | 128,0 | 286 05 | 359 03 | - 0 57 | - 2,12 | $v = i$ | - 2,12 | 87,31 |
| 17 | 159,4 | 159,4 | 297 33 | 359 06 | - 0 54 | - 2,51 | 3,00    | - 4,12 | 85,31 |

$\alpha = \Pi - \text{МО}$ ,  $\alpha = \text{МО} - \text{Л}$  (при работе с теодолитом ТТ5).  
В приведенном журнале (см. табл. 22) съемка производилась теодолитом Т30 при круге лево Л.

Пример. Отсчет по вертикальному кругу при визировании на точку I со станции I:  $\text{Л} = 358^\circ 46'$ ,  $\text{МО} = 0^\circ$

$$\alpha_1 = \text{Л} - \text{МО} = 358^\circ 46' - 360^\circ = -1^\circ 14'.$$

Угол наклона на точку 4 при  $\text{Л} = 1^\circ 11'$

$$\alpha_4 = \text{Л} - \text{МО} = 1^\circ 11' - 0^\circ = +1^\circ 11'.$$

Аналогично определяют углы наклона для всех остальных реечных точек, снятых со всех трех станций. Полученные данные заносят в графу 5 журнала (см. табл. 22).

2. По разности отсчетов  $n$  между дальномерными нитями (графа 2) определяют горизонтальные проложения от станции до реечных точек, пользуясь тахеометрическими таблицами (например, А. С. Никулин. «Тахеометрические таблицы». М., Недра, 1973), или по формуле

$$d = Kn \cos^2 \alpha.$$

Например, для точки I угол наклона  $\alpha = -1^\circ 14'$ ; разность отсчетов  $n = 67,8$ ; коэффициент дальномера  $K = 100$ .

$$d_1 = 100 \cdot 67,8 \text{ см} \cos 1^\circ 14' = 67,8 \text{ м} \cdot 0,99977 = 67,76 \approx 67,8 \text{ м}.$$

По тахеометрическим таблицам [12] на с. 67 находим значение  $d = 67,0$ , прибавляя значение 0,8, получим  $d_1 = 67,8 \text{ м}$ .

Все полученные значения горизонтальных проложений заносят в графу 3 журнала.

3. Превышения реечных точек определяют по тахеометрическим таблицам или по формуле (177).

Для станции I высота прибора  $i = 1,38 \text{ м}$ ;  $v$  — высота визирования по рейке, при  $i = v$

$$h = 0,5Kn \sin 2\alpha.$$

Например, превышение точки 2 над станцией I при  $\alpha = -1^\circ 03'$ ;  $n = 140$ :

$$\begin{aligned} h_2 &= 0,5 \cdot 100 \cdot 140 \text{ см} \cdot \sin (2 \cdot 1^\circ 03') = 0,5 \cdot 140 \text{ м} \cdot \sin 2^\circ 06' = \\ &= 0,5 \cdot 140 \cdot 0,036643 = -2,56 \text{ м}. \end{aligned}$$

По тахеометрическим таблицам при  $n = 140$  и  $\alpha = 1^\circ 03'$  находим значения  $h_2 = -2,56 \text{ м}$ .

Аналогично вычисляют превышения остальных точек над станциями и заносят данные в графу 7 журнала.

4. Высоты реечных точек  $H_n$  вычисляют по формуле

$$H_n = H_{\text{ст}} + h_n, \quad (182)$$

где  $H_{\text{ст}}$  — высота станции, с которой снята данная точка;  $h_n$  — превышение точки  $n$  над станцией.

Пример.  $H_{\text{стI}} = 80,07 \text{ м}$ ;  $h_1 = -1,45 \text{ м}$ ;  $h_2 = -2,56 \text{ м}$ ;  $h_4 = +1,08 \text{ м}$ .

$$H_1 = 80,07 - 1,45 = 78,62 \text{ м};$$

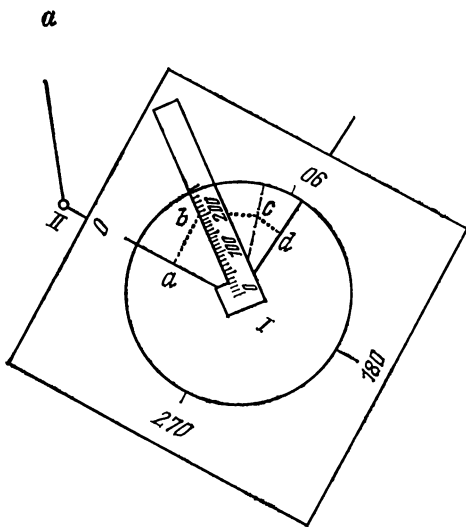
$$H_2 = 80,07 - 2,56 = 77,51 \text{ м};$$

$$H_4 = 80,07 + 1,08 = 81,15 \text{ м}.$$

Все вычисленные значения высот точек заносят в графу 10 журнала (см. табл. 22).

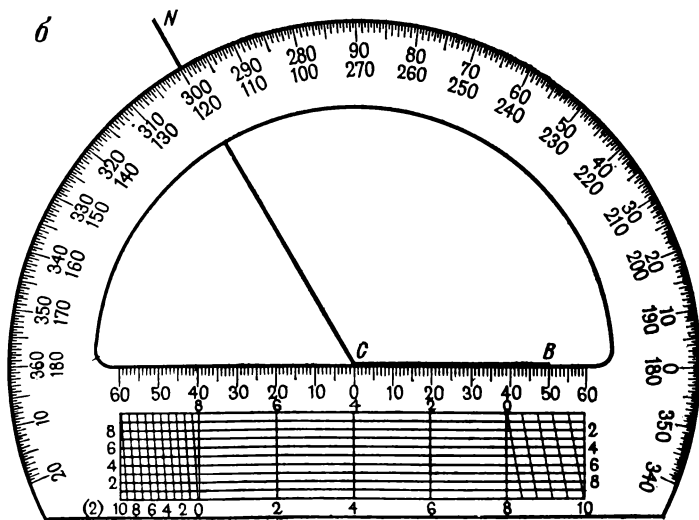
## § 97. Составление плана с горизонталями по материалам тахеометрической съемки

Теодолитно-тахеометрический ход наносят на плане по координатам вершин (опорных точек). Иногда такой опорный ход наносят по горизонтальным проложениям сторон его и дирекционным углам или румбам. Составление плана с горизонталями выполняют в такой последовательности:



**Рис. 104. Транспор-  
тиры:**

*a* — круговой тахеометрический; *б* — геодезический



1. Строят сетку координат (см. § 53) и в зависимости от заданного масштаба оцифровывают ее.

2. Наносят на план опорные точки теодолитно-тахеометрического или теодолитно-нивелирного хода по координатам их вершин (см. § 53).

3. От каждой станции по горизонтальным углам и горизонтальным проложениям сторон (способом полярных координат) наносят все высотные и ситуационные точки. Положение их на плане сверяют с абрисом. Построение положения точек на плане производят, пользуясь круговым тахеометрическим транспортиром (рис. 104, а) или геодезическим транспортиром (рис. 104, б). Наиболее удобен для планового построения то-

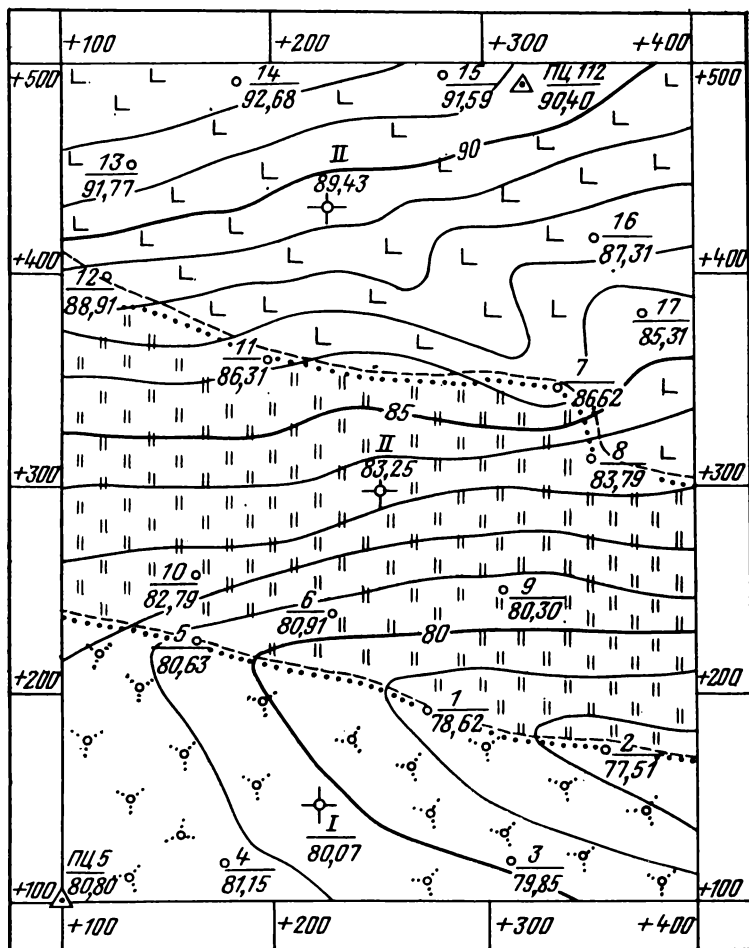


Рис. 105. План участка местности, составленный по материалам тахеометрической съемки

чек круговой тахеометрический транспортир с делениями от 0 до  $360^\circ$ . В центре транспортира вращается линейка с миллиметровыми делениями. Чтобы нанести положение на плане точек, снятых со станции I, центр транспортира совмещают с точкой I, а нулевое деление транспортира — с направлением линии I—II. Держа транспортир неподвижно, вращают линейку, устанавливая ее на величины горизонтальных углов по транспортиру, и откладывают по линейке расстояния до речных точек, например *b*, *c*, *d* (см. рис. 104, а).

4. Каждую речную точку подписывают в виде дроби: числитель — номер точки, а знаменатель — высота точки, округленная до сантиметров.

5. По нанесенным на план ситуационным точкам, пользуясь абрисом, наносят контуры ситуации местности.

6. По высотам станций речных точек производят построение горизонталей способом графической интерполяции (см. § 88, рис. 95, а). Точки с одинаковыми высотами соединяют плавными линиями — горизонталями. Горизонтали обводят тонкими линиями светло-коричневого цвета (жженная сiena), а в их разрывах тем же цветом подписывают высоты. Высоты горизонталей подписывают так, чтобы верх цифры был обращен к вершине ската. Горизонтали, высоты которых кратны 10, обводят толще обычного в 2,5 раза.

7. Оформляют план. Вычерчивают рамку плана аналогично указанному в § 53. Все контуры ситуации и рельефа изображают в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500». Заглавную надпись выполняют над верхней рамкой плана. В учебных целях на плане участка местности сохраняют положение речных точек, станций, их номера и высоты. Под нижней рамкой плана указывают численный масштаб плана, высоту сечения рельефа, масштаб заложений. Примерное оформление плана приведено на рис. 105.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие виды ходов прокладывают при тахеометрической съемке?
2. В какой последовательности прокладывают тахеометрический ход?
3. Расскажите о порядке работы с тахеометром на станции.
4. Что содержит журнал тахеометрической съемки и как его заполняют на станции?
5. В какой последовательности обрабатывают журнал тахеометрической съемки?
6. Как составляют план с горизонталями по материалам тахеометрической съемки?

## § 98. Краткие сведения об аэрофотосъемке

Для составления планов и карт наряду с рассмотренными видами геодезических съемок в настоящее время широко используются фотосъемки. Различают фотосъемку наземную и воздушную (аэрофотосъемку). Наземная фототопографическая съемка выполняется фототеодолитами и стереофотокамерами, по снимкам которых создают топографические планы и цифровые (математические) модели местности.

Аэрофотосъемку выполняют специальными аэрофотоаппаратами (АФА), которые устанавливают чаще всего на борту самолета. По полученным с воздуха фотоснимкам получают топографические планы и карты. Раздел науки, которая занимается процессом получения фотографических снимков для составления топографических планов и карт, называется фотограмметрией.

В фотограмметрии применяют стереофотограмметрический метод, при котором по двум снимкам, полученным из разных точек фотографирования, воспроизводят пространственную модель местности. В зависимости от методов создания топографической карты различают следующие виды аэрофотосъемки: комбинированную и стереофототопографическую.

При комбинированной съемке контурную часть плана наносят по аэрофотоснимкам в результате камеральной обработки, а рельеф изображают на планах по материалам полевых съемок местности. При стереоскопическом методе составления контуров плана и рельефа местности горизонталями выполняют по аэрофотоснимкам в камеральных условиях на специальных стереофотограмметрических приборах. Этот метод позволяет получить одновременно с большой точностью все три координаты каждой точки плана.

Фотографирование местности производят аэрофотоаппаратами (АФА). Аэрофотоаппарат (рис. 106, а) состоит из объек-

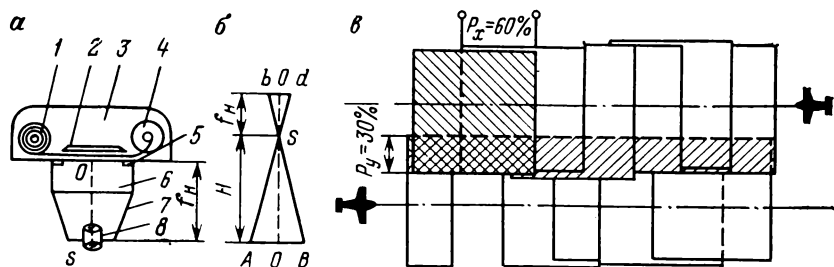


Рис. 106. Аэрофотосъемка:

а — схема аэрофотоаппарата; б — масштаб аэрофотоснимка; в — схема продольного и поперечного перекрытий

тива 8, фотокамеры 6 с конусом 7, кассеты 3 с двумя катушками 1 и 4 для пленки. Светочувствительная фотопленка, перематываясь с катушки 1 на катушку 4, выравнивается в фокальной плоскости объектива прижимной пластиной 2 в плоскости прикладной рамки 5, имеющей форму четырехугольника. Направление перпендикуляра  $O-O$  называют оптической осью аэрофотоаппарата. При фотографировании оптическая ось автоматически поддерживается в отвесном положении с помощью гироскопов. В аэрофотоаппарате осуществлено автоматическое перематывание пленки, ее выравнивание, экспонирование, сохранение заданного интервала между экспозициями. Автоматически, синхронно со скоростью полета самолета, происходит открытие затвора. Управление всеми этими циклами работы происходит автоматически с командного прибора. Полученный аэрофотоснимок представляет собой центральную проекцию (план) местности. Масштаб планового аэрофотоснимка (рис. 106, б) определяют зависимостью

$$ab/AB = f_k/H = 1/m, \quad (183)$$

где  $AB$  — отрезок на местности;  $ab$  — изображение этого отрезка на аэрофотоснимке;  $f_k$  — фокусное расстояние аэрофотокамеры (расстояние от центра объектива до плоскости фотопленки);  $m$  — знаменатель численного масштаба аэроснимка.

Наиболее распространены снимки размерами  $18 \times 18$ ,  $18 \times 24$  и  $30 \times 30$  см.

По виду снимков аэрофотосъемка бывает плановой (если угол отклонения оси фотоаппарата от вертикали не более  $3^\circ$ ) и перспективной — при больших углах отклонения, а снимки — наклонными или перспективными. По характеру летно-съемочных работ и в зависимости от целей и назначения аэрофотосъемка может быть: одинарная (одиночная), которую применяют для получения снимков отдельных объектов; маршрутная, выполняемая вдоль заданного маршрута, например вдоль трассы железной дороги; площадная, которую производят параллельными перекрывающимися маршрутами для получения фотоснимков больших площадей местности. Соседние снимки выполняют с обязательным перекрытием вдоль маршрута не менее 60 %. Такое перекрытие называют продольным. Поперечное перекрытие снимков двух соседних маршрутов должно быть не менее 30—40 % (рис. 106, в).

## § 99. Составление фотосхем и фотопланов

По окончании летно-съемочных работ фотопленку обрабатывают в лаборатории и получают негативы, с которых выполняют контактные отпечатки. Наложением контактных отпечатков с перекрытием общих контуров получают накидной монтаж. Уложенные в таком порядке аэрофотоснимки разрезают посередине перекрытия. Оставшиеся центральные (рабочие)

части снимка подклеивают на жесткую основу (картон, фанеру и др.) и фотографируют. Полученное изображение из рабочих площадей аэрофотоснимков называют фотосхемой. Фотосхемы получают довольно быстро, но они содержат некоторые искажения из-за разномасштабности отдельных частей и других погрешностей.

Разномасштабность в разных частях снимка возникает в том случае, если местность имеет точки с разными высотами и если фотографирование произведено при наклонном положении оптической оси. Для приведения снимков к одному масштабу и устранения искажений оси аэрофотоаппарата от вертикали производят трансформирование их. Трансформирование выполняют на специальных приборах — фототрансформаторах (рис. 107, а). В результате трансформирования получают в заданном масштабе фотоснимок, который привязывают к пунктам опорной геодезической сети по характерным опознавательным точкам. Из рабочих площадей трансформированных и привязанных к точкам основы снимков получают фотографическое изображение участка местности — фотоплан. Далее фотопланы дешифрируют, т. е. распознают отдельные объекты и контуры местности по фотографическому изображению их. Дешифрирование выполняют в камеральных и полевых условиях. Камеральное дешифрирование выполняют по образцам, с которыми сравнивают объекты, изображенные на снимках. При полевом дешифрировании такое распознавание производят непосредственно на местности по имеющимся аэрофотоснимкам. Качество камерального дешифрирования значительно повышается при использовании пространственной (стереоскопической) модели местности, получаемой с помощью специальных приборов — стереоскопов. Стереоскоп состоит из четырех зеркал 1, между которыми расположены лупы 2, позволяющие рассматривать аэроснимки с увеличением. Зеркально-линзовый стереоскоп, схематическое изображение которого представлено на рис. 107, б, позволяет получить ощущение объемности местности (стереомодели) при рассмотрении одновременно левым и

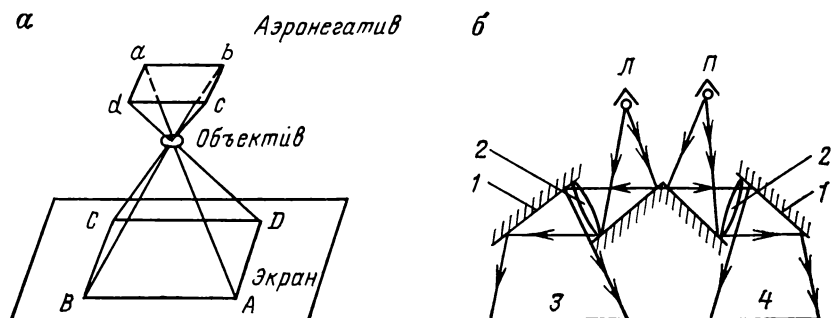


Рис. 107. Трансформирование аэрофотоснимка:

а — схема фототрансформатора; б — схема зеркального линзового стереоскопа

правым глазами (Л и П) двух снимков 3 и 4, снятых с разных точек.

По фотоплану наносят все контуры местности в соответствии с условными знаками и получают контурный план местности. Составление плана с горизонталями на основе контурного плана при комбинированной аэрофотосъемке выполняют по материалам полевых работ по наземной съемке рельефа. При стереофотограмметрической аэрофотосъемке выражение рельефа на плане горизонталями выполняют в камеральных условиях на специальных приборах по стереомодели местности.

## **§ 100. Применение аэрофотосъемки при изысканиях и проектировании железных дорог**

Технические изыскания, проводимые при проектировании железных дорог, состоят из комплекса топографо-геодезических, инженерно-геологических и гидрологических работ. Наземные методы геодезических съемок и геологических обследований отличаются большой трудоемкостью, сравнительно малой подвижностью изыскательских отрядов и высокой стоимостью выполняемых работ. Поэтому при технических изысканиях широко применяются аэрометоды: аэрофотосъемка, аэрогеологические и аэрогидрометрические обследования. Применение аэрометодов позволяет значительно снизить трудовые затраты, получить планы с большой полнотой и объективностью материала, улучшить условия труда изыскателей.

Сочетание аэрофотосъемки с наземными изысканиями при проектировании железных дорог получило широкое распространение. Особенно эффективным оказалось применение аэрометодов при изысканиях железных дорог большой протяженности в сложных топографических и геологических условиях труднодоступных и отдаленных мест при отсутствии крупномасштабных карт. Это в полной мере подтвердилось, например, при изыскании, проектировании и строительстве Байкало-Амурской и Амурско-Якутской магистралей.

При предварительных изысканиях применяют аэровизуальное обследование, т. е. визуальный обзор с борта летящего самолета местности, по которой пройдет будущий железнодорожный путь. По результатам аэровизуальных наблюдений составляют абрисы, уточняют имеющиеся карты, выполняют отдельные снимки. Этот материал поможет предварительно выбрать наиболее вероятные направления трассы и спланировать дальнейшие работы по аэрофотосъемке. В настоящее время в практике инженерных изысканий широко используются электронно-вычислительные машины (ЭВМ), с помощью которых по данным аэрофотосъемки составляют цифровую модель местности (ЦММ). Цифровая модель местности представляет собой множество цифр, выражающих значение координат, высот точек местности. Такие цифровые модели, несущие полную

информацию о контурах и рельефе местности, используются при проектировании железных дорог при выборе варианта трассы.

Аэрогеологические обследования позволяют установить на аэроснимках границы распространения горных пород различного состава и другие геологические данные, необходимые для проектирования и строительства железных дорог. При выборе мостовых переходов через водотоки изыскатели используют данные аэрогидрологических обследований.

За последние годы стереотопографическая аэрофотосъемка нашла широкое применение при проектировании и переустройстве станций и узлов, сооружений вторых и третьих путей, электрификации железных дорог, энергоснабжения и связи.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Расскажите кратко об устройстве аэрофотоаппарата.
2. Как определяют масштаб аэрофотоснимка?
3. Дайте понятие о составлении фотосхем и фотопланов по материалам аэрофотосъемки.
4. Что содержит дешифрирование аэрофотоснимков?
5. Где применяют аэрофотосъемку при строительстве железных дорог?

## Раздел пятый

# ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

---

## Глава 19

### ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРИВЫХ

#### § 101. Детальная разбивка кривых способом прямоугольных координат от тангенсов

При возведении земляного полотна и укладке верхнего строения пути, кроме закрепленных главных точек кривой (НК, СК, КК), необходимо иметь ряд точек по оси пути на расстоянии 5, 10 или 20 м. Установку таких точек на оси кривой называют детальной разбивкой кривой. Известно несколько способов детальной разбивки кривых: прямоугольных координат от тангенсов, засечек концами хорд, способ продолженных хорд и др. В практике наиболее применимы первые два способа. Каждый из них применяют в зависимости от местных условий. Для детальной разбивки чистой круговой кривой (без переходных кривых) применяют способ прямоугольных координат от тангенсов (рис. 108, а). Положение каждой точки, например  $M$ , лежащей на оси круговой кривой, определяется абсциссой  $x$  и ординатой  $y$ . Данные для разбивки находят в «Таблицах для разбивки кривых на железных дорогах» (авт. Д. И. Власов и В. Н. Логинов) [2] по табл. 5 (с. 460—487). Координаты, приведенные в табл. 5, определены по формулам

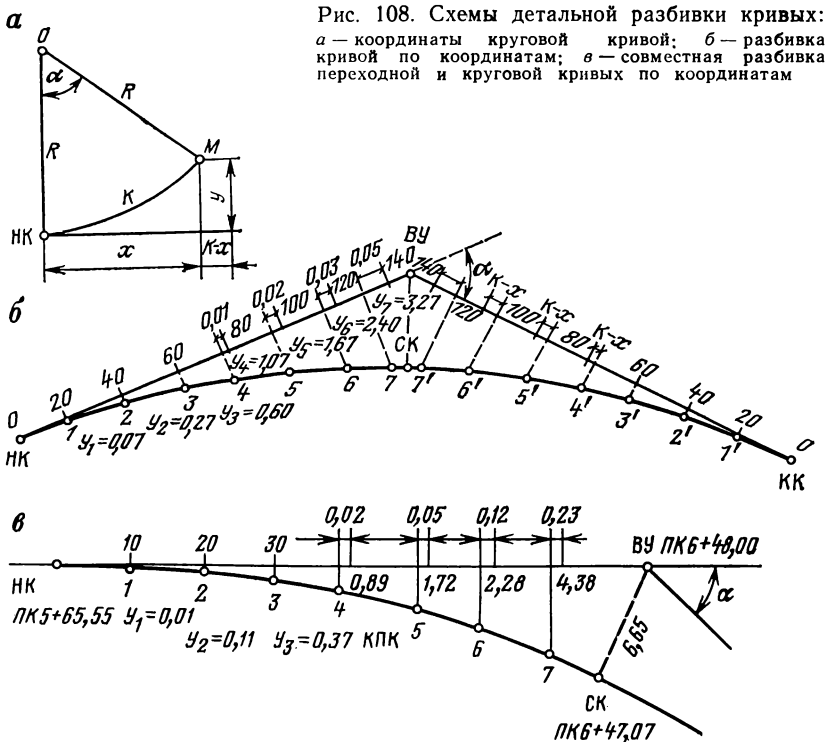
$$x = R \sin \alpha; \quad y = R (1 - \cos \alpha), \quad (184)$$

где  $\alpha$  — центральный угол отрезка кривой;  $R$  — радиус круговой кривой;  $x$  и  $y$  — прямоугольные координаты определяемой точки кривой.

За начало координат принимают точку НК, а направление тангенса принимают за ось абсцисс.

**Пример.** Найти данные для разбивки чистой круговой кривой радиуса  $R=300$  м при длине 300 м и угле поворота  $\alpha=5^\circ 44'$ . Определяют длину половины кривой:  $K/2=300/2=150$  м.

По табл. 5 (см. 460—461) [2], часть которой приведена в прил. 7, находят значения  $y$  и  $(K-x)$  через каждые 20 м,  $K$  — длина отрезка кривой от начала НК до определяемой



точки;  $(K - x)$  — разность длин отрезка кривой  $K$  и абсциссы  $x$  (см. рис. 108, а).

|                     |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K$ , м . . . . .   | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  |
| $K-x$ , м . . . . . | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| $y$ , м . . . . .   | 0,07 | 0,27 | 0,60 | 1,07 | 1,67 | 2,40 | 3,27 |

Детальную разбивку ведут в такой последовательности. Мерную ленту укладывают по направлению тангенса от точки  $HK$  и в конце ее по перпендикуляру откладывают величину ординаты  $y=0,07$  (рис. 108, б). Это и будет точка 1 на кривой. Аналогично разбивают точки 2 и 3. Для разбивки точки 4 в конце четвертой ленты (80 м) откладывают назад по тангенсу  $(K - x)=0,01$  м и из этой точки восставляют перпендикуляр, на котором отмеряют ординату  $y=1,07$  м. Так разбивают точки 5, 6, 7 до середины круговой кривой. Другую половину круговой кривой разбивают от точки  $KK$ , двигаясь от конца круговой кривой к вершине угла поворота. Если кривая разбита правильно, то точки 7 и 7' должны лежать на одинаковом расстоянии по обе стороны от точки середины круговой кривой  $СК$ . При сопряжении круговой кривой с прямыми через переходные кривые детальную разбивку производят совместно. Данные для

детальной разбивки переходных и следующей за ними круговой кривой по координатам от тангенсов находят по табл. 3 (с. 402—436 [2]). Например, при радиусе  $R=300$  м, длине переходной кривой  $l=40$  м и длине кривой 163 м находят следующие данные для детальной разбивки кривой через 10 м (прил. 8).

|                     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K$ , м . . . . .   | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   |
| $K-x$ , м . . . . . | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,12 | 0,23 | 0,40 |
| $y$ , м . . . . .   | 0,01 | 0,11 | 0,37 | 0,89 | 1,72 | 2,88 | 4,38 | 6,20 |

Последовательность совместной разбивки переходных и следующей за ними круговой кривой точно такая же, как при разбивке чистой круговой кривой. Значения  $K-x$  (кривой без абсциссы) и ординаты  $y$  в конце переходной кривой выделены жирным шрифтом (точка 4). В этих точках на сторожках пишут  $KPK$  — конец переходной кривой (рис. 108, в). Другую половину кривой разбивают от конца кривой  $KK$  к вершине угла поворота.

При нескольких углах поворота образуется некоторое число кривых, идущих в стык одна к другой. Детальную разбивку таких составных кривых выполняют для каждой кривой отдельно в описанном выше порядке, как при одном угле поворота, т. е. разбивку первой половины кривой ведут от начала кривой  $HK$ , а затем от точки  $KK$  к вершине угла. От начала кривой  $HK_1$  первого угла поворота  $\alpha_1$  разбивают переходную кривую по табл. 3 [2]. Вторая ее половина от  $KK_1$  разбивается как чистая круговая кривая, смещенная внутрь на величину сдвижки  $p$ . Эту половину кривой, как и все остальные промежуточные круговые кривые, разбивают по табл. 4 (с. 437—459) [2]. Последнюю кривую разбивают аналогично первой: одну ее половину от точки  $KK_3$  до вершины угла  $BV_3$  по табл. 3, а вторую половину — по табл. 4.

## § 102. Детальная разбивка кривых засечками

Если разбивка кривых по координатам от тангенсов затруднена из-за стесненных условий на крутых косогорах, высоких насыпей, в глубоких выемках, применяют способ детальной разбивки кривых засечками концов хорд. Этот способ пользуется преимуществом и при разбивке кривых в застроенной местности и в горной местности. Для разбивки применяют теодолит и 20-метровую мерную ленту. Данные для разбивки переходных и следующей за ними круговой кривой находят по табл. 6 (с. 488—505 [2]).

Сущность этого способа поясним на примере детальной разбивки кривой  $R=300$  м, длине переходной кривой 40 м и хорде  $a_0=20$  м. По табл. 6 (прил. 9) находят значения углов  $\delta$  при хорде  $a_0=20$  м и указанных  $R$  и  $l$ .

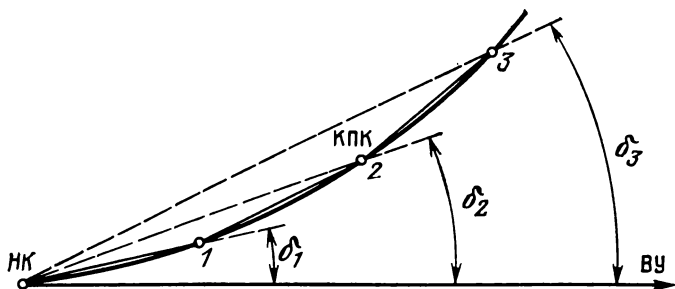


Рис. 109. Разбивка кривой засечками концов хорд

|                           |                    |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $K$ , м . . . . .         | 20                 | 40                 | 60                 | 80                 | 100                |
| $\delta$ . . . . .        | $0^{\circ}19'06''$ | $1^{\circ}16'23''$ | $2^{\circ}45'30''$ | $4^{\circ}27'20''$ | $6^{\circ}14'14''$ |
| $\Delta a_0$ , см . . . . |                    |                    | 1                  |                    |                    |

Разбивку ведут в следующем порядке. В начале кривой  $НК$  устанавливают теодолит в рабочее положение и, совместив нули алидады и лимба, визируют теодолит на вершину угла поворота  $ВУ$  (рис. 109). Закрепив лимб, поворачивают алидаду на угол  $\delta_1 = 0^{\circ}19'06''$ . Закрепив в точке  $НК$  шпилькой мерную ленту  $a = 20$  м, вращают ее вокруг закрепленной точки на угол  $\delta_1$  до совпадения конца ленты с вертикальной нитью сетки зрительной трубы теодолита. В этой точке забивают колышек, на сторожке которого пишут цифру 1. Затем поворачивают алидаду на угол  $\delta_2 = 1^{\circ}16'23''$ . Мерную ленту переносят вперед и закрепляют ее нулевое деление в точке 1. Вращают натянутую ленту вокруг точки 1 до совпадения конца ленты с вертикальной нитью сетки трубы теодолита. В конце ленты забивают колышек — так находят точку 2. Далее разбивку ведут в такой же последовательности до середины кривой. Вторую половину кривой ведут аналогично от конца кривой  $КК$  к середине кривой.

При разбивке теодолитом, точность которого  $30''$ , возможны невязки до 20 см. При этом последняя точка разбивки не совпадает с ранее установленной точкой  $СК$ . Чтобы устранить эти несовпадения, производят перестановку забитых колышков на небольшую величину пропорционально расстоянию от начала разбивки до каждой из точек.

### § 103. Разбивка сопряжений элементов продольного профиля

Проектная линия продольного профиля (см. § 83) состоит из отдельных элементов — площадок, спусков и подъемов. Эти точки примыкания различных элементов профиля называют переломом профиля. Величину перелома профиля характеризует алгебраическая разность уклонов

$$\Delta i = i_1 - i_2, \quad (185)$$

где  $i_1$  и  $i_2$  — величины смежных уклонов.

При алгебраической разности уклонов более 3‰ устраивают вертикальные кривые радиусами  $R_v$  на линиях категорий: I — 15 000 м; II и III — 10 000 м; IV — 5000 м; на подъездных путях IV и V категорий — 3000 м.

Тангенс вертикальной кривой (рис. 110)  $T_v$  определяют по формуле

$$T_v = R_v \Delta i / 2000, \quad (186)$$

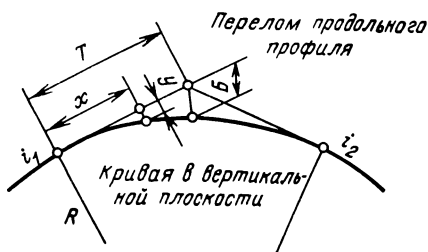


Рис. 110. Элементы вертикальной кривой

откуда тангенс вертикальной кривой в зависимости от радиуса:

|                     |               |             |               |               |
|---------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| $R_v$ , м . . . . . | 15 000        | 10 000      | 5000          | 3000          |
| $T_v$ , м . . . . . | $7,5\Delta i$ | $5\Delta i$ | $2,5\Delta i$ | $1,5\Delta i$ |

Высоты проектной линии изменяются на величину  $y$  на расстоянии  $x$  от начала вертикальной кривой (НВК) или от ее конца (КВК), которую определяют по формуле

$$y = x^2 / 2R_v. \quad (187)$$

Биссектрису  $B_v$  вертикальной кривой при  $x = T_v$  определяют как максимальную ординату  $y$  в точке перелома профиля:

$$B_v = T_v^2 / 2R_v. \quad (188)$$

Подставляя значение тангенса из формулы (186), получим

$$B_v = R_v^2 \Delta i^2 / 2000 \cdot 2R_v = R_v \Delta i^2 / 8 \cdot 10^6. \quad (189)$$

Чтобы разбить вертикальную кривую, надо найти ее начало (НВК), конец (КВК) и ординаты уменьшения или увеличения проектных высот через 5, 10 или 20 м.

Данные для разбивки находят по таблицам Д. И. Власова и В. Н. Логинова (прил. 10), в которых приведены значения  $x$  и  $y$ , соответствующие длинам тангенса и биссектрисы для величин  $\Delta i$  и  $R_v$ .

Пример. Найти данные для разбивки вертикальной кривой для линии II категории при  $i_1 = +5\text{‰}$  и  $i_2 = -4\text{‰}$ . Радиус вертикальной кривой для данной категории — 10 000 м. Алгебраическая разность  $\Delta i$ :

$$\Delta i = i_1 - i_2 = 5 - (-4) = 9\text{‰}.$$

По табл. 8 (прил. 10) находят значения  $T_v$  и  $B_v$ :

$$T_v = 45 \text{ м}; \quad B_v = 0,10 \text{ м}.$$

#### Вопросы для самопроверки

1. Приведите схему детальной разбивки кривых способом прямоугольных координат от тангенсов.
2. Как пользоваться таблицей для нахождения данных для разбивки круговой кривой по ординатам от тангенсов?

3. Найдите данные для разбивки круговой и переходных кривых способом прямоугольных координат при радиусе круговой кривой  $R=300$  м и длине переходной кривой  $l=60$  м.
4. Как выполняют детальную разбивку составной кривой?
5. Выполните схему детальную разбивку кривой способом засечек концами хорд.
6. Приведите пример пользования таблицей для разбивки кривой способом засечек концами хорд.
7. Как сопрягают элементы продольного профиля?
8. Найдите данные для разбивки сопряжения продольного профиля вертикальной кривой радиуса  $R=10\,000$  м и алгебраической разности уклонов  $\Delta i=8\text{ ‰}$ .

## Глава 20

# ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

## § 104. Задачи и содержание геодезического обслуживания при постройке железнодорожного пути

Строительство железной дороги включает целый комплекс работ, в который входит возведение железнодорожных путей на перегонах, разъездах, станциях с расположенными на них водопропускными, искусственными сооружениями, линейными и другими зданиями и сооружениями.

Выполнение этого сложного комплекса по сооружению железной дороги производят по утвержденному проекту. На каждой стадии постройки железной дороги производят геодезическое обслуживание, целью которого является соблюдение геометрических размеров проекта земляного полотна и всех инженерных сооружений. В состав работ по геодезическому обслуживанию строительства железной дороги входят: проектирование и постройка геодезической основы для строительства; выполнение геодезических разбивочных работ строящихся сооружений; геодезический контроль точности выполнения строительных и монтажных работ в процессе строительства; выполнение исполнительных съемок законченных объектов строительства; геодезическое наблюдение за смещением и деформациями земной поверхности и строящихся объектов.

Геодезическое обслуживание строительства ведет группа геодезистов, имеющих ясное представление о каждой стадии постройки железной дороги.

В процессе технической подготовки строительства участка железной дороги производят предпостроечные изыскания по восстановлению трассы и геодезической планово-высотной основы. Эти работы производят потому, что часть пикетных точек и других геодезических знаков за время после изысканий и перед началом строительства может быть повреждена или утеряна. Геодезическая основа необходима для контроля проект-

ных размеров и осей строящихся элементов. В состав работ по восстановлению и закреплению трассы входит закрепление пикетных и плюсовых точек, угловых столбов на прямых и кривых участках пути, разбивка и закрепление круговых и переходных кривых. Устанавливают дополнительные створные столбы и реперы в местах постройки искусственных сооружений, высоких насыпей, глубоких выемок и др. По точкам восстановленной трассы производят нивелирование с составлением рабочих продольных, поперечных профилей и чертежей.

Затем производят разбивку сооружений, которая состоит из геодезических работ по перенесению осей, границ и проектных размеров строящихся сооружений и на местности. Перенос проекта сооружений в натуру выполняют с большой точностью на основании продольного профиля, планов, рабочих и разбивочных чертежей.

Комплекс работ по возведению земляного полотна состоит из разбивки элементов насыпей, выемок, станционных площадок, резервов, кавальеров, канав, банкетов и др. На строительных площадках искусственных сооружений производят разбивочные работы для определения положения осей моста или трубы, размеров и очертаний котлованов, осей свай, искусственных русел и т. п.

В процессе возведения земляного полотна, строительства водопропускных и искусственных сооружений производят геодезический контроль за соответствием строительных работ техническому проекту. В состав работ по геодезическому контролю входит учет выполненных машинами объемов земляных работ, вынесение проектных высот на дно выемки, на поверхность насыпи, на дно котлованов и по высоте сооружений и др.

Перед сдачей законченного объекта железнодорожного пути выполняют исполнительные съемки плана, профиля пути и инженерных сооружений, на основании которых составляется исполнительская техническая документация. Исполнительные профили и планы пути необходимы для оценки качества строительства и приемки законченных объектов в эксплуатацию.

## **§ 105. Вынесение в натуру точек с заданными проектными высотами**

В процессе строительства железной дороги отдельные ее элементы и верх основной площадки земляного полотна, фундаменты мостов и труб и другие сооружения должны находиться на проектном уровне, т. е. иметь заданную проектную высоту. Это достигается вынесением в натуру отдельных точек сооружения на заданный проектный уровень. Для вынесения в натуру точки *В* (рис. 111, *а*), проектная высота которой задана ( $H_{пр}$ ), устанавливают нивелир между ближайшим репером или последней точкой *А* связующего хода, высота которой

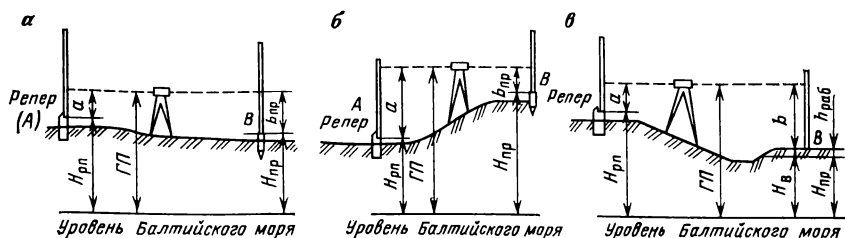


Рис. 111. Схемы вынесения точек с заданными проектными высотами

известна ( $H_{\text{рп}}$ ). Берут задний отсчет на репер и определяют горизонт прибора ГП на этой станции

$$\text{ГП} = H_{\text{рп}} + a. \quad (190)$$

Вычитают из горизонта прибора ГП высоту проектной точки  $H_{\text{пр}}$  и получают необходимый отсчет на эту точку

$$b_{\text{пр}} = \text{ГП} - H_{\text{пр}}. \quad (191)$$

Колышек, стоящий в точке  $B$ , постепенно забивают, проверяя отсчеты по рейке до тех пор, пока отсчет по рейке не будет равен вычисленному  $b_{\text{пр}}$ . При сооружении земляного полотна производят постоянный геодезический контроль за высотным положением отсыпаемых насыпей и разрабатываемых выемок.

**Пример.** Определить отсчет по рейке  $b_{\text{пр}}$  для вынесения проектной высоты насыпи  $H_{\text{пр}} = 156,287$  м, если высота ближайшего репера  $H_{\text{рп}} = 154,033$  м, а отсчет по рейке, установленной на этот репер,  $a = 2,892$  (рис. 111, б).

Определяют горизонт прибора по формуле (190)

$$\text{ГП} = H_{\text{рп}} + a = 154,033 + 2,892 = 156,925 \text{ м.}$$

Отсчет по рейке, установленной в точку  $B$  с проектной высотой  $H_{\text{пр}} = 156,287$ , равен:

$$b_{\text{пр}} = \text{ГП} - H_{\text{пр}} = 156,925 - 156,287 = 0,638.$$

При окончании отсыпки насыпи вместо колышков ставят высотники длиной 1,5—2 м. К высотнику укрепляют две горизонтальные планки: одну из них на проектом уровне или несколько выше, на величину осадки насыпи, а вторую — выше проектного уровня на высоту ходовой визирки, если ими пользуются при планировке насыпи при отсутствии нивелира (см. § 106). Для контроля правильности отсыпки и планировки откосов насыпи на границе подошвы призмы ставят специальные шаблоны — откосники с уровнем. Откосник имеет наклонную планку, соответствующую уклону откоса призмы. При разработке выемки ведут контроль за высотным положением дна выемки с помощью нивелира.

**Пример.** Проектная высота дна выемки в точке  $B$   $H_{\text{пр}} = 166,902$  м, высота репера  $H_{\text{рп}} = 169,434$  м. Определить рабочую высоту в точке  $B$ , если отсчет на репер  $a = 0,381$ , а на точку  $B$   $b = 2,632$  (рис. 111, в).

Определяют горизонт прибора

$$\text{ГП} = H_{\text{рп}} + a = 169,343 + 0,381 = 169,724 \text{ м.}$$

Высоту точки *B* (дно выемки) определяют по формуле

$$H_B = \text{ГП} - b;$$

$$H_B = 169,724 - 2,632 = 167,092.$$

Рабочую высоту  $h_p$  определяют как разность между проектной высотой и высотой земли

$$h_p = H_{\text{пр}} - H_3 = 166,902 - 167,092 = -0,19 \text{ м.}$$

Знак (—) показывает, что в данной точке грунт необходимо срезать до проектной высоты на 0,19 м.

## § 106. Вынесение в натуру проектной линии заданного уклона

Элементы строящейся железной дороги имеют различную крутизну (уклоны) и протяженность, предусмотренные техническим проектом. Разбивку линии заданного проектного уклона *i* выполняют на местности двумя способами: 1) горизонтальным визирным лучом; 2) наклонным визирным лучом.

Построение проектной линии заданного уклона горизонтальным лучом визирования выполняют, как правило, нивелиром. Для этого вдоль трассы на определенных расстояниях, например через 50 м, от начальной точки устанавливают ряд колышков. Каждый колышек должен быть забит в землю так, чтобы его верх соответствовал проектной высоте заданного проектного уклона.

Рассмотрим ряд примеров.

1. С помощью нивелира необходимо построить проектную линию (площадку) с нулевым уклоном между точками *A* и *B*. Точка *A* имеет заданную проектную высоту. Отсчеты по рейке в точках *A*, *B*, *C* и *D* равны:  $a=1447$ ,  $c=1125$ ,  $d=1253$ ,  $b=1889$ . Определить рабочие высоты в указанных точках (рис. 112, а).

При заданном нулевом уклоне  $i=0$  все проектные отсчеты на рейке, установленной в любую из заданных точек, должны быть одинаковы. Так как по условию высота точки *A* равна проектной, отсчет по рейке, установленной в эту точку, равен проектному  $a_{\text{пр}}=1447$ . Все колышки, установленные в точках *A*, *B*, *C*, *D*, необходимо забить так, чтобы отсчет на рейках, установленных в эти точки, был равен проектному  $a_{\text{пр}}=1447$ . Для этого в точках *C* и *D* устанавливают закопущки, т. е. выкапывают небольшие ямки и устанавливают в них колья, забивают их до проектной высоты. Величину заглубления колышка над поверхностью земли определяют как разность между фактическим и проектным отсчетами:

$$h_C = 1125 - 1447 = -0,322 \text{ м;}$$

$$h_D = 1253 - 1447 = -0,194 \text{ м.}$$

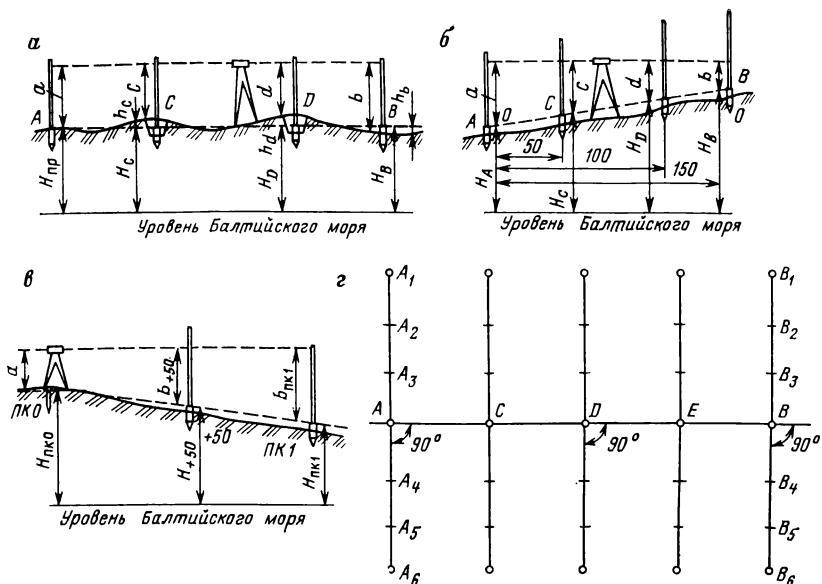


Рис. 112. Схемы разбивки линий и площадки заданного проектного уклона горизонтальным лучом

В точке  $B$  верх колышка должен быть выше поверхности земли на величину

$$h_B = 1889 - 1447 = +0,442 \text{ м.}$$

2. Для построения проектной линии  $d_{A-B} = 150$  м. с проектным уклоном  $+6 \text{ ‰}$  нивелир поставлен на равных расстояниях от точек  $A$  и  $B$ . Точка  $A$  имеет заданную проектную высоту, а отсчет по рейке в т.  $A$   $a = 2,635$  (рис. 112, б).

Определить проектные отсчеты по рейкам в точках  $C$ ,  $D$ ,  $B$ , расстояние между которыми равно 50 м. Проектные отсчеты по рейкам, установленным в точки  $C$ ,  $D$  и  $B$ , определяют по формуле

$$b_{пр} = a - h = a - id. \quad (192)$$

Проектный отсчет в точке  $C$

$$c = 2,635 - (+0,006 \cdot 50) = 2,635 - 0,30 = 2,335 \text{ м} = 2335.$$

Проектный отсчет в точке  $D$

$$d = 2,635 - (+0,006 \cdot 100) = 2,635 - 0,60 = 2,035 \text{ м} = 2035.$$

Проектный отсчет в точке  $B$

$$b = 2,635 - (+0,006 \cdot 150) = 2,635 - 0,9 = 1,735 \text{ м} = 1735.$$

Верх каждого колышка забивают до тех пор, пока отсчет на рейке не будет равен проектному.



Таблица 23

| $\alpha$ | $i, \text{‰}$ | $\alpha$ | $i, \text{‰}$ | $\alpha$ | $i, \text{‰}$ |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 0'00"    | 0             | 13'45"   | 4,0           | 37'48"   | 11,0          |
| 1 43     | 0,5           | 15 28    | 4,5           | 41 14    | 12,0          |
| 3 26     | 1,0           | 17 11    | 5,0           | 44 10    | 13,0          |
| 5 09     | 1,5           | 20 37    | 6,0           | 48 06    | 14,0          |
| 6 53     | 2,0           | 24 03    | 7,0           | 51 53    | 15,0          |
| 8 35     | 2,5           | 27 30    | 8,0           | 54 59    | 16,0          |
| 10 19    | 3,0           | 30 56    | 9,0           | 1°01'52" | 18,0          |
| 12 02    | 3,5           | 34 22    | 10,0          | 1 08 44  | 20,0          |

Угол наклона  $\alpha$  визирной оси теодолита к горизонту, соответствующий заданному проектному уклону, находят из формулы  $i = \text{tg } \alpha$ . Практически угол наклона определяют по табл. 23.

Так, для уклона  $-5 \text{‰}$  угол наклона равен  $\alpha = -17'11''$ . Вычисляют отсчет по вертикальному кругу, при котором визирная ось будет наклонена к горизонту под углом  $\alpha = -17'11''$ , а место нуля  $МО = 0^\circ 02'$ .

Отсчет при круге право:

$$П = МО - \alpha;$$

$$П = 360^\circ 02' - 17'11'' = 359^\circ 44'49''.$$

Отсчет при круге лево:

$$Л = 0^\circ 02' - (-17'11'') = 0^\circ 19'11''.$$

Затем наводят трубу теодолита на рейку, установленную в точку  $B$ , приводят пузырек уровня вертикального круга на середину и, вращая трубу, устанавливают отсчет на вертикальном круге  $Л = 0^\circ 19'11''$  или  $П = 359^\circ 44'49''$ . Визирная ось трубы при этом будет иметь уклон  $-5 \text{‰}$ . Колышек, установленный в точке  $B$ , забивают так, чтобы отсчет по рейке на нем был равен высоте теодолита  $I = 1,308$  м. Промежуточные колышки 1, 2, 3 ставят так же, как и по нивелиру.

Для разбивки промежуточных точек линии небольшой длины (до 100—150 м), у которой крайние точки  $A$  и  $B$  были установлены ранее по нивелиру или теодолиту, применяют визирки. В комплект входят три визирки одинаковой длины. Две визирки ставят в крайних точках  $A$  и  $B$ , а третью (ходовую) ставят на одну из промежуточных точек 1, 2, 3 и т. д. Наблюдая через верхнюю плоскость планки крайней визирки в направлении линии визирования, забивают колышек под промежуточной визиркой до тех пор, пока верх планок всех трех визирок будет на одной прямой (рис. 113, в). Так забивают колышки во всех промежуточных точках.

Разбивка станционных площадок заданного уклона производится как горизонтальным, так и наклонным лучами визи-

рования. Для этого вначале разбивают основную базисную линию  $AB$  (рис. 112,  $z$ ) рассмотренными выше способами. Затем перпендикулярно к этой линии под углом  $90^\circ$  разбивают поперечники заданной длины вправо и влево от линии  $AB$ . Все точки поперечника выносят горизонтальным лучом визирования по нивелиру, придавая высотам верха колышка поперечника равенство высоте точки, в которой разбит поперечник.

Так, высоты точек поперечника  $A_1, A_2, A_3$  и  $A_4, A_5, A_6$  равны высоте точки  $A$ . Чтобы этого достичь, колышки в этих точках забивают так, чтобы отсчет по рейке был равен высоте нивелира, установленного в точке  $A$ . Аналогично разбивают другие поперечники в точках  $B, C, D, E$ .

## § 107. Разбивка на местности бровок земляного полотна

Работы по возведению земляного полотна производят после того, как на местности выполнена разбивка границ откосов насыпей и выемок. Разбивку земляного полотна производят на основании продольного и поперечного профилей трассы, по которым составляют рабочие чертежи. Разбивка заключается в том, что на местности находят и закрепляют точки пересечения откосов насыпей и выемок, резервов, канав, кавальеров. Выполняют разбивку по поперечникам в каждой пикетной и плюсовой точках не реже чем через 50 м на прямых и 20 м на кривых. Поперечники провешивают перпендикулярно к оси трассы, а на кривых — по направлению радиусов. На ровной местности с небольшим уклоном поперечных скатов разбивку ведут откладыванием проектных элементов поперечного профиля.

### *Разбивка насыпи*

Расстояние от оси трассы до границы откоса насыпи  $l/2$  определяют по формуле

$$\frac{l}{2} = \frac{B}{2} + mh, \quad (194)$$

где  $B$  — ширина земляного полотна по верху;  $h$  — высота насыпи;  $m$  — заложение откоса.

Например, на поперечнике, проходящем через точку  $ПК\ 3$ , необходимо разбить границы насыпи однопутной железной дороги II категории. Поперечник разбит на горизонтальной площадке. Высота насыпи 4 м, крутизна откоса насыпи 1:1,5 (рис. 114,  $a$ ). Ширина земляного полотна по верху 7 м.

Горизонтальное расстояние от оси пути до подошвы насыпи на прямом участке пути при нулевом поперечном уклоне местности определяют по формуле (194):  $l/2 = (7/2) + 4 \cdot 1,5 = 9,5$  м.

Полученный размер землемерной лентой или рулеткой откладывают в обе стороны от точки, лежащей на трассе (в данном примере от  $ПК\ 3$ ), и забивают колья в точках 1 и 2. При возведении насыпей высотой более 1 м кроме высотников

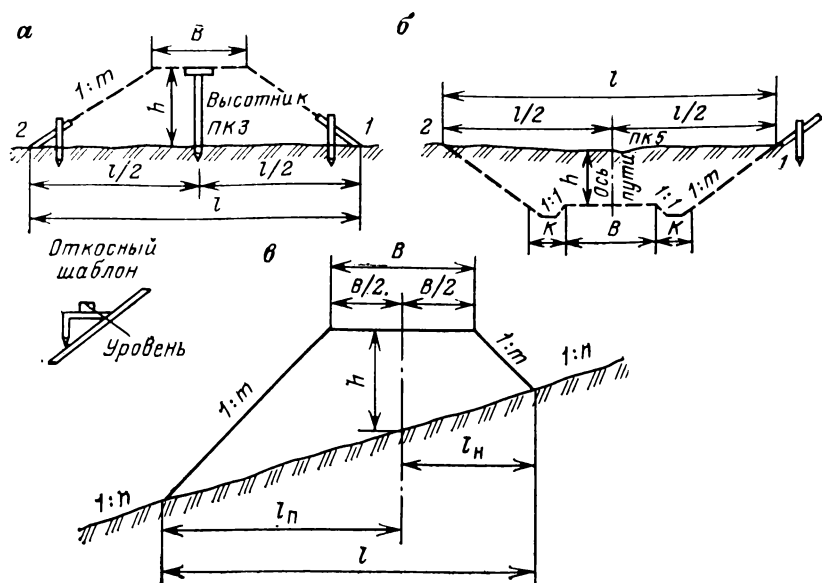


Рис. 114. Схемы разбивки земляного полотна:  
а — насыпи; б — выемки; в — насыпи на косогоре

устанавливают откосники (см. рис. 114, а). Откосники устанавливают с помощью откосного шаблона. Колья забивают в тело насыпи и к ним прибивают откосник — доску, указывающую требуемую крутизну откоса насыпи. Откосники перемещают по откосу по мере возведения земляного полотна.

#### Разбивка выемки

На местности, не имеющей поперечного уклона на прямых участках пути, расстояние от оси пути до границы откоса выемки  $l/2$  находят по формуле

$$\frac{l}{2} = \frac{B}{2} + mh + K, \quad (195)$$

где  $B$  — ширина основной площади земляного полотна;  $m$  — заложение откоса выемки при  $h$  до 6 м,  $m=1,5$ ;  $h$  — глубина выемки;  $K$  — ширина кювета по верху при крутизне откоса выемки  $1:1,5$ ,  $K=1,9$  м.

На пикетном кольшке, например ПК5 (рис. 114, б), пишут глубину выемки, указывая знак (—). Затем откладывают в обе стороны величину  $l/2$  и забивают колья 1 и 2. В точках 1 и 2 устанавливают откосники. Наклон ножа грейдера перед срезкой ставят по направлению откосника. При неглубокой выемке устраивают закопушку, в которую забивают кол так, чтобы верх его находился на проектной высоте.

При разбивке насыпей и выемок на косогорах учитывают поперечный уклон косогора. Так, при разбивке насыпи на косогоре (рис. 114, в) расстояние от оси пути до границы откоса вычисляют по формулам:

$$l_n = \frac{(B/2) + mh}{1 + (m/n)}; \quad (196)$$

с подгорной стороны

$$l_n = \frac{(B/2) + mh}{1 - (m/n)}, \quad (197)$$

где, кроме обозначений, указанных в формулах (194), (195),  $n$  — заложение откоса косогора.

Разбивку резервов, канав производят откладыванием по поперечнику их ширины, получая точки бровок резервов и канав. При разбивке водоотводных и нагорных канав на их осях ставят колья, на которых указывают их глубину. Размеры и поперечный профиль канав проверяют специальными шаблонами.

## **§ 108. Геодезический контроль и управление при отсыпке насыпи и разработке выемки землеройными машинами**

Возведение насыпей и разработку выемок производят скреперами, бульдозерами и другими строительными машинами. В процессе этих работ ведут систематический геодезический контроль за соблюдением проектных размеров всех элементов земляного полотна. Для этого производят контрольные измерения, как плановые, так и высотные, нивелированием. При передаче высот используют реперы, установленные за пределами земляного полотна (высотники). Результаты контрольных замеров наносят на рабочие поперечные профили. Периодически проверяют положение откосников и их перестановку с учетом отсыпанной насыпи. При высоких насыпях и глубоких выемках контрольные измерения и разбивку ведут поэтапно, расчленяя общую высоту насыпи или глубину выемки на несколько частей. При окончании возведения земляного полотна производят зачистку откосов насыпи и выемки. Для обозначения бровок земляного полотна, подошвы насыпи через 20—50 м ставят колышки на некотором расстоянии от границы подошвы насыпи или бровки выемки. Эти колышки служат водителю строительной машины ориентиром при зачистке откоса.

Одной из задач геодезического контроля при возведении земляного полотна является определение площади вскрытия выемки и отсыпки насыпи на данном поперечнике и определение по ним объема выполненных земляных работ. Для этой цели по заданному поперечнику производят измерения и нивелированием определяют высоты точек земли по створу поперечника.

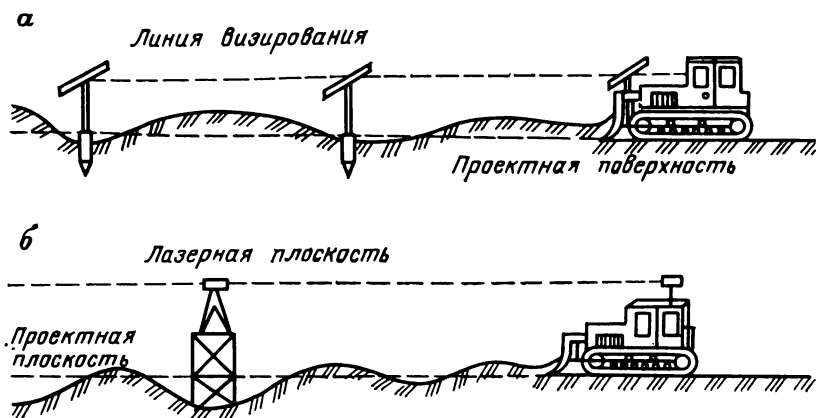


Рис. 115. Схемы геодезического управления работой строительных машин

На основании выполненных геодезических работ составляют поперечные профили в масштабе 1 : 100 или 1 : 200.

Для определения объема земляных работ  $V$  вычисляют площади поперечников насыпи или выемки. Объем отсыпанной или вынутой земли на участке  $d$  с площадями поперечного сечения крайних створов  $F_1$  и  $F_2$  определяют по приближенной формуле

$$V = d (F_1 + F_2) / 2. \quad (198)$$

Площади поперечных сечений насыпи  $F_n$  и выемки  $F_v$  определяют по формулам

$$\left. \begin{aligned} F_n &= (B + mh) h; \\ F_v &= (B + 2K + mh) h. \end{aligned} \right\} \quad (199)$$

Объем всей земли на каком-либо участке равен сумме объемов между поперечниками:  $V_{об} = \sum_1^n V$ . Вычисленный объем умножают на коэффициент разрыхления грунта.

В настоящее время при широком внедрении механизации работ по возведению земляного полотна геодезический контроль совмещают с геодезическим управлением работой рабочих органов строительных машин. Геодезическое управление — это обеспечение установки и перемещения рабочих органов строительной машины на местности в соответствии с заданным проектным положением. Геодезическое управление может быть ручным, полуавтоматическим и автоматическим.

Ручное управление осуществляют установкой специальных знаков, например, визирок или вех, так, чтобы водитель строительной машины мог видеть положение рабочего органа ее относительно этих знаков. На рис. 115, а показана схема руч-

ного геодезического управления движением ножа бульдозера при планировке горизонтальной площадки земляного полотна. При этом границы земляного полотна обозначаются створами направляющих вех, а высотное положение фиксируется с помощью визирок, одна из которых укреплена на ноже отвала бульдозера. При разработке выемок экскаватором на рукоятке его ковша наносят горизонтальную черту вместо визирки. По горизонтальной черте и ходовым визиркам разрабатывают забой.

Полуавтоматическое управление рабочим органом строительной машины позволяет осуществить его положение, заданное геодезистами, как с помощью специальных устройств, так и самим механизатором. Так, например, вертикальное положение рабочего органа бульдозера обеспечивается системой автоматизированного контроля и управления с использованием лазерного луча САУЛ-1, создающего световую плоскость, или прибора управления лучом ПУЛ и др. При таком способе управления на кабине бульдозера укрепляют штوك, на конце которого устанавливают фотоэлемент (рис. 115, б). Высоту штока подбирают так, чтобы световая плоскость лазера пересекала фотоэлемент на таком уровне, когда нож рабочего органа бульдозера будет находиться на заданной проектной высоте. Сигнал от датчика (фотоэлемента) поступает на индикаторное устройство в кабину механизатора и информирует его о достижении заданной высоты. Такие следящие системы являются основными элементами полуавтоматического геодезического управления рабочим органом строительной машины.

Автоматическое геодезическое управление рабочими органами машины позволяет осуществить движение их по заданному направлению автоматически по специальным копирным тросам и др. Это осуществляется специальными системами слежения с программным управлением движения машин. Например, для нарезки сливной призмы земляного полотна применяют автогрейдер, оборудованный системой «Профиль-2» для автоматического управления отвалом, пользуясь при этом копирным тросом. Точность нарезки сливной призмы с копирным тросом  $\pm 3$  см, при длине захватки до 200 м. Копирный трос натягивают параллельно оси полотна выше проектных высот на 0,55 м на расстоянии 1,9 м от оси земляного полотна на однопутных участках и на 0,5 от границы основной площадки на двухпутных. Для нарезки боковых наклонных частей сливной призмы применяют копирное колесо, которое позволяет выполнять работы с точностью  $\pm 5$  см.

Геодезическое управление при возведении земляного полотна как на перегонах, так и на станционных площадках осуществляет специальная геодезическая служба. Земляное полотно, подготовленное к укладке рельсового пути, подвергается геодезическому контролю, целью которого является проверка соответствия его техническому проекту. При выполнении

Таблица 24

| Вид отклонения                                   | Допустимые отклонения, м | Способ проверки    |
|--------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Сужение полотна                                  | Не допускается           | Промеры через 50 м |
| Увеличение или уменьшение крутизны откосов       | То же                    | То же              |
| Изменения высот:                                 |                          |                    |
| бровок или оси полотна                           | $\pm 0,005$              | Нивелировка        |
| верха сливной призмы                             | $-0,1$                   | То же              |
| продольного профиля дна канав, траншей, дренажей | $0,0005$                 | »                  |
| Отклонения в поперечных размерах канав           | $\pm 0,01$               | Промеры через 50 м |
| Уменьшение поперечных размеров кюветов           | Не допускается           | То же              |

геодезического контроля и исполнительных геодезических съемок контрольными промерами проверяются расположение полотна в плане и профиле, поперечные размеры полотна и водоотводных сооружений, поперечные сечения берм, кюветов, резервов. Контрольной нивелировкой проверяют высоты бровок и основной площадки земляного полотна. Все элементы земляного полотна должны отвечать проектным данным с допустимыми отклонениями согласно требованиям СНиП, приведенными в табл. 24.

Акты контрольных проверок и материалы геодезических съемок используются при комиссионной приемке — сдаче земляного полотна.

### § 109. Разбивка оси пути на земляном полотне перегонов и раздельных пунктов

Для укладки рельсового пути земляное полотно должно быть подготовлено. В подготовку земляного полотна входят следующие геодезические работы: восстановление и разбивка оси пути и закрепление ее через каждые 100 м на прямых и через 20 м на кривых участках. Кроме этого, восстановленную ось пути закрепляют в точках перелома продольного профиля, в начале и в конце кривых. Производят контрольную нивелировку пути для составления выписки на планировку земляного полотна.

Восстановление оси трассы производят от вынесенных за пределы земляного полотна столбов закрепления углов поворота и от створных столбов при восстановлении трассы. От столбов закрепления углов (рис. 116, а) теодолит ставят в точке *A* и ориентируют его на столб *B*. По направлению *AB* на насыпи или в выемке ставят веху, а затем от точки *B* по найденному створу откладывают расстояние *d* и величину тангенса *T*<sub>1</sub>. Так находят точку конца кривой *KK*<sub>1</sub>. Переносят тео-

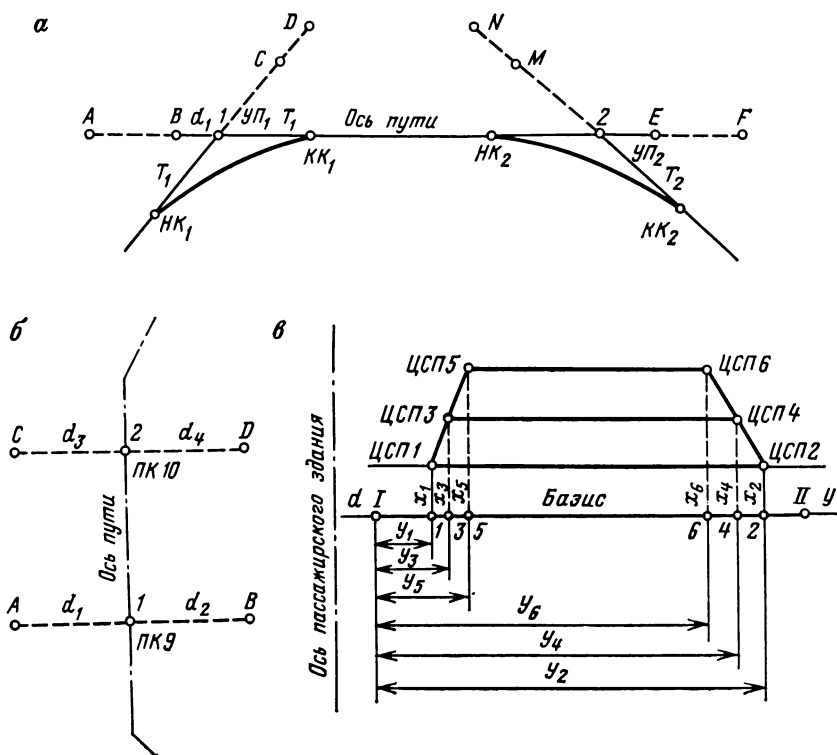


Рис. 116. Схемы разбивки осей путей на земляном полотне:

*а* — от столбов закрепления углов; *б* — от створных знаков; *в* — на станционной площадке

долит в точку *D*, визируют его на точку *C* и аналогично находят точку начала кривой *КК*<sub>1</sub>. Таким же методом разбивают положение точек *НК*<sub>2</sub> и *КК*<sub>2</sub> второго угла поворота. Имея крайние точки створа 1—2, вешением по теодолиту восстанавливают положение оси пути на участке 1—2, разбивают пикетаж. Участки кривых разбивают детально через 10 м. Все точки закрепляют кольями с соответствующими записями на них.

При восстановлении трассы от выносных столбов находят их положение за пределами земляного полотна и по двум створным столбам *A* и *B* (рис. 116, *б*) восстанавливают положение точки 1 (*ПК*9). Для этого по створу точек *A* и *B* отмеряют отрезок *d*<sub>1</sub> и закрепляют положение створа на земляном полотне точкой *ПК*9. Для контроля измеряют расстояние *d*<sub>2</sub>. Расхождения с контрольными записями не должны быть более 1—2 см. Аналогично выносят и закрепляют на земляном полотне точку 2 (*ПК*10). С помощью теодолита провешивают прямую 1—2 и ее продолжение до смежных кривых с разбивкой пикетажа по восстановленной трассе.

Контрольную нивелировку с привязкой к реперам производят после восстановления пикетажа. По данным нивелирования составляют выписку на планировку земляного полотна. В выписке указывают величины срезок и досыпок по пронивелированному участку.

Геодезические работы по разбивке осей путей на отдельном пункте состоят в закреплении на площадке станции или разъезда центров стрелочных переводов (*ЦСП*), прямых и кривых участков станционных путей. Разбивку выполняют по рабочим чертежам, в которых указаны ординаты и абсциссы точек станционных путей. За ось  $Y$  принимают ось пассажирского здания, а на ось  $X$  — базис, разбиваемый параллельно оси главного пути. Разбивают базис за пределами зоны производства работ, закрепляя его не менее чем тремя точками (рис. 116, в).

Для нахождения положения центра стрелочного перевода *ЦСП* 1 по базису от точки 1 откладывают землемерной лентой расстояние, равное ординате  $y_1$ , и закрепляют эту точку колышком. Затем из этой закрепленной точки с помощью теодолита или гониометра в перпендикулярном направлении откладывают абсциссу  $x_1$  и забивают колышек. На сторожке в точке *ЦСП* пишут: номер и направление стрелочного перевода (левый или правый), марку крестовины, абсциссу и ординату. Аналогично разбивают другие центры стрелочных переводов. Расстояния между центрами стрелочных переводов закрепляют на прямых через 50—100 м, а на кривых через 20 м, с указанием и закреплением главных точек кривой *НК*, *СК*, *КК*. Если развитие путей сложное, разбивают дополнительные базисы и разбивку ведут по координатам и другими способами сообразно местным условиям.

## **§ 110. Геодезические работы при строительстве малых искусственных сооружений**

Мосты длиной до 25 м и водопропускные трубы относят к малым искусственным сооружениям. На железных дорогах малые мосты и трубы строят (монтируют) из сборных железобетонных элементов, изготавливаемых промышленными способами на специальных заводах. В комплекс работ, выполняемых на строительной площадке монтажа малых искусственных сооружений, входят геодезические разбивки осей мостов и труб, границ котлованов, вынесение высот монтируемых элементов, геодезический контроль за соблюдением проектных размеров сооружений.

*Разбивка осей искусственных сооружений и границ котлованов.* В подготовительный период строительства на основании разбивочных чертежей разбивку осей и границ фундаментов устоев мостов и труб выполняют таким образом: продольную ось моста закрепляют с указанием пикетажа на обоих берегах водотока двумя столбами *A* и *B*, закрепленными по обе сто-

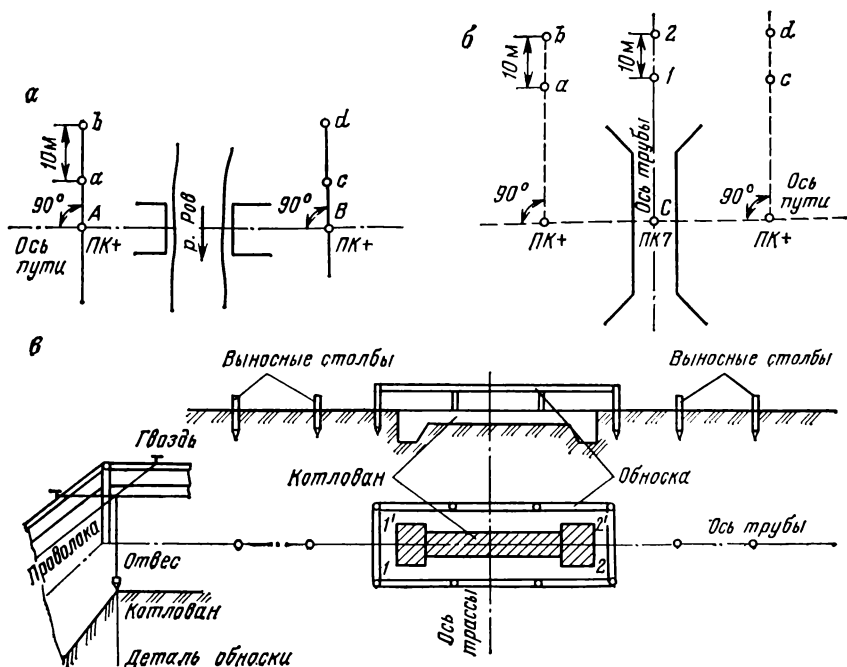


Рис. 117. Схемы разбивки и закрепления осей малых искусственных сооружений:

*a* — малого моста; *б* — водопропускной трубы; *в* — разбивка контуров котлована трубы

роны от земляного полотна кольями *a*, *b* и *c*, *d* за пределами котлована (рис. 117, *a*). Точкой *C* с указанием пикетажа закрепляют продольную ось трубы на трассе, а также двумя столбами 1, 2 за пределами котлована (рис. 117, *б*). Ось пути также закрепляют двумя столбами *a*, *b* и *c*, *d*, расположенными по обе стороны искусственного сооружения. Ось искусственного сооружения разбивают теодолитом. Для разбивки границ котлована водопропускной трубы по рабочим чертежам откладывают от оси трубы расстояния, определяющие контуры котлована, забивая колья в точках 1—1'; 2—2' и др. (рис. 117, *в*). На расстоянии не менее 1 м от границ котлована с внешней стороны забивают столбики, на которых укрепляют дощатую обноску. На обноске забивают гвозди, по которым натягивают проволоку, которая фиксирует размеры фундамента трубы и ее оголовков. Вместо дощатой обноски применяют инвентарную, состоящую из металлических труб. Положение осей на них фиксируется передвижной муфтой.

*Передача высот на дно котлована и высокие части сооружения.* Высотное обоснование на строительной площадке искусственного сооружения осуществляют от установленного на ней

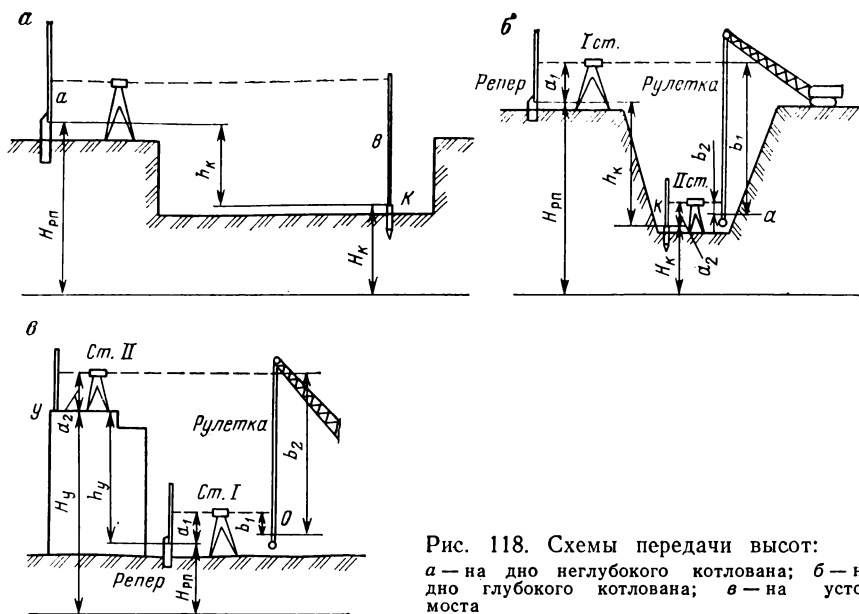


Рис. 118. Схемы передачи высот:

*а* — на дно неглубокого котлована; *б* — на дно глубокого котлована; *в* — на устой моста

репера, высота которого увязана с высотами точек трассы. Высота подошвы фундаментов мостов и труб должна быть на заданном проектном уровне. Чтобы это осуществить, передают высоты на дно котлована от репера, установленного на строительной площадке. Для передачи высоты на дно неглубокого котлована (рис. 118, *а*) по нивелиру берут отсчеты по рейке, установленной на репер, *а* и отсчет по рейке *б*, установленной в точке *К* на дне котлована.

Высоту колышка, забитого в точке *К*, определяют по формуле

$$H_K = H_{рп} + (a - b), \quad (200)$$

где  $H_{рп}$  — высота репера.

Рабочая высота дна котлована в точке *К* будет равна разности вычисленной высоты  $H_K$  и проектной высоты  $H_{пр}$ :

$$h_K = H_{пр} - H_K. \quad (201)$$

Если котлован глубокий, высоту на его дно передают двумя нивелирами или с двух станций одним нивелиром с применением реек и стальной рулетки (рис. 118, *б*). С первой станции нивелирования ст. *I* отсчеты берут по рейке, установленной на репер, и по рулетке с грузом 5 кг, подвешенной нулем вниз на консоли. Со второй станции нивелирования ст. *II* отсчеты берут по рулетке и по рейке, установленной на колышке на дне

котлована  $K$ . Зная высоту репера  $H_{\text{РП}}$ , высоту дна котлована определяют по формуле

$$H_K = H_{\text{РП}} + a_1 - (b_1 - b_2) - a_2, \quad (202)$$

а превышение точки  $K$  на дне котлована по отношению к реперу

$$h_K = a_1 - (b_1 - b_2) - a_2. \quad (203)$$

Пример.

Станция I.

Задний отсчет на репер  $a_1 = 1643$ , передний отсчет по рулетке  $b_1 = 8024$ .

Станция II.

Передний отсчет по рулетке  $b_2 = 1761$ . Задний отсчет на рейку, поставленную на дно котлована,  $a_2 = 2118$ .

Определить высоту дна котлована и превышение точки  $K$  над репером, если высота репера  $H_{\text{РП}} = 136,557$  м. Высоту дна котлована определяют по формуле (202)

$$H_K = 136,557 + 1,643 - (8,024 - 1,761) - 2,118 = 129,819 \text{ м.}$$

Превышение точки  $K$  на дне котлована над репером

$$h_K = 1,643 - (8,024 - 1,761) - 2,118 = -6,738 \text{ м.}$$

Контроль:

$$H_K = H_{\text{РП}} + h_K = 136,557 + (-6,738) = 129,819 \text{ м.}$$

Планировку дна котлована выполняют после нивелирования со станции внутри котлована ряда точек, установленных на его поверхности. Передачу высот на высокие части устоев и пролетных строений мостов выполняют в два нивелира или одним нивелиром с двух станций (рис. 118, в). На станции I устанавливают нивелир, по которому берут отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  по рейкам, установленным на временном репере, и по подвешенной на консоли рулетке с грузом. Для обеспечения неподвижности рулетки подвешенный к ней груз помещают в ведро с жидкостью. Со станции II производят отсчеты  $a_2$  и  $b_2$  по рулетке и по рейке, установленной на устое. Высоту устоя  $H_y$  определяют по формуле

$$H_y = H_{\text{РП}} + a_1 + (b_2 - b_1) - a_2, \quad (204)$$

где  $H_{\text{РП}}$  — высота репера.

Превышение точки на устое моста  $h_y$  над репером определяют по формуле

$$h_y = a_1 + (b_2 - b_1) - a_2. \quad (205)$$

В процессе монтажа фундаментов водопропускных труб и устоев моста с помощью нивелира контролируют горизонтальность рядов укладываемых блоков, проектные высоты их элементов. Контрольными промерами определяют соблюдение проектных размеров сооружения. Отклонение по длине фундаментов сборных труб не должно быть более 15 мм, а отклонение зазоров между звеньями труб — 5 или 10 мм. Верх фундамента

трубы не должен отклоняться от проектной высоты более чем на  $+10 \div -20$  мм.

Отклонение блоков опор моста по высоте и смещению их относительно друг друга не должно превышать  $\pm 5$  мм. При монтаже пролетных строений малых мостов с помощью теодолита, нивелира и рулетки проверяют положение осей пролетных строений, высотное положение их элементов и правильность их установки.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие геодезические работы выполняют при восстановлении и закреплении трассы?
2. Что включают в состав работ по геодезическому контролю за возведением земляного полотна?
3. Как вынести на местности точку с заданной проектной высотой насыпи?
4. Как определить высоту при разработке выемки, если известна проектная высота выемки и высота близлежащего репера?
5. Как разбить на местности линию с нулевым уклоном?
6. В какой последовательности разбивают линию с заданным проектным уклоном с помощью нивелира?
7. Расскажите порядок построения линии заданного проектного уклона наклонным лучом визирования с помощью теодолита.
8. Как пользуются визирками для построения проектных линий небольшой длины?
9. Какими приемами пользуются при геодезической разбивке станционных площадок?
10. Как разбивают границы бровок насыпей?
11. В каком порядке производят геодезические разбивки границ откосов выемки?
12. По каким формулам определяют объемы выполненных работ при отсыпке насыпи и разработке выемки при геодезическом контроле за возведением земляного полотна?
13. В чем сущность геодезического контроля и автоматизированного управления работой строительных машин?
14. Приведите основные допустимые отклонения от проектных данных при возведении земляного полотна.
15. В каком порядке восстанавливают ось трассы?
16. Какие геодезические работы выполняют для восстановления станционных путей?
17. Как разбить оси малых искусственных сооружений и границы их котлованов?
18. Какими приемами пользуются при передаче проектных высот на дно котлована?
19. Как передать проектную высоту на высокие части сооружения?
20. Какие работы выполняют при геодезическом контроле при возведении малых искусственных сооружений?

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

### **§ 111. Виды геодезических работ при капитальном, среднем ремонте и текущем содержании пути**

Современное интенсивное развитие железнодорожного транспорта определяет техническую направленность перевооружения путевого хозяйства. Техническая реконструкция путевого хозяйства необходима для обеспечения возрастающей грузонапряженности линий, увеличения массы грузов, длины и скорости движения поездов. Все это потребует значительного повышения качества и снижения затрат производства всех видов ремонта пути и его текущего содержания.

При ремонтах пути выполняют целый комплекс геодезических работ. Чтобы составить проект капитального ремонта пути, производят плановую и высотную съемки существующего земляного полотна и верхнего строения пути. Материалы геодезических съемок используют для составления продольного и поперечного профилей, определения проектного положения линии головки рельса в прямых и кривых участках пути.

Выполнению ремонта предшествуют геодезические разбивки и вынесение проектных высот и осей пути на земляном полотне. После выполнения ремонта пути перед его сдачей в эксплуатацию производят исполнительные съемки: контрольное нивелирование пути, съемку кривых и других для выявления отступлений от технического проекта и устранения их.

Для составления среднего ремонта пути выполняют съемку кривых и нивелирование существующего пути по головке рельса.

В процессе текущего содержания и для выполнения подъемочного ремонта производят обмер кривых, нивелирование по головке рельса существующего пути для выявления просадок, пучин и других расстройств пути.

Производят также плановую съемку и нивелирование водосточных и нагорных канав, кюветов и разбивку их осей для восстановления проектного уклона и поперечного профиля. В местах, подвергшихся деформации, производят детальную плановую и высотную съемки, материалы которых используют для составления проектов оздоровления земляного полотна.

### **§ 112. Съемка плана железнодорожного пути и полосы отвода**

Геодезические работы по съемке полосы отвода и плана железнодорожной линии выполняют при очередных натурных проверках и для составления проектов ремонта пути. В состав работ входят разбивка пикетажа, съемка кривых, составление плана по материалам съемок.

Пикетаж, как правило, разбивают по оси пути, а при интенсивном движении поездов — по обочине. Для разбивки пользуются землемерной лентой (20 м) или мерным тросом Лукерина длиной 50 и 100 м. Трос изготовлен из тонкого семижильного стального кабеля с хлорвиниловой изоляцией, с метровыми и дециметровыми делениями, нанесенными прочной краской. Разбивку пикетажа производят от оси какого-либо постоянного сооружения или от начального километрового столба, положение которого выносят и закрепляют колышком на оси пути или обочине. Измерение линий с целью контроля производят дважды. Относительная погрешность между двумя промерами не должна быть более 1 : 2000. Пикетные и плюсовые точки на однопутной линии отмечают вертикальной чертой белой масляной краской на шейке рельса с внутренней стороны. На однопутном участке за основую нить берут левую по ходу километража. На двухпутном участке при измерении по правому пути точки обозначают на левой нити, а по левому пути — на правой нити. Рядом с вертикальной чертой на шейке рельса краской наносят номер пикета и расстояние до плюсовой точки от заднего пикета.

При разбивке пикетажа ведут пикетажную книжку в масштабе 1 : 2000, в которую заносят переломы профиля, ширину земляного полотна, расстояния между осями смежных путей, оси искусственных сооружений, зданий, переездов, постоянных сигналов и знаков. Кроме этого, указывают границы насыпей, выемок, водоотводных сооружений, стрелочных переводов и других устройств, расположенных близко от путей. При съемке полосы отвода в пикетажной книжке также отмечают границы угодий, резервов, кавальеров и других сооружений, обеспечивающих устойчивость земляного полотна, а также снегозащитные посадки и устройства, реперы и марки (с указанием их номера и ставившего их ведомства), места пересечения с линиями высокого напряжения (с указанием высоты подвески проводов).

Нумерация пикетажа ведется в соответствии с нумерацией километровых столбов, страница пикетажного журнала приведена на рис. 119. Для съемки полосы отвода параллельно оси пути прокладывают теодолитный ход, который служит плановой основой. При малой интенсивности движения поездов теодолитный ход прокладывают по оси пути. Для контроля теодолитный ход может быть привязан к пунктам полигонометрии или триангуляции, расположенным в полосе отвода или вблизи нее.

Все характерные точки, занесенные в пикетажную книжку при разбивке пикетажа, снимают способом координат (перпендикуляров) или засечек с точек теодолитного хода. Границы полосы отвода в пределах станции и населенных пунктов снимают, прокладывая теодолитные ходы по проездам не далее 5—6 м от фасадов зданий.

При съемке полосы отвода ведут журнал измерения углов



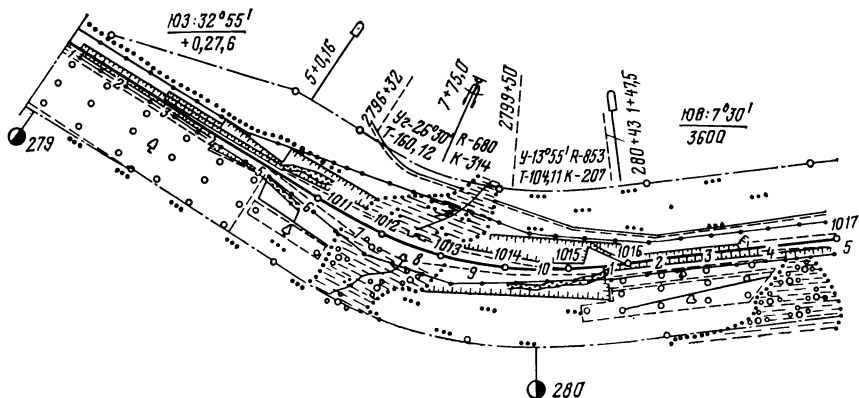


Рис. 120. План полосы отвода

и абрис. При съемке полосы отвода производят привязку границ смежных землепользований.

К ним относятся границы: административно-территориального деления СССР (республик, краев, областей, районов); землепользований совхозов, колхозов; городских земель и др.

После обработки материалов теодолитной съемки составляют по координатам план полосы отвода в масштабе 1 : 5000 (рис. 120). На план наносят оси главных путей с указанием пикетажа, элементов кривых, контурных очертаний земляного полотна, линейно-путевые здания, границы смежных землепользований и всех контуров ситуации с указанием мест межевых столбов. Площадь полосы отвода вычисляют планиметром или графическим способом.

### § 113. Съемка существующих кривых

Положения существующих железнодорожных кривых снимают для нанесения их на план полосы отвода и для выполнения расчета выправки кривых при капитальном, среднем ремонте и текущем содержании пути.

Съемку существующих кривых выполняют методом И. В. Гиникберга с помощью теодолита или путевого рихтовочного прибора (ПРП) или методом стрел.

*Метод И. В. Гоникберга.* Для выполнения съемки необходимо иметь теодолит, специально оборудованную нивелирную рейку (рис. 121, а), 20-метровую землемерную ленту, три башмака (рис. 121, б). Чтобы снять положение кривой в плане, предварительно ее упорную (наружную) нить разбивают на отрезки по 20 м (двадцатки). Концы двадцаток отмечают мелом или краской вертикальной чертой с внутренней стороны шейки рельса. Разбивку пути на двадцатиметровые отрезки начинают на прямых участках на расстоянии 40—60 м от начала или конца кривой. Теодолит устанавливают в точке I (рис. 121, в) и центрируют его над серединой головки рельса. В точках

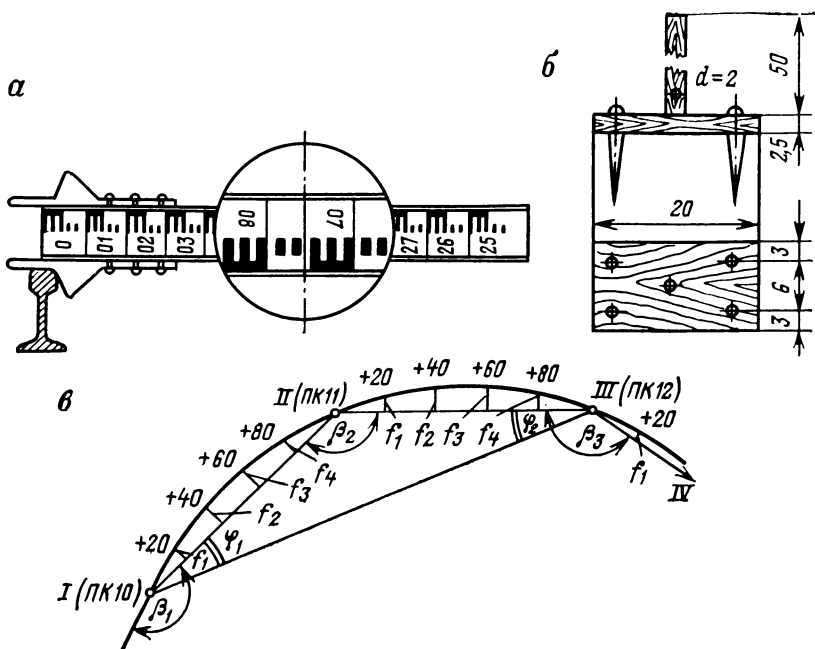


Рис. 121. Метод И. В. Гоникберга:

*а* — нивелирная рейка с приспособлением; *б* — башмак для визирования; *в* — схема съемки кривой

*II* и *III* устанавливают башмаки. Затем измеряют угол  $\beta_1$  полным приемом при круге право (*П*) и круге лево (*Л*). Для контроля измеряют угол  $\phi_1$ , наведя крест сетки нитей на шпиль башмака, поставленного в точке *II*, закрепляют алидаду. Рейку переносят последовательно в каждую точку двадцатки и ставят ее горизонтально. По вертикальной нити сетки трубы теодолита берут отсчеты  $f_1$ , равные стреле изгиба кривой. Например, на рис. 121, *а* отсчет равен 755 мм. Взяв все отсчеты на отрезке *I—II*, теодолит переносят в точку *II*, а башмаки устанавливают на головки рельса в точках *I*, *III*, *IV*. На станции *II* выполняют действия, аналогичные описанным на станции *I*, измеряя стрелы изгиба  $f$  в направлении створа *II—III* и *II—I*. Таким образом, стрелы изгиба измеряют дважды, и если их разность не будет превышать  $\pm 3$  мм, находят их среднее значение. Результаты измерения стрел изгиба кривой заносят в журнал измерения кривой. Этот метод весьма точный, но применение его крайне затруднительно, а подчас невозможно на участках с интенсивным движением поездов.

*Метод измерения стрел изгиба от хорды.* Этот способ получил повсеместное распространение на сети дорог страны как наиболее простой и менее трудоемкий. Для съемки кривую и примыкающие к ней прямые (на 30—40 м) по наружной нити

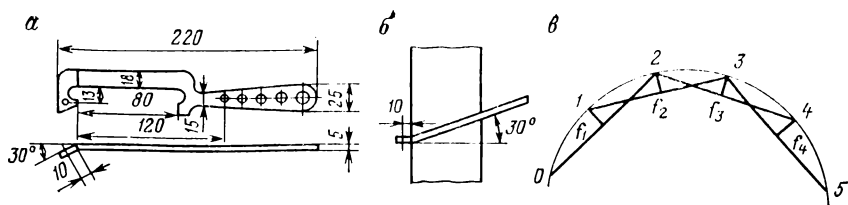


Рис. 122. Схема измерения стрел изгиба от хорды:  
 а — струбцина ЦНИИ; б — струбцина на рельсе; в — схема съемки кривой

размечают на отрезки 10 м, а при кривых менее 400 м — 5 м. Разметку и нумерацию точек ведут по ходу километража. Точки отмечают вертикальной чертой белилами на внутренней стороне шейки рельса. Для измерения стрел изгиба в качестве хорды применяют двадцатиметровый шнур или тонкий трос, металлическую ленту с миллиметровыми делениями и две струбцины ЦНИИ (рис. 122, а) для натяжения и закрепления шнура на головке рельса (рис. 122, б). Стрелы изгиба измеряют в каждой точке, начиная с первой, бригадой из трех человек. Шнур прижимают струбциной к рабочей грани головки рельса против метки, смежной с той, где измеряют стрелу изгиба. Зажав в точках 0 и 2 натянутый шнур, в точке 1 измеряют стрелу изгиба  $f_1$  с точностью до 1 мм (рис. 122, в). Затем шнур натягивают и закрепляют струбцинами в точках 1 и 3, а в точке 2 измеряют стрелу изгиба  $f_2$  и т. д. до конца разбивки. Для контроля стрелы изгиба измеряют дважды. Расхождения величин стрел изгиба при повторном измерении не должны превышать 2—3 мм. Данные измерений заносят в журнал съемки кривой. Эти данные используют для расчета выправки (рихтовки) кривой. Идеально поставленная круговая кривая на всем своем протяжении в любой точке должна иметь одну и ту же стрелу изгиба  $f$  в мм:

$$f = 1000a^2/8R, \quad (206)$$

где  $a$  — хорда в м;  $R$  — радиус в м,  
 при хорде  $a = 20$  м

$$f = 1000 \cdot 400/8R = 50\,000/R.$$

Периодическая проверка кривых методом стрел изгиба позволяет сравнивать измеренные стрелы с паспортными и в случае их расхождения производить приведение стрел к паспортным выправкой (рихтовкой) кривых.

#### § 114. Нивелирование существующего железнодорожного пути

Согласно требованиям правил технической эксплуатации железных дорог нашей страны существующие железнодорожные пути подвергаются контрольной нивелировке в следующие сроки:

сортировочных горок, подгорочных и вытяжных путей на сортировочных станциях — не реже одного раза в три года; все остальные пути — не реже одного раза в 10 лет.

Высотное обоснование нивелирования пути производят привязкой к реперам и маркам в начале и конце нивелирного хода, а также на его протяжении.

Нивелирование выполняют, как правило, в два нивелира или одним с двусторонними рейками. Продольное нивелирование ведут по головке рельса, устанавливая рейку во всех пикетных и плюсовых точках, указанных на рельсах при разбивке пикетажа. На кривых участках пути нивелируют по головке внутреннего рельса. Если пикетаж разбит по внешней нитке, установку рейки на внутреннюю нить производят на прямом участке пути за 50 м до начала и после 50 м от конца кривой. Нивелирование производят способом «из середины» при нормальных расстояниях до реек связующих точек не более 100 м. Как правило, связующие точки назначают на четных пикетажах, на которых берут по два отсчета. Нечетные пикетные и плюсовые точки нивелируют как промежуточные и берут на них по одному отсчету по черной стороне рейки. Все отсчеты записывают в журнал нивелирования. В пределах искусственных сооружений рейку устанавливают на головке рельса в начале, середине и конце каждого пролетного строения. Кроме этого, нивелируют верх подферменных камней, подферменные площадки, точки низа пролетного строения, низ лотка водопропускных труб. Если нивелирование ведется на двухпутном участке, берут отсчеты по рейкам и по соседнему (второму) пути вторым нивелиром. На каждом пикете нивелируют, как промежуточные, следующие точки: бровку земляного полотна на прямых и со стороны внутренней рельсовой нити — на кривых.

Обработку нивелирного журнала выполняют в процессе нивелирования.

В конце рабочего дня результаты нивелирования двумя нивелирами или одним в прямом и обратном ходе сравниваются. Расхождение в суммах превышений между ними не должно превышать

$$\Delta h = \pm 30 \sqrt{L} \text{ мм}, \quad (207)$$

где  $L$  — длина хода в км.

Высотная невязка нивелирного хода, опирающегося на реперы, не должна быть более

$$\Delta h = \pm 20 \sqrt{L} \text{ мм}. \quad (208)$$

В каждой пикетной, плюсовой и других точках, указанных при разбивке пикетажа, перпендикулярно к оси пути разбивают поперечники. В кривых участках пути поперечники разбивают перпендикулярно к середине хорды, т. е. по направлению радиуса. Для разбивки углов  $90^\circ$  применяют гониометр или эккер,

Таблица 25. Журнал нивелирования поперечника ПК 7

Нивелир НЗ №63244

Нивелировал: Иванов

Рейки двусторонние

Погода ясная, ветра нет

| №<br>стан-<br>ции | №<br>точек | Отсчеты по рейкам,<br>м    |               |                         | Превышение<br>вычисленное,<br>м |   | Горизонт<br>прибора<br>ГП, м | Абсолютные<br>высоты Н,<br>м |
|-------------------|------------|----------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
|                   |            | зад-<br>ний                | перед-<br>ний | проме-<br>жуточ-<br>ный | +                               | - |                              |                              |
| I                 |            | Поперечник ПК 7<br>(право) |               |                         |                                 |   |                              |                              |
|                   | ПК 7       |                            |               |                         |                                 |   |                              |                              |
|                   | ГР         | 0623                       |               |                         |                                 |   | 259,814                      | 259,191                      |
|                   |            | 5310                       |               |                         |                                 |   |                              |                              |
|                   | ББ         |                            |               | 0854                    |                                 |   |                              | 258,960                      |
|                   | ПБ         |                            |               | 1284                    |                                 |   |                              | 258,530                      |
|                   | БП         |                            |               | 1301                    |                                 |   |                              | 258,513                      |
|                   | ПН         |                            |               | 2513                    |                                 |   |                              | 257,301                      |
|                   | КП         |                            |               | 2632                    |                                 |   |                              | 257,182                      |
|                   |            | Поперечник ПК 7<br>(лево)  |               |                         |                                 |   |                              |                              |
|                   | ББ         |                            |               | 0862                    |                                 |   |                              | 258,952                      |
|                   | ПБ         |                            |               | 1290                    |                                 |   |                              | 258,554                      |
|                   | БП         |                            |               | 1322                    |                                 |   |                              | 258,492                      |
|                   | ПН         |                            |               | 2509                    |                                 |   |                              | 257,305                      |
|                   | КП         |                            |               | 2567                    |                                 |   |                              | 257,247                      |

Продолжение

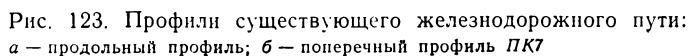
| № станции                                                                                                                   | № точек | Отсчеты по рейкам, м |          |               | Превышение вычисленное, м                                                     |      | Горизонт прибора ГП. м                                                                        | Абсолютные высоты Н. м |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------|----------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                                                                                                                             |         | задний               | передний | промежуточный | +                                                                             | —    |                                                                                               |                        |
| I                                                                                                                           | ГР      |                      | 1691     |               |                                                                               | 1068 |                                                                                               |                        |
|                                                                                                                             | ПК 6    |                      | 6378     |               |                                                                               | 1068 |                                                                                               | 258,123                |
| $\Sigma a = 5933$<br>$\Sigma b = 8069$<br>$\frac{\Sigma a - \Sigma b}{2} = \frac{5933 - 8069}{2} =$<br>$= -1,068 \text{ м}$ |         |                      |          |               | $\frac{\Delta h_{\text{выч}}}{2} = -\frac{2136}{2} =$<br>$= -1,068 \text{ м}$ |      | $H_{\text{ПК6}} - H_{\text{ПК7}} =$<br>$= 258,123 -$<br>$- 259,191 =$<br>$= -1,068 \text{ м}$ |                        |

а для поперечников длиной более 50 м — теодолит. Разбивку ведут в обе стороны от оси пути, измеряя землемерной лентой, а на участках с автоблокировкой — тесьмой рулеткой. Характерные точки, кроме крайних, на местности не закрепляют. На крайних точках поперечника забивают колышки со сторожками, на которых пишут расстояние до точки от оси пути и номер пикета или плюса. Данные заносятся в пикетажный журнал. Характерные точки поперечников насыпи и выемки принято обозначать сокращенно: ГР — головка рельса, ББ — бровка балластной призмы, ПБ — подошва балластной призмы, О — точка перелома откоса, ПН — подошва насыпи, БВ — бровка выемки, БР — бровка резерва, ДР — дно резерва, БК — бровка канавы, ДК — дно канавы (кювет), ПК — подошва кавальера, Т — характерные рельефные точки земли, ЛС — линия связи, КП — конец поперечника.

Если поперечников небольшое количество, их нивелируют одновременно с нивелированием пути. При раздельном нивелировании высотную привязку каждого поперечника производят к головке рельса плюсовой или пикетной точек с известными высотами.

Пример записи нивелирования поперечника приведен в табл. 25.

Вычислительную обработку материалов нивелирования существующего пути и поперечников ведут по формулам в аналогичной последовательности, приведенным в § 81. Подробный профиль составляют по данным журнала нивелирования и пикетажного журнала в масштабах: горизонтальный — 1 : 10 000, вертикальный — 1 : 1000. Подробный и поперечные профили составляют в порядке, описанном в § 82—85. Концы ординат,



отложенных по высотам головок рельсов, обводят сплошной линией, а штриховой линией соединяют концы ординат, отложенных по высотам бровки земляного полотна (рис. 123, а). По высотам головок рельса вычисляют уклон пути  $i$  на каждом пикете по формуле

$$i = (H_{\text{к}} - H_{\text{н}})/100, \quad (209)$$

где  $H_{\text{к}}$  — высота головки рельса в конце пикета;  $H_{\text{н}}$  — высота головки рельса в начале пикета.

Например, уклон между точками  $ПК\ 8$  и  $ПК\ 9$  (см. рис. 123, а) равен  $i = (258,07 - 257,14)/100 = 0,93/100 = 0,0093 = 9,3 \text{ ‰}$ .

Вычисленные данные заносят в графу «существующие уклоны».

Поперечные профили составляют по данным журналов нивелирования и пикетажному. Пример поперечного профиля  $ПК\ 7$  приведен на рис. 123, б.

### § 115. Съёмка железнодорожных станций

Геодезические работы, состоящие из съёмки станционных путей, выполняют для составления проектов переустройства, реконструкции и удлинения станционных путей. При частичном переустройстве станций (укладке новых и удлинении станционных путей) съёмку производят работники проектной организации и дистанции пути.

**Съёмка плана станции.** Для получения крупномасштабных планов станции прокладывают теодолитные ходы (базисы). Если станция небольшая, теодолитный ход прокладывают по оси междупутья параллельно главному пути на всю длину станционных путей и за пределы входных стрелок на 50—100 м, а для удлинения станционных путей — на 300—500 м. При большом числе станционных путей прокладывают несколько теодолитных ходов параллельно оси главного пути на расстоянии один от другого до 100 м. Через 300—400 м эти ходы соединяют между собой линиями (3—11; 7—8 и 4—12), перпендикулярными к оси главного пути. Этим образуется несколько сомкнутых ходов (полигонов). С целью контроля теодолитные ходы привязывают к пунктам с известными координатами. Углы поворота теодолитных ходов, створные точки закрепляют постоянными знаками. Измерение теодолитных ходов производят дважды: в прямом и обратном направлениях с погрешностью не более  $1/2000$ . На станциях, оборудованных автоблокировкой, измеряют тесьмяными рулетками или тросом Лукеркина. Углы поворота измеряют теодолитом полным приемом. Данные измерений заносят в журнал измерения углов.

Съёмку положения всех характерных точек на станции производят способом перпендикуляра от линии теодолитных ходов. Короткие (до 2 м) перпендикуляры разбивают «на глаз»,

*Ведомость стрелочных переводов (Ц.п.)*

| № | Тип | Матка | Способ | Искусственный | Расстояние от центра передачи до стигмы, км | Характеристика | Род | База |
|---|-----|-------|--------|---------------|---------------------------------------------|----------------|-----|------|
|---|-----|-------|--------|---------------|---------------------------------------------|----------------|-----|------|

# Ведомость путей

[illegible]

**Ведомость деневов**

|              |               |       |                                           |            |          |                    |           |                    |                        |           |
|--------------|---------------|-------|-------------------------------------------|------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|------------------------|-----------|
| № по порядку | Классификация | Пункт | Расстояние от оси вылета до начала заезда | Вид заезда | № поезда | Абсолютная отметка | Н° поезда | Абсолютная отметка | Краткое описание знака | Экземпляр |
|--------------|---------------|-------|-------------------------------------------|------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|------------------------|-----------|

Ведомость зданий

| № здания | Наименование здания | Материалы |       | Назначение | Размеры в м | Объем в м³ | Состояние | Комп. принадлеж. | Примечание |
|----------|---------------------|-----------|-------|------------|-------------|------------|-----------|------------------|------------|
|          |                     | стен      | кров. |            |             |            |           |                  |            |

### Схема теодолитных ходов

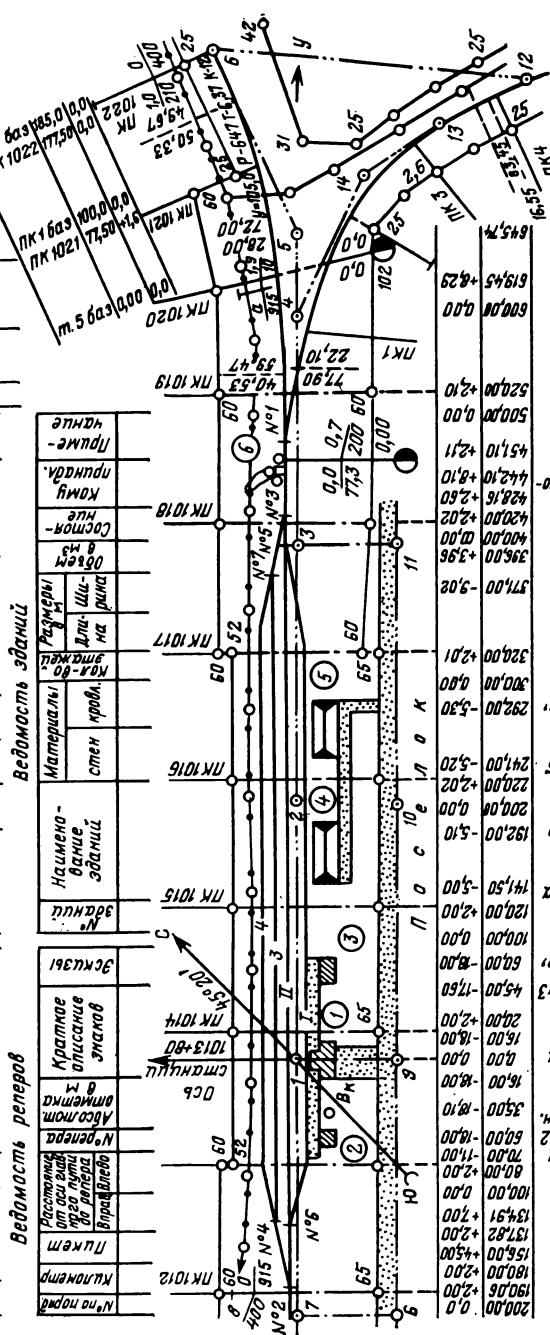
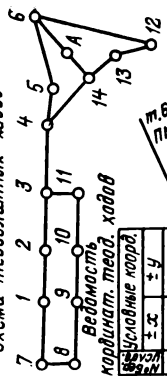


Рис. 124. План станции



до 20 м — гониометром или эккером, а более длинные — теодолитом. Все измерения по расположению станционных путей, платформ, зданий, линий связи заносят в абрис.

По результатам теодолитной съемки составляют по координатам план станции в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000. За начало координат принимают точку пересечения базиса (ось Y) с осью пассажирского здания (ось X). Ситуацию на плане наносят по абрису. План станции приведен на рис. 124.

*Нивелирование станционных путей.* Работу по нивелированию выполняют по пикетажу, разбитому по оси главного пути, с нанесением пикетных и плюсовых точек, отмеченных белой чертой на внутренней стороне шейки рельса. Рейку ставят на головку рельса: на прямом пути по левой нитке, в кривых — на внутреннюю нить. Нивелируют способом «из середины» с привязкой к реперам, расположенным в пределах станции. Высотная невязка хода при нивелировании между реперами не должна превышать  $\pm 20\sqrt{L}$ , а при нивелировании обратным ходом  $\pm 30\sqrt{L}$ . По данным нивелирования составляют продольные профили станционных путей и пронивелированного участка перегона за пределами станционных путей. Сортировочные горки и вытяжки нивелируют по головке рельса через 10 м в пределах подгорочного пути. На продольном профиле горки откладывают натурные высоты точек, наносят проектную линию и вычисляют проектные и рабочие высоты (срезки и подсыпки). Продольные профили сортировочных горок (рис. 125) выполняют в масштабах: горизонтальном 1:1000, вертикальном 1:100.

## **§ 116. Геодезические работы при ремонте водоотводных сооружений**

За исправностью водоотводных сооружений устанавливают постоянное наблюдение, так как своевременный отвод поверхностных вод от земляного полотна обеспечивает его устойчивость и прочность. Нагорные и водоотводные каналы, кюветы при эксплуатации пути содержат в плане и профиле в соответствии с рабочими чертежами и периодически повторяют. Состояние поперечных профилей водоотводных сооружений устанавливают по снятым поперечным профилям земляного полотна или по материалам геодезических съемок, специально выполненных для этой цели: при продольных уклонах водоотводных канав менее 2‰ происходит их заиливание и создается застой воды, а при уклонах более 8‰, если нет укрепления дна и откосов, — происходит их размыв.

Для восстановления русла водоотводного сооружения производят его плановую и высотную разбивку. Полевые работы ведут в следующем порядке.

Пикетаж водоотводного сооружения разбивают по оси водоотвода с закреплениями пикетных и характерных плюсовых

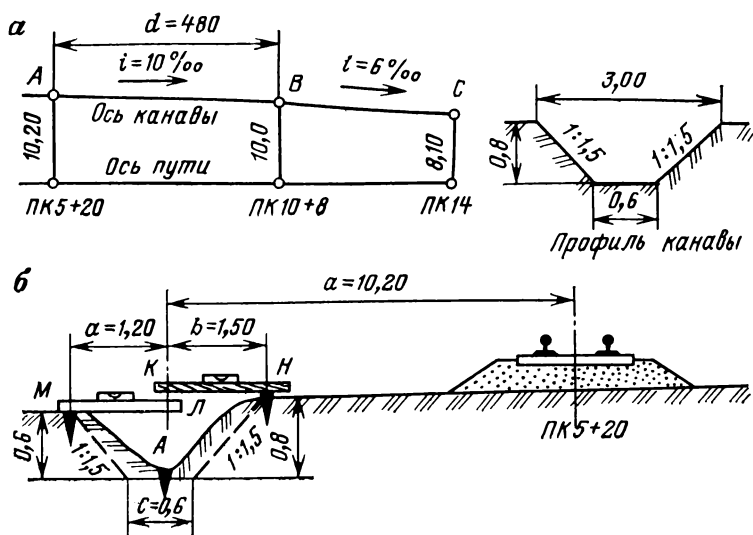


Рис. 126. Схема восстановления русла водоотводной канавы

точек. Начинают пикетаж в начале водоотвода, а заканчивают в месте выхода канавы в низину, овраг, тальвег или реку. Все записи ведут в пикетажном журнале с одновременным составлением абриса водотока. Ось водоотвода восстанавливают по рабочим чертежам, откладывая указанные в них размеры в пикетных и плюсовых точках от оси пути. В этих точках забивают колья, которые будут определять проектное положение оси канавы (рис. 126, а).

Продольное нивелирование водоотводных сооружений производят по оси водоотвода одним нивелиром с привязкой хода к реперам не менее чем через 1 км. По данным нивелирования вычерчивают продольный профиль водоотвода в масштабах: горизонтальном 1:2000, вертикальном 1:100. Существующие уклоны и высоты водоотвода заносят на профиль по данным нивелирного журнала, а проектные берут из рабочих чертежей или профилей предыдущих проверок. Путевым и нагорным канавам придают уклон от 3 до 8‰, при уклонах более 8‰ проектируют специальное укрепление дна и откосов канав. Вычисленные рабочие отметки используют при работах по профилированию и расчистке водоотводных сооружений.

Продольную разбивку водоотводов с заданным проектным уклоном производят с помощью нивелира. Для этого верх кольев, установленных по оси водоотвода, забивают так, чтобы превышение между смежными точками было равно произведению расстояния  $d$  между ними на проектный уклон дна канавы:  $h=id$ . На кольях пишут величину заглубления канавы до проектной высоты. Разбивку бровки водоотводной канавы производят по проектным данным в каждой пикетной и характерных

точках (перелом профиля канавы, точки поворота). На ровной местности расстояние от оси канавы до бровки откладывают с помощью рулетки, на косогорах пользуются рейкой с накладным уровнем (рис. 126, б).

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что входит в состав геодезических работ при эксплуатации железнодорожного пути?
2. Расскажите содержание работ при геодезической съемке плана полосы отвода железнодорожного пути?
3. Как составляют план полосы отвода и что он содержит?
4. В какой последовательности выполняют съемку кривых методом Гониберга?
5. Как производят съемку кривых методом стрел изгиба?
6. Какие работы выполняют при нивелировании существующего железнодорожного пути?
7. Как разбить и проинвентаризировать поперечник существующего железнодорожного пути?
8. Расскажите, в каком порядке составляют продольный профиль существующего железнодорожного пути и какие данные он содержит.
9. Что входит в состав геодезических съемок станций и цель их выполнения?
10. Какие геодезические работы предшествуют ремонту водоотводных сооружений?
11. Какую графическую документацию составляют после выполнения съемок водоотводных сооружений?

## Глава 22

### **ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ УКЛАДКЕ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ**

#### **§ 117. Приборы для линейных измерений бесстыкового пути**

Бесстыковой путь состоит из рельсовых плетей длиной от 250 до 800 м. Особенность конструкции бесстыкового пути состоит в том, что длина рельсовых плетей не должна изменяться при изменении температуры окружающей среды, потому что рельсы прочно закрепляют на шпалах, а шпалы — в балласте.

Рельсовые плети укладывают после капитального ремонта пути, выполненного с укладкой тяжелых рельсов типа Р50, Р65 длиной 12,5 и 25 м. После обкатки и стабилизации балластной призмы путь разбирают, а на его место укладывают рельсовые плети. По продольному профилю намечают длину рельсовых плетей, разбивая путь на участки. Границами участков назначают изолирующие стыки автоблокировки, стыки рамных рельсов и др. Для уточнения длины плетей производят измерение каждого участка. Участки пути измеряют по головке рельса рулетками РЗ-20 в закрытом или открытом корпусе с ценой деления 1 мм.

Для измерения температуры рельсов применяют термометр и три стальных ограничителя. Для уменьшения влияния температурных расширений применяют рулетки 1 класса инварные. Инвар — это сплав, состоящий из 64 % железа и 36 % никеля. Коэффициент расширения инвара обычно не превышает  $10^{-6}$ , и погрешность в измерениях от температуры может быть допущена в 10—13 раз меньше, чем для стальных рулеток. Рабочие рулетки компарируют на компараторах сравнением с рулеткой-эталоном, аналогично компарированию землемерных лент (см. § 19).

### **§ 118. Измерение рельсовой плети 20-метровой стальной рулеткой**

Измерение рельсовой плети производят бригадой из четырех человек: руководитель работ, два мерщика и рабочий для переноски термометра и установки ограничителей на кривых. Кроме них для ограждения места работ назначают двух сигнальщиков. Работу по измерению рельсовой плети производят по разрешению начальника дистанции пути. Руководитель работ инструктирует рабочих по правилам личной безопасности; обеспечивает всю работу со строгим соблюдением правил безопасности движения поездов. Работа по измерению согласовывается с расписанием движения поездов. До начала работы руководитель ограждает место измерения, выставив на обочине сигнальщиков впереди и сзади на 200 м по ходу измерения. Ленту укладывают на головку измеряемого рельса от начала измеряемого участка, отмеченного краской на шейке рельса, а рабочий размещает термометр на головке смежного рельса. По истечении 5—8 мин руководитель производит отсчет по термометру и записывает его в журнал измерений. По команде руководителя задний мерщик совмещает нулевой штрих рулетки с началом измеряемого участка (торцом рельса) и удерживает ее руками, передний мерщик, натянув рулетку, удерживает ее одной рукой, а второй рукой наносит карандашом черту на головке рельса по конечному штриху рулетки и эту черту обводит мелом. После этого бригада переходит вперед, перенося рулетку и термометр на весу, а сигналисты тоже передвигаются вперед. Руководитель работ записывает в журнал количество 2-метровых отложений. На кривых участках малого радиуса, если рулетка свисает с головки рельса, рабочий ставит ограничитель в середине 20-метровки. Такие пролеты отмечают в журнале знаком 10К (кривая измерена хордой 10 м). Остаток измеряемого участка определяют с точностью до 1 мм. При появлении поезда сигналист подает звуковой сигнал рожком. При этом мерщики кладут рулетку на обочину, переносят карандашную линию с помощью ограничителя на внешнюю грань головки рельса, и вся бригада сходит с пути. После прохода поезда, пользуясь ограничителем, переносят риску с внешней грани

головки рельса на ее верхнюю грань и продолжают измерение. Каждую рельсовую нить измеряют дважды: в прямом и обратном направлениях. Относительная погрешность двух измерений не должна превышать 1/5000.

### § 119. Обработка результатов измерений и вычисление длины рельсовой нити

Приближенную длину каждого измерения участка определяют по формуле

$$D = 20n + r, \quad (210)$$

где  $n$  — число отложенных 20-метровых рулеток (пролетов);  $r$  — остаток измеряемой линии (менее 20 м).

Для более точного (окончательного) определения длины рельсовой нити вводят поправки за температуру, компарирование рулетки и за кривые участки пути. С учетом этих поправок длину линии вычисляют по формуле

$$D_0 = D + 20\alpha(\Sigma t - nt_0) + \alpha r(t_r - t_0) + 0,05D\Delta l + \Delta K, \quad (211)$$

где  $D = 20n + r$  — измеренная длина линии в м;  $\alpha = 0,000012$  — коэффициент расширения стали для рулеток;  $\Sigma t$  — сумма измеренных температур по всем отложениям (пролетам);  $t_r$  — температура при измерении остатка;  $t_0$  — температура компарирования рулетки;  $\Delta l$  — поправка в длину за компарирование рулетки;  $\Delta K$  — поправка за кривизну участка пути при измерении его хордой 20 м.

Рулетки компарируют при температуре  $t_0 = +20^\circ\text{C}$ . При  $\alpha = 0,000012$ , принимая значение  $\Delta l$  в мм, а  $D$  и  $r$  в м, формула (204) будет иметь следующий вид

$$D_0 = D + 0,24(\Sigma t + 20^\circ n) + 0,012r(t_r - 20^\circ) + 0,05D\Delta l + \Delta K. \quad (212)$$

**Пример.** Определить длину рельсовой нити, если при измерении ее известны:  $D = 634,530$  м — приближенная длина нити;  $t_r = 27^\circ$  — температура при измерении остатка;  $\Sigma t = 929^\circ$  — сумма температур измерений;  $\Delta l = +3$  мм — поправка за компарирование рулетки;  $R = 700$  м — радиус кривой;  $l_k = 280$  м — измеряемая длина кривой;  $n = 31$  — число пролетов по 20 м;  $r = 14,530$  м — остаток измерения участка пути.

Определяют поправку за температуру на участке измерения

$$\Delta D_t = 0,24(929^\circ - 20^\circ \cdot 31) = 74 \text{ мм.}$$

Определяют поправку за температуру остатка измерения

$$\Delta D_{t_r} = 0,012 \cdot 14,53(27^\circ - 20^\circ) = 1,22 \approx 1 \text{ мм.}$$

Определяют поправку за компарирование

$$\Delta D_K = 0,05 \cdot 634,53 \cdot 3 = 95 \text{ мм.}$$

Поправку за кривую определяют по табл. 26, приведенные в ней поправки определены по формуле

$$\Delta K = \frac{S^3}{24R^2} \cdot \frac{K}{S} = \frac{20^3 l_k}{24R^2}, \quad (213)$$

которая выведена из формулы

$$\Delta K = y = \frac{S^3}{24R^2},$$

где  $y = \Delta K$  — величина, на которую длина хорды  $X$  будет меньше длины дуги  $S$ .

В рассматриваемом примере

$$\Delta K = \frac{20^2 \cdot 280}{24 \cdot 700^2} = 0,0095 \text{ м} = 9,5 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм},$$

по табл. 26 находим: для  $R=700 \text{ м}$   $l_k=280 \text{ м}$ .

|          |                        |
|----------|------------------------|
| $L_k$    | $\Delta K$             |
| На 200 м | 6,8                    |
| На 80 м  | 2,7                    |
| <hr/>    |                        |
| На 280 м | 9,5 мм $\approx$ 10 мм |

Так как длина дуги больше хорды, поправку  $\Delta K$  подставляют в формулу (211) со знаком плюс.

Окончательная длина рельсовой нити

$$D_0 = 634,530 + 0,074 + 0,010 = 635,615 \text{ м}.$$

Т а б л и ц а 26

| Радиус<br>кривой,<br>м | Измеренная длина кривой, м |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | 100                        | 200  | 300   | 400   | 500   | 600   | 700   | 800   | 900   | 1000  |
| 600                    | 4,64                       | 9,28 | 13,92 | 18,52 | 22,64 | 27,76 | 32,48 | 37,04 | 41,68 | 46,40 |
|                        | 1,16                       | 2,32 | 3,48  | 4,63  | 5,66  | 6,94  | 8,12  | 9,26  | 10,42 | 11,60 |
| 700                    | 3,40                       | 6,80 | 10,20 | 13,60 | 17,00 | 20,40 | 23,80 | 27,28 | 30,60 | 34,08 |
|                        | 0,85                       | 1,70 | 2,55  | 3,40  | 4,25  | 5,10  | 5,95  | 6,82  | 7,65  | 8,52  |
| 800                    | 2,60                       | 5,20 | 7,80  | 10,40 | 13,00 | 15,60 | 18,24 | 20,84 | 23,44 | 26,04 |
|                        | 0,65                       | 1,30 | 1,95  | 2,60  | 3,25  | 3,90  | 4,56  | 5,21  | 5,86  | 6,51  |
| 1000                   | 1,68                       | 3,32 | 5,00  | 6,72  | 8,24  | 10,00 | 11,68 | 13,34 | 15,00 | 16,72 |
|                        | 0,42                       | 0,83 | 1,25  | 1,68  | 2,06  | 2,50  | 2,92  | 3,33  | 3,75  | 4,18  |
| 1200                   | 1,16                       | 2,31 | 3,47  | 4,63  | 5,78  | 6,94  | 8,10  | 9,26  | 10,41 | 11,57 |
|                        | 0,29                       | 0,58 | 0,87  | 1,16  | 1,44  | 1,74  | 2,02  | 2,32  | 2,60  | 2,89  |
| 1500                   | 0,75                       | 1,49 | 2,24  | 2,99  | 3,74  | 4,48  | 5,23  | 5,98  | 6,72  | 7,47  |
|                        | 0,19                       | 0,37 | 0,56  | 0,75  | 0,94  | 1,12  | 1,31  | 1,50  | 1,68  | 1,87  |
| 2000                   | 0,42                       | 0,83 | 1,25  | 1,68  | 2,08  | 2,50  | 2,92  | 3,33  | 3,75  | 4,18  |
|                        | 0,10                       | 0,21 | 0,31  | 0,42  | 0,52  | 0,62  | 0,73  | 0,84  | 0,94  | 1,04  |

П р и м е ч а н и е. В числителе даны поправки при длине хорды  $x = 20 \text{ м}$ , в знаменателе — при хорде  $x = 10 \text{ м}$ , значения  $\Delta K$  — в мм.

Аналогично определяют длину рельсовой плети при измерении обратно. Если погрешность измерения рельсовой нити при двух измерениях не превышает допустимую ( $1/5000$  или  $4\sqrt{n}$ , где  $n$  — число пролетов), определяют среднее значение длины участка. Вычисленную длину рельсовой нити передают на рельсосварочный поезд, где сваривают рельсовые плети. Длину свариваемой плети измеряют в процессе сварки при помощи рельса-эталона длиной 25 м.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие применяют приборы для линейных измерений при укладке бесстыкового пути?
2. Расскажите порядок измерения рельсовой нити 20-метровой рулеткой на прямых участках пути.
3. Как измеряют рельсовую нить 20-метровой рулеткой на кривых участках пути?
4. По какой формуле определяют длину рельсовой плети с учетом поправок за температуру, компарирование, кривые участки пути?
5. Как определяют поправку за температуру при измерении рельсовой плети?
6. Как определить поправку за кривую при измерении рельсовой плети?

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

---

### Глава 23

#### ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ПОЛЕВЫХ РАБОТАХ

##### § 120. Общие требования по безопасному ведению работ

Техника безопасности — это система организационных мероприятий и технических средств и приемов работы, обеспечивающих безопасность условий труда.

В нашей стране уделяется большое внимание вопросам охраны труда и техники безопасности.

Ежегодно значительные средства выделяются на обеспечение работников топографо-геодезических партий необходимым предохранительным снаряжением техники безопасности, медикаментами.

Предохранить себя и товарищей в бригаде от несчастного случая можно, если все полевые геодезические работы будут производиться с соблюдением правил по технике безопасности на топографо-геодезических работах (ПТБ-73) [15].

К руководству геодезическими работами в должности руководителей бригады, начальника партии, начальника экспедиции, главного инженера экспедиции допускаются только лица, успешно защитившие рабочий проект организации безопасного ведения работ на своих объектах. Им выдается специальное удостоверение на право производства работ.

Со всеми рабочими, принятыми в изыскательскую партию, руководитель работ производит вводный инструктаж об условиях работы, правилах внутреннего распорядка, правилах техники безопасности. Кроме того, он проводит обучение практическим приемам безопасного ведения всех видов работ непосредственно на рабочем месте.

Результаты инструктажей и обучения заносятся в специальные журналы (табл. 27).

Обучение и инструктаж по технике безопасности повторяются через каждые 6 мес после работы в поле. При отдаленных местах работы каждая бригада при производстве полевых работ обеспечивается радиостанцией и обязана выходить на контрольную радиосвязь с начальником изыскательской партии. Запрещаются переходы и переезды бригад ночью и в туман. Каждая изыскательская партия, полевая бригада должны

# Т а б л и ц а 27. Журнал вводного инструктажа рабочих

Экспедиция № \_\_\_\_\_

Предприятие № \_\_\_\_\_

| Дата проведения инструктажа | Ф. И. О. лиц, с кем проводился инструктаж по правилам безопасного ведения топографо-геодезических работ | Краткое содержание инструктажа | Расписка лица, прошедшего инструктаж | Расписка лица, проводившего инструктаж |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
|                             |                                                                                                         |                                |                                      |                                        |

быть обеспечены полным комплектом исправных приборов и инструментов, необходимым инвентарем, спецодеждой и походными медицинскими аптечками.

Геодезические приборы и инструменты закрепляются персонально за каждым рабочим на весь полевой сезон. Пилы, топоры, лопаты во время передвижения должны находиться в чехлах. Весь рабочий состав партии, работающий в малообжитых районах, должен быть обучен ориентированию по компасу, буссоли; определению направления по солнцу, звездам, местным предметам; ориентированию по карте.

Каждая рабочая бригада должна иметь: карту с нанесенным маршрутом движения, сигнальные средства, аварийный запас продуктов, а в пустынях и степях — запас воды. При производстве работ следует учитывать, что женщины допускаются к переноске грузов массой не свыше 20 кг, а мужчины — не свыше 50 кг на расстоянии не далее 60 м. При переноске грузов в маршруте предельная нагрузка для мужчин — 30 кг, для женщин — 15 кг по ровной местности, а в горах — 20 кг и 10 кг соответственно.

До начала работ в городах, населенных пунктах, на территориях специального назначения необходимо получить от органов, ведающих данной территорией, разрешение на право производства работ на указанных территориях. На основании собранных материалов руководитель бригады составляет рабочий проект на производство работ, который утверждается начальником изыскательской партии.

Готовность бригады к выезду в поле подтверждается актом, подписываемым главным инженером экспедиции, начальником партии, общественным инспектором по охране труда в экспедиции, руководителем бригады.

## § 121. Правила санитарии и гигиены

Перед отправлением на полевые работы в малообжитые районы все инженерно-технические работники и рабочие должны быть обучены приемам по оказанию первой медицинской по-

мощи. Первая помощь при несчастном случае или заболевании, до получения врачебной помощи, оказывается на месте. В случае тяжелого ранения или заболевания пострадавший должен немедленно быть направлен в лечебное учреждение. Все работники полевой бригады должны соблюдать правила санитарии и личной гигиены.

В местах стоянок полевых бригад должны быть установлены бачки с остуженной кипяченой водой. Запрещается пить сырую воду непосредственно из реки, болота, озера, заброшенных колодцев и из случайных источников.

При передвижении у каждого работника полевой бригады должна быть фляга или термос с кипяченой водой. Несоблюдение этих правил приводит к серьезным желудочно-кишечным заболеваниям. Нельзя пить холодную воду будучи потным или разгоряченным.

Летом, в солнечную погоду, нельзя работать с непокрытой головой. В наиболее жаркие часы работать не рекомендуется, а время работы следует переносить на утренние и предвечерние часы. Работать следует в легкой обуви с труднопрокаляемой подошвой. Нельзя работать или передвигаться босиком.

При купании в открытых водоемах необходимо соблюдать ряд мер предосторожности. Купаться можно только по разрешению и под наблюдением бригадира. Нельзя купаться разгоряченным, а также сразу после еды, входить в воду надо постепенно в неглубоком месте. Продолжительность купания не должна быть более 15 мин.

При купании запрещается: прыгать в воду с судов, паромов, лодок, плотов, а также в местах неизвестной глубины, подплывать к близко идущим судам, плотам, лодкам, заплывать далеко от берега.

Не разрешается садиться или ложиться на сырую землю, камни, траву. Это может вызвать простудные заболевания, иногда с тяжелыми осложнениями.

Если геодезические работы производятся в районах, изобилующих комарами, то следует пользоваться накомарниками, сетками, отпугивающими средствами. Во время сна следует пользоваться пологам.

При работах в районах, зараженных клещевым энцефалитом, необходимо обрабатывать стоянки бригады противоклещевыми средствами, применять спецодежду, проводить через каждые два часа работы самоосмотры и взаимные осмотры, немедленно удаляя замеченных клещей. Одежда каждого работающего в полевой бригаде должна соответствовать сезону, быть удобной, свободной для работы. Каждая бригада должна быть снабжена бинтом, йодом и походной аптечкой. При несчастных случаях пострадавшему следует оказать первую медицинскую помощь, а при необходимости нужно прибегнуть к помощи врача.

## **§ 122. Пользование автомобильным транспортом**

Автомобили, предназначенные для перевозки людей, должны быть технически исправны, накрыты тентом, должны иметь оборудованные скамейки, лесенки для посадки и высадки пассажиров. Руководитель полевой бригады не имеет права допускать к управлению автомашиной водителя, не имеющего водительских прав, а также водителя, явившегося на работу больным, сильно переутомленным или в нетрезвом состоянии.

Число людей в кузове не должно быть больше 16 при грузоподъемности автомобиля в 2 т и при грузоподъемности до 3 т — 20 человек. Во время передвижения пассажирам запрещается садиться на борта, стоять в кузове и на подножках. Скорость движения не должна превышать 50 км/ч, а по дорогам неизвестного профиля 20—30 км/ч. Ответственность за безопасную перевозку несут руководитель работ и водитель авто-транспорта.

## **§ 123. Техника безопасности на водных переправах**

Водные переправы следует осуществлять в местах паромов, лодочных переправ, мостов. При их отсутствии переправы производят в местах, заранее намеченных в маршруте движения бригады. На реках со спокойным течением можно переправляться на плотях, сооружаемых на месте.

Все средства переправ через водотоки должны включать спасательные средства (веревки, спасательные круги, спасательные жилеты и т. п.). Переправа осуществляется при наличии гребцов и рулевого.

Нельзя переправляться на весельных лодках через реки со скоростью течения более 2 м/с. Запрещается переправа через реки при ветре, при большой волне, а также в лодках грузоподъемностью менее 1 т при ширине реки более 500 м. Переправы вброд разрешается производить только в исключительных случаях с самостраховкой на привязи при температуре воды не ниже 12 °С по ровному, невязкому дну. Максимальная глубина брода при этом не должна быть более 1 м при скорости течения воды 1 м/с; 0,7 м — при скорости течения воды до 2 м/с и 0,5 — при скорости течения воды 2,5 м/с.

При проведении изыскательских работ на мостовых переходах зимой следует соблюдать следующие правила техники безопасности.

Перед выходом на лед надо убедиться в его прочности, отсутствии трещин, пробоин, навесов льда над водой. Для этого высверливают лунки через каждые 10 м по направлению передвижения. Минимальная допустимая толщина прочного льда: при передвижении людей 10 см, лошадей с повозками 20 см, автомашин грузоподъемностью до 1,5 т — 40 см. При появлении наледной воды работа на льду запрещается.

## § 124. Основные правила личной безопасности

При выполнении геодезических съемок могут иметь место несчастные случаи из-за неосторожного обращения с геодезическими приборами, личной небрежности при работе. Следует соблюдать следующие правила:

1. Из-за небрежного обращения со штативами, шпильками мерных лент могут быть проколы тела, особенно конечностей. Устанавливать штативы следует осторожно, чтобы не повредить ноги острым металлическим наконечником. Переносить штативы необходимо наконечниками вниз. При измерении мерной лентой следует ставить шпильки так, чтобы не повредить руку ее острием. У заднего рабочего-мерщика все шпильки, кроме установленной в землю, должны быть надеты на специальное кольцо. Переносить шпильки следует на кольца, остриями вниз. Запрещается перекидывать шпильки друг другу.

2. Если при измерении линии натягивать ленту рулетки не за ручку, а за ее стальную полосу, то возможен порез руки. Переносить мерную ленту следует только за ручки.

3. Топор должен быть исправлен и прочно закреплен на топорнице путем расклинивания металлическими завершенными клиньями. При расчистке кустарника, заготовке и забивке кольев при неосторожном обращении можно нанести себе ранение топором. Чтобы этого не случилось, подлесок и кустарник нужно срубить острым топором по одному стволу, удерживая его одной рукой в наклонном состоянии. Перед взмахом топора надо посмотреть вверх, чтобы не задеть веток, которые могут изменить направление удара топора. Усилие удара для перерубания ствола не должно быть чрезмерным, чтобы не повредить ногу.

Забивая колья или перерубая стволы кустарника, следует убедиться, что в радиусе размаха топора нет кого-либо из работающих, чтобы не нанести им травмы. После работы топор должен быть помещен в специальный чехол.

4. Запрещается подниматься на старые знаки с подгнившими столбами, с поломанными лестницами и площадками. Несоблюдение этих правил может привести к падению со знака. Подъем на растущие деревья разрешается только в необходимых случаях, если диаметр ствола не менее 10 см. При подъеме на дерево используются когти и предохранительный пояс.

5. Геодезические приборы при работе в населенных пунктах следует переносить только по краю тротуара, а не по проезжей части.

6. Если начинается гроза, необходимо прекратить работы и пройти в укрытие. Во время грозы запрещается стоять под деревьями и быть близко от мачт, столбов, громоотводов.

## § 125. Противопожарные мероприятия и охрана природы

В нашей стране проводится большая работа по сохранению природы, рациональному использованию ее богатств, охране окружающей среды. С этой целью принимаются необходимые меры по охране земли, лесов, растительности и животного мира, сохранению в чистоте воздуха и воды. В Конституции нашего государства — Основном законе Союза Советских Социалистических Республик — среди важнейших обязанностей граждан нашей страны названа обязанность беречь природу и охранять ее богатства.

Топографо-геодезические и изыскательские работы проводятся, в основном, в тот период, когда особенно велика возможность возникновения пожаров, которые наносят большой материальный ущерб. Пожары губят леса, перекидываясь на поля, уничтожают посевы, угрожают населенным пунктам. Поэтому особо важное значение придается мерам пожарной безопасности. В изыскательских партиях, бригадах назначаются лица, ответственные за пожарную безопасность. Все работники геодезических бригад, изыскательских партий должны строго соблюдать правила пожарной безопасности. Этими правилами запрещается разводить костры в хвойных молодняках, на торфяниках, в местах с подсохшей травой, камышах, а также под кронами деревьев. Место для костра при разбивке лагерной стоянки должно быть удалено от деревьев на 15—20 м, окопано канавой глубиной до 0,5 м. Костер должен быть под постоянным наблюдением дежурного. При уходе со стоянки костер заливают водой и засыпают землей. Во избежание пожара нельзя оставлять в палатках без присмотра зажженные свечи, фонари, горячие нагревательные приборы. Нельзя бросать на землю горящие спички, незатушенные тлеющие окурки. Проходя через лес, поле или луг с высохшей травой, запрещается курить. Находясь на геодезических съемках, изыскательских работах, все работники должны не только соблюдать правила пожарной безопасности, но и в случае возникновения пожара вблизи их места работы немедленно принять меры по борьбе с огнем. Пожар нужно быстро ликвидировать, не давая огню разгореться. Небольшое пламя можно закидать землей, песком, захлестать ветками лиственных деревьев, залит водой. Можно быстро снять полосу дерна вокруг очага пожара. Независимо от применения первичных средств необходимо немедленно сообщить о пожаре, позвать на помощь находящихся поблизости людей.

Выполняя изыскательские и съемочные геодезические работы по прокладке теодолитных, нивелирных ходов, установке геодезических знаков, необходимо соблюдать все условия, которые бы обеспечивали охрану окружающей среды.

1. Какие требования техники безопасности предъявляют к геодезическим работам?
2. Какие предусмотрены виды инструктажа по технике безопасности и кто их обязан проводить?
3. Расскажите об основных правилах санитарии и гигиены при нахождении на съемочных работах.
4. Какие правила техники безопасности необходимо соблюдать при организации водных переправ?
5. Расскажите об основных требованиях техники безопасности при пользовании автомобильным транспортом.
6. Какие правила личной безопасности должен соблюдать каждый, кто находится на геодезических съемках?
7. Какие противопожарные мероприятия необходимо соблюдать при выполнении полевых съемочных работ?

## Глава 24

### **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

#### **§ 126. Общие положения**

К выполнению геодезических работ на железных дорогах допускаются лица, которые прошли медицинское освидетельствование и сдали экзамен по технике безопасности. Все топографо-геодезические работы, проводимые на железных дорогах, не должны нарушать безопасное движение поездов с установленными скоростями и должны гарантировать полную безопасность работающих.

Каждый работник, выполняющий геодезические съемки железнодорожных путей, во всех случаях, явно угрожающих безопасности движения или жизни людей, должен принять все меры к ограждению опасного места и устранению неисправности.

Выполнение топографо-геодезических работ в пределах полосы отвода на перегонах и раздельных пунктах должно быть согласовано с начальником дистанции пути в отношении времени и порядка ограждения места работы.

У всех работающих на геодезических съемках в полосе отвода железных дорог поверх одежды должен быть оранжевый жилет. Запрещается носить одежду и головные уборы красного цвета.

Руководители работ должны знать расписание движения поездов на участках, где проводятся съемочные работы. Нельзя производить работы на железнодорожных путях при плохой видимости (туман, дождь, снегопад).

## § 127. Проход к месту работы

Перед выходом на съемки руководитель работ обязан проинструктировать всех работников о правилах следования к месту работы. Переходы вдоль железной дороги на работу и обратно разрешается производить только по обочине земляного полотна или в стороне от пути, на расстоянии не ближе 2 м от крайнего рельса. Если пройти в стороне от пути невозможно, допускается проход по обочине по одному-два человека в ряд с соблюдением мер предосторожности. Руководитель работ в этом случае идет сзади группы с развернутым красным флажком, а в темное время — с красным фонарем.

В условиях плохой видимости (в глубоких выемках, в лесу и т. д.) впереди и сзади группы рабочих для их оповещения о приближающемся поезде должны следовать сигналисты на расстоянии не ближе 500 м. Сигналисты должны идти с развернутыми красными флажками (ночью фонарь с красным светом) и ограждать идущую группу до тех пор, пока они не сойдут с пути.

На двухпутных участках надо идти навстречу движению поездов. Чтобы своевременно услышать шум приближающегося поезда, нельзя плотно закрывать уши головным убором (шапкой, платком). При приближении поезда не менее, чем за 400 м необходимо сойти с пути на расстояние не менее 2 м от крайнего рельса.

Для встречи скоростного поезда (скорость движения более 120 км/ч) сойти с пути необходимо за 5 мин до его прихода по расписанию. При проходе скоростного поезда необходимо сойти с пути на расстояние не ближе 5 м от крайнего рельса. Запрещается переходить или перебегать путь, находиться на междупутье или соседнем пути при приближении поезда. Если скоростной поезд не проследовал по расписанию, то руководитель работ обязан уточнить время.

Если навстречу идет путевая машина, нужно сойти с пути за 400 м до ее подхода и находиться на расстоянии от крайнего рельса:

- при проходе балластера и землеуборочной машины — 5 м;
- при работе струга — 10 м;
- при работе щетнеочистительной машины Драгавцева — не ближе 5 м в стороне, противоположной выбросу загрязненного балласта;
- при работе снегоочистителя:
  - однопутного — 25 м;
  - двухпутного — не ближе 5 м в стороне, противоположной выбросу снега.

## § 128. Съёмочные работы на перегонах

Перед началом работ руководитель инструктирует работников по безопасному выполнению съёмочных работ, проверяет состояние инструментов и приспособлений, расставляет работающих и указывает места, куда они должны уходить во время прохода поезда.

До начала работ выставляются сигналисты, которые устанавливают переносные сигнальные знаки «С» (свисток). При плохой видимости (менее 500 м) руководитель работ обязан поставить в сторону плохой видимости сигналиста со звуковым сигналом. Место сигналиста выбирается так, чтобы он видел приближающийся поезд не менее чем за 500 м от места работающих.

При плохой видимости на двухпутном участке, кроме сигналиста, на обочине соседнего пути на расстоянии 500 — 1000 м от места работ в сторону сигналиста устанавливается переносной сигнальный знак «С». Этот знак ставится исключительно для предупреждения работающих о приближающемся поезде по соседнему пути.

При передвижном характере съёмочных работ вместо сигнального знака «С» (свисток) устанавливается сигналист со звуковым сигналом.

При хорошей видимости (более 500 м в каждую сторону) сигналисты не выставляются, а о подходе поездов должен предупреждать работающих руководитель работ.

Получив сигнал о подходе поезда по любому пути, все работники должны сойти с пути на ближайшую обочину на расстояние не менее 2 м от крайнего рельса, а при проходе скоростного поезда — не ближе 5 м от крайнего рельса, убрав с пути все приборы.

Находиться на междупутье во время прохода поезда категорически запрещается. Руководитель работ сходит с пути на обочину, только проследив за уходом работающих и уборкой всего инструмента.

После прохода поезда руководитель работ должен убедиться, что вслед за поездом нет подталкивающего локомотива, отдельно следующих локомотива или дрезины. Убедившись, что путь свободен, руководитель дает разрешение работающим продолжать съёмку.

При работе геодезические приборы и принадлежности необходимо ставить на обочине или за пределами земляного полотна не ближе 2 — 5 м от крайнего рельса и находиться рядом с ними, наблюдая за тем, чтобы не было самопроизвольного падения при проходе поезда.

Нельзя оставлять на пути без присмотра геодезические приборы, принадлежности, материалы. Геодезические приборы необходимо устанавливать по возможности на обочине земляного полотна. При перерыве в работе необходимо сойти с пути;

нельзя садиться на концы шпал, рельсы, бровку балластной призмы.

На участках, оборудованных автоблокировкой, нельзя класть приборы и штативы на рельсы и производить поперечные измерения стальными лентами и рулетками. Промер линий следует вести по бровке земляного полотна. При необходимости поперечные измерения производят тесьмяными рулетками.

### **§ 129. Геодезические работы на отдельных пунктах**

Все съемочные работы на станционных путях производят только по согласованию с начальником и дежурным по станции о месте и времени работы.

Все основные геодезические ходы (полигоны, базисы) необходимо разбивать на свободных и удобных для работ местах или между путями с наименее интенсивным движением.

При проходе вдоль пути необходимо идти по междупутью или обочине земляного полотна, не ослабляя внимания к движению подвижного состава.

Переходить станционные пути следует под прямым углом, предварительно убедившись, что на пересекаемых путях нет приближающегося подвижного состава.

Нельзя переходить путь перед приближающимся подвижным составом. Особую осторожность следует проявить при выходе на путь позади стоящего поезда из-за станционных зданий и сооружений, закрывающих видимость путей. При проходе через пути нельзя наступать на рельсы, становиться ногой между рамным рельсом и остяком или в желоб крестовины стрелочного перевода.

Если путь занят подвижным составом, то переходить его можно, только тормозными площадками. Вагоны, стоящие на путях, разрешается обходить не ближе чем за 5 м от крайнего вагона.

Запрещается пролезать под вагонами, перетаскивать под вагонами инструменты, приборы, материалы, переходить по сцепным устройствам. Переходить между вагонами в том случае, если расстояние между ними не менее 10 м.

Геодезические работы на горочных, сортировочных путях и путях подгорочных парков должны производиться во время перерывов маневровой работы.

На подгорочных путях, оборудованных радиосвязью, горочный диспетчер оповещает по радио о начале и окончании роспуска вагонов и о перерыве в маневровой работе.

### **§ 130. Геодезические работы на электрифицированных участках пути**

Выполняя геодезические съемки на электрифицированных участках пути, каждый работник должен помнить, что высокое напряжение в контактной сети (3300 В при постоянном токе и

25 000 В при переменном токе) обязывает строго выполнять все требования правил по технике безопасности.

Все работы надо организовать так, чтобы никто из работников не приближался сам или не подносил какие-либо предметы на расстояние менее 2 м к находящимся под напряжением частям контактной сети или линии электропередач. Особую осторожность следует соблюдать при работе с вежами, нивелирными рейками, мерными лентами и т. п.

Запрещается прикасаться руками или какими-либо предметами к частям крышевого или подвагонного оборудования электрического подвижного состава, находящегося под напряжением. При обнаружении оборванных проводов контактной сети работники, находящиеся на пути, обязаны оградить опасное место сигналами остановки и немедленно сообщить об этом на ближайший пункт контактной сети, дежурному по станции, поезднему или энергодиспетчеру и до прибытия бригады контактной сети следить за тем, чтобы никто не заходил в опасную зону.

Запрещается подходить ближе чем на 10 м к оборванным проводам контактной сети, независимо от того, касаются они земли или нет.

Запрещается касаться металлических опор контактной сети и посторонних предметов, которые находятся на частях контактной сети.

### **§ 131. Геодезические работы на искусственных сооружениях**

На время производства съёмочных работ на местах руководитель работ должен выделить сигналиста для наблюдения за приближением поездов к месту работ и оповещения работающих.

Работающие на мосту длиной 50 м должны уходить за его пределы при подходе поезда. На мостах длиной свыше 50 м работающие должны укрываться в специальных площадках или уходить за его пределы. При работе на мостах длиной более 100 м каждый из работающих должен иметь спасательный жилет.

При съёмках тоннелей руководитель работ обязан указать каждому работающему ниши, куда они должны укрываться при подходе поезда.

Категорически запрещается при приближении поезда прислоняться к стене тоннеля. Все работающие в тоннеле оповещаются о приближении поезда автоматическими звуковыми и световыми сигналами. Такие сигналы подаются за 4—5 мин до подхода поезда к тоннелю. Машинисту локомотива выдается предупреждение о подаче сигналов.

При отсутствии или неисправности автоматической сигнализации руководитель работ выставляет за 1 км с обеих сторон за порталами тоннеля сигналистов, которые оповещают о приближении поезда.

Если тоннель длиной более 100 м, то руководитель работ связывается телефоном с ближайшими станциями для извещения о выходе поезда.

*Вопросы для самопроверки*

1. Как осуществить безопасный проход к месту геодезических съемок на железнодорожном пути?
2. Какие правила техники безопасности необходимо соблюдать, выполняя съемочные работы на перегонах?
3. Перечислите основные требования техники безопасности при выполнении геодезических работ на отдельных пунктах.
4. Назовите основные правила техники безопасности при производстве съемочных работ на электрифицированных участках железнодорожного пути.
5. Что предусмотрено требованиями техники безопасности при выполнении геодезических работ на искусственных сооружениях?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Булеков И. Ф. Таблицы для вычисления приращений прямоугольных координат с контролем. М., Недра, 1974.
2. Власов Д. И., Логинов В. И. Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах. М., Транспорт, 1974.
3. Васютинский И. О., Рязанцев Г. Е., Ямбаев Х. К. Геодезические приборы при строительно-монтажных работах. М., Недра, 1982.
4. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы. М., 1973.
5. Инженерная геодезия/А. А. Визгин, В. Н. Ганьшин, В. А. Коугия и др. М., Высшая школа, 1985.
6. Инженерная геодезия/О. С. Разумов, В. Г. Ладонников, Н. В. Ангелов и др. М., Высшая школа, 1984.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. М., Недра, 1974.
8. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500. М., Недра, 1982.
9. Контор И. И., Пауль В. П. Основы проектирования и постройки железных дорог. М., Транспорт, 1983.
10. Кузьмин Б. С. Краткий топографо-геодезический словарь-справочник. М., Недра, 1973.
11. Минаев Г. А. Охрана труда на топографо-геодезических работах. М., Недра, 1973.
12. Моргунов Н. Ф., Родионов В. И. Геодезия, М., Недра, 1978.
13. Охрана труда на железнодорожном транспорте и в транспортном строительстве/В. С. Крутяков, А. А. Прохоров, Н. Г. Рыбаков и др. М., Транспорт, 1983.
14. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах (ПТБ-73). М., Недра, 1973.
15. Правила технической эксплуатации. М., Транспорт, 1971.
16. Родионов В. И. Руководство по учебной геодезической практике. М., Недра, 1983.
17. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500. М., Недра, 1976.
18. Справочник геодезиста. Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. М., Недра, 1985.
19. Терешин В. С., Демидов А. А. Техника безопасности и производственная санитария в путевом хозяйстве. М., Транспорт, 1972.
20. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. М., Недра, 1977.
21. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500. М., Недра, 1973.
22. Федоров В. И., Шилов П. И. Инженерная геодезия. М., Недра, 1982.
23. Хейфец Б. С., Данилевич Б. Б. Практикум по инженерной геодезии. М., Недра, 1979.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица поправок за наклон линий местности  $\Delta D = 2D \sin^2 \alpha/2$

| Угол<br>наклона<br>$\alpha$ | $\Delta D$ , см, при расстоянии $D$ , м |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                             | 10                                      | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70    | 80    | 90    |
| 2°00'                       | 0,6                                     | 1,2  | 1,8  | 2,4  | 3,0  | 3,7  | 4,3   | 4,9   | 5,5   |
| 2 30                        | 1,0                                     | 1,9  | 2,9  | 3,8  | 4,8  | 5,7  | 6,7   | 7,6   | 8,6   |
| 3                           | 1,4                                     | 2,7  | 4,1  | 5,5  | 6,9  | 8,2  | 9,6   | 11,0  | 12,3  |
| 3 30                        | 1,9                                     | 3,7  | 5,6  | 7,5  | 9,3  | 11,2 | 13,1  | 14,9  | 16,8  |
| 4                           | 2,4                                     | 4,9  | 7,3  | 9,7  | 12,2 | 14,6 | 17,1  | 19,5  | 21,6  |
| 4 30                        | 3,0                                     | 6,2  | 9,2  | 12,3 | 15,4 | 18,5 | 21,6  | 24,7  | 27,7  |
| 5                           | 3,8                                     | 7,6  | 11,4 | 15,2 | 19,0 | 22,9 | 26,9  | 30,4  | 34,2  |
| 5 20                        | 4,3                                     | 8,7  | 13,0 | 17,3 | 21,6 | 26,0 | 30,3  | 34,6  | 39,0  |
| 5 40                        | 4,9                                     | 9,8  | 14,7 | 19,5 | 24,4 | 29,3 | 34,2  | 39,1  | 44,0  |
| 6                           | 5,5                                     | 11,0 | 16,4 | 21,9 | 27,4 | 32,9 | 38,3  | 43,8  | 49,3  |
| 6 20                        | 6,1                                     | 12,2 | 18,3 | 24,4 | 30,5 | 36,6 | 42,7  | 48,8  | 54,9  |
| 6 40                        | 6,8                                     | 13,5 | 20,3 | 27,0 | 33,8 | 40,6 | 47,3  | 59,1  | 60,9  |
| 7                           | 7,5                                     | 14,9 | 22,4 | 29,8 | 37,3 | 44,7 | 52,2  | 59,6  | 67,1  |
| 7 15                        | 8,0                                     | 16,0 | 24,0 | 32,0 | 40,0 | 48,0 | 56,0  | 64,0  | 72,0  |
| 7 30                        | 8,6                                     | 17,1 | 25,7 | 34,2 | 42,8 | 51,3 | 59,9  | 68,4  | 77,0  |
| 7 45                        | 9,1                                     | 18,3 | 27,4 | 36,5 | 45,7 | 54,8 | 63,9  | 73,1  | 82,2  |
| 8                           | 9,7                                     | 19,5 | 29,2 | 38,9 | 48,7 | 58,4 | 68,1  | 77,9  | 87,6  |
| 8 15                        | 10,3                                    | 20,7 | 31,0 | 41,4 | 51,7 | 62,1 | 72,4  | 82,8  | 93,1  |
| 8 30                        | 11,0                                    | 22,0 | 33,0 | 43,9 | 54,9 | 65,9 | 76,2  | 87,9  | 98,9  |
| 8 45                        | 11,6                                    | 23,3 | 34,9 | 46,6 | 58,2 | 69,8 | 81,5  | 93,1  | 104,7 |
| 9                           | 12,3                                    | 24,6 | 36,9 | 49,2 | 61,6 | 73,9 | 86,2  | 98,5  | 110,8 |
| 9 15                        | 13,0                                    | 26,0 | 39,0 | 52,0 | 65,0 | 78,0 | 91,0  | 104,0 | 117,0 |
| 9 30                        | 13,7                                    | 27,4 | 41,1 | 54,9 | 68,6 | 82,3 | 96,0  | 109,7 | 123,4 |
| 9 45                        | 14,4                                    | 28,9 | 43,3 | 57,8 | 72,7 | 86,7 | 101,1 | 115,6 | 130,0 |
| 10                          | 15,2                                    | 30,4 | 55,6 | 60,8 | 76,0 | 91,2 | 106,3 | 121,5 | 136,6 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица поправок (в метрах) за наклон визирной оси при дальномерном определении расстояний по отвесной рейке

| Углы наклона | Поправки за наклон при отсчитанных по рейке расстояниях, м |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | 10                                                         | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
| 3°           | 0,03                                                       | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,25 |
| 4            | 0,05                                                       | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,24 | 0,29 | 0,34 | 0,39 | 0,44 |
| 5            | 0,08                                                       | 0,15 | 0,23 | 0,30 | 0,38 | 0,46 | 0,53 | 0,61 | 0,68 |
| 6            | 0,11                                                       | 0,22 | 0,33 | 0,44 | 0,55 | 0,66 | 0,77 | 0,88 | 0,98 |
| 7            | 0,15                                                       | 0,30 | 0,45 | 0,59 | 0,74 | 0,89 | 1,04 | 1,19 | 1,34 |
| 8            | 0,19                                                       | 0,39 | 0,58 | 0,77 | 0,97 | 1,16 | 1,36 | 1,55 | 1,74 |
| 9            | 0,24                                                       | 0,49 | 0,73 | 0,98 | 1,22 | 1,47 | 1,72 | 1,96 | 2,20 |
| 10           | 0,30                                                       | 0,60 | 0,90 | 1,21 | 1,51 | 1,81 | 2,11 | 2,41 | 2,71 |
| 10°30'       | 0,33                                                       | 0,66 | 1,00 | 1,33 | 1,66 | 1,99 | 2,32 | 2,66 | 2,99 |
| 11           | 0,36                                                       | 0,73 | 1,09 | 1,46 | 1,82 | 2,18 | 2,55 | 2,91 | 3,28 |
| 11 30        | 0,40                                                       | 0,80 | 1,19 | 1,59 | 1,99 | 2,39 | 2,78 | 3,18 | 3,58 |
| 12           | 0,43                                                       | 0,86 | 1,30 | 1,73 | 2,16 | 2,59 | 3,03 | 3,46 | 3,89 |
| 12 30        | 0,47                                                       | 0,94 | 1,40 | 1,87 | 2,34 | 2,81 | 3,28 | 3,75 | 4,21 |
| 13           | 0,51                                                       | 1,01 | 1,52 | 2,02 | 2,53 | 3,04 | 3,54 | 4,05 | 4,55 |
| 13 30        | 0,54                                                       | 1,09 | 1,63 | 2,18 | 2,72 | 3,27 | 3,81 | 4,36 | 4,90 |
| 14           | 0,58                                                       | 1,17 | 1,76 | 2,34 | 2,93 | 3,51 | 4,10 | 4,68 | 5,27 |
| 14 30        | 0,63                                                       | 1,25 | 1,88 | 2,51 | 3,14 | 3,76 | 4,39 | 5,02 | 5,64 |
| 15           | 0,67                                                       | 1,34 | 2,01 | 2,68 | 3,35 | 4,02 | 4,69 | 5,36 | 6,03 |
| 15°30'       | 0,71                                                       | 1,43 | 2,14 | 2,86 | 3,57 | 4,28 | 5,0  | 5,71 | 6,43 |
| 16           | 0,76                                                       | 1,52 | 2,28 | 3,04 | 3,80 | 4,56 | 5,32 | 6,08 | 6,84 |
| 16 30        | 0,81                                                       | 1,61 | 2,42 | 3,23 | 4,03 | 4,84 | 5,65 | 6,45 | 7,26 |
| 17           | 0,85                                                       | 1,71 | 2,56 | 3,42 | 4,27 | 5,13 | 5,98 | 6,84 | 7,69 |

УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

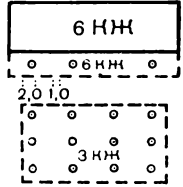
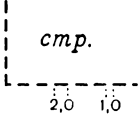
ОПОРНЫЕ ПУНКТЫ

| №  | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                              | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|    |                                                                                                                                                                          | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 1  | Пункты государственной геодезической сети (числитель — отметка центра, знаменатель — отметка земли;<br><i>Нарка, Осинки, Озеро</i> — названия пунктов) [10, 12, 13, 218] |                                    |               |
| 3  | Пункты геодезических сетей местного значения и их номера                                                                                                                 |                                    |               |
| 5* | Точки плановых съемочных сетей:<br>а) закрепленные на местности [11, 16]<br><br>б) на углах капитальных зданий ("координированные углы") [17]                            |                                    |               |
| 6  | Астрономические пункты                                                                                                                                                   |                                    |               |
| 7  | Ориентирные пункты                                                                                                                                                       |                                    |               |
| 8  | Столбы граничные                                                                                                                                                         |                                    |               |

\* Номера условных знаков соответствуют «Условным знакам для топографических планов масштаба 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500». М., Недра, 1973.

| №  | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                  | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|    |                                                                                                                              | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 11 | Нивелирные знаки:<br>а) реперы фундаментальные (числитель—отметка центра, знаменатель—отметка земли; $\phi 28$ —номер знака) |                                    |               |
|    | б) реперы грунтовые [18]                                                                                                     |                                    |               |
|    | в) марки и реперы скальные (числитель — номер знака, знаменатель — отметка центра или полочки) [19]                          |                                    |               |
|    | г) марки и реперы стенные [16]                                                                                               |                                    |               |
| 12 | д) реперы временные [11]                                                                                                     |                                    |               |
|    | Пересечения координатных линий                                                                                               |                                    |               |

ЗДАНИЯ, ПОСТРОЙКИ И ИХ ЧАСТИ

| №  | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                             | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                |                                                                                   |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                         | 1:5000,                                                                           | 1:2000                                                                            | 1:1000, 1:500                                                                     |
| 19 | Здания с колоннами вместо части<br>или всего первого этажа<br>[10, 20, 21, 22, 23, 218] |  |  |                                                                                   |
| 20 | Строящиеся здания                                                                       |  |  |  |

## ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ НИХ

| №     | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|       |                                                                                                            | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 129   | Железные дороги [70]                                                                                       |                                    |               |
| 130   | Электрифицированные железные дороги и опоры контактной сети [10, 70, 71]                                   |                                    |               |
| 131   | Монорельсовые железные дороги [10, 70, 71]                                                                 |                                    |               |
| 132 * | Трамвайные линии и узкоколейные железные дороги, ширина колеи, опоры контактной сети [10, 70, 71, 72, 218] |                                    |               |
|       |                                                                                                            |                                    |               |
| 133   | Фуникулеры и бремсберги [70]                                                                               |                                    |               |
| 134   | Подвешные дороги, их опоры [10, 71]                                                                        |                                    |               |
| 135   | Строящиеся железные дороги нормальной колеи [70, 73]                                                       |                                    |               |
| 136   | Строящиеся трамвайные линии и узкоколейные железные дороги [70, 73]                                        |                                    |               |
| 137   | Строящиеся фуникулеры и бремсберги [70, 73, 218]                                                           |                                    |               |
| 138   | Полотно разобранных железных дорог [70, 74]                                                                |                                    |               |

| №     | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                            | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|       |                                                                                                                                                                        | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 140   | Железные дороги по насыпям (+ 3,5; + 2,9 — высоты насыпей в м) [70, 75]                                                                                                |                                    |               |
| 141 * | Железные дороги в выемках с неукрепленными (а) и укрепленными (б) откосами (4,7; -5,2; -3,1 — глубина выемок в м; <i>дерн.</i> — укрепление дернованием) [70, 75, 130] |                                    |               |
| 142   | Железные дороги в выемках с каменными или железобетонными подпорными стенками [70, 75, 76]                                                                             |                                    |               |
| 143 * | Входы в туннели и галереи, железная дорога в туннеле и его характеристики (числитель — высота и ширина, знаменатель — длина туннеля в м) [70, 76]                      |                                    |               |
| 144   | Станционные пути [70]                                                                                                                                                  |                                    |               |

## ШОССЕЙНЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ДОРОГИ

| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |                       |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1:5000                             | 1:2000, 1:1000, 1:500 |
| 159 | Автострады (8,0—ширина полосы в м; 2—количество полос; 24,5—ширина дороги от канавы до канавы в м; Ц—материал покрытия) [84, 85, 86]                                                                                                                                                                                                         |                                    |                       |
| 160 | Усовершенствованные шоссе (7,2—ширина покрытой части; 12,4—ширина дороги от канавы до канавы в м; А, Ц—материал покрытия), оборудованные съезды, границы смены покрытия [84, 85, 87]                                                                                                                                                         |                                    |                       |
| 161 | Шоссе (5,5—ширина покрытой части; 9,6—ширина дороги от канавы до канавы в м; Б, Ц—материал покрытия), примыкания дорог низших классов без оборудования съездов [84, 85, 88]                                                                                                                                                                  |                                    |                       |
| 162 | Проезжие части улиц населенных пунктов: при наличии бортового камня—бордюра (а), без него (б) Тротуары на улицах, отмостка, пешеходные дорожки (в парках, садах, на кладбищах и т.п.): с твердым покрытием (а), без покрытия (г) . А, Б, Г, Д, Ц—материал покрытия; 120,62 — 120,50 — отметки высот на бортовом камне и рядом с ним [85, 89] |                                    |                       |
| 163 | Профилированные и улучшенные грунтовые дороги (6,8—ширина проезжей части в м; Г, Шл—материал добавок) [84, 85, 90]                                                                                                                                                                                                                           |                                    |                       |
| 164 | Дороги с деревянным покрытием [84, 85, 91]                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |                       |

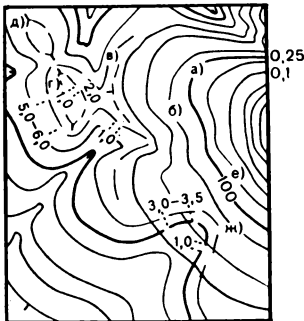
| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                           | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |       |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|
|     |                                                                                                       | 1:5000, 1:2000                     | 1:500 |
| 165 | Грунтовые дороги [84, 90, 92] :                                                                       |                                    |       |
| •   | а) проселочные                                                                                        |                                    |       |
|     | б) полевые и лесные                                                                                   |                                    |       |
|     | в) участки, проезжие при отливе моря, сработке водохранилища или идущие по руслу потока в горах       |                                    |       |
| 166 | Тропы:                                                                                                |                                    |       |
|     | а) выючные                                                                                            |                                    |       |
|     | б) пешеходные                                                                                         |                                    |       |
|     | в) участки на искусственных карнизах—овраги (числитель—наименьшая ширина, знаменатель—длина в м) [93] |                                    |       |
| 167 | Зимние дороги [84, 94]                                                                                |                                    |       |
| 168 | Строящиеся дороги [84, 95] :                                                                          |                                    |       |
|     | а) автострады                                                                                         |                                    |       |
|     | б) усовершенствованные шоссе                                                                          |                                    |       |
|     | в) шоссе                                                                                              |                                    |       |
|     | г) улучшенные грунтовые                                                                               |                                    |       |
|     | д) с деревянным покрытием                                                                             |                                    |       |

МОСТЫ И ПЕРЕПРАВЫ

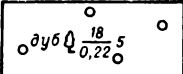
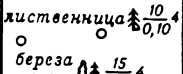
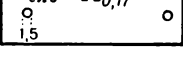
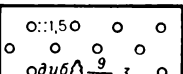
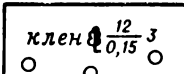
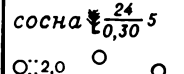
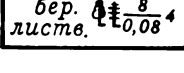
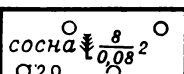
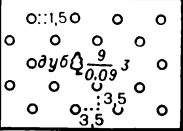
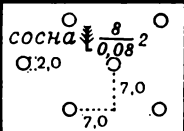
| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                             | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|     |                                                                                                         | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 248 | Мосты металлические [10, 140, 141;<br>142, 143, 144, 218]:<br><br>а) однопролетные                      |                                    |               |
|     | б) многопролетные                                                                                       |                                    |               |
| 249 | Мосты каменные, бетонные, железобетонные<br>[10, 140, 141, 142, 143, 144, 218]:<br><br>а) однопролетные |                                    |               |
|     | б) многопролетные                                                                                       |                                    |               |

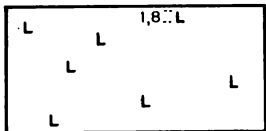
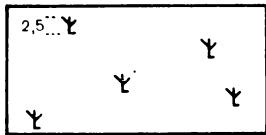
| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                                                  | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ |               |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|     |                                                                                                                                                                                                              | 1:5000, 1:2000                     | 1:1000, 1:500 |
| 253 | Мосты, по которым железная дорога и шоссе проходят рядом (мосты с совмещенной ездой) [10, 140, 141, 142, 143, 144, 218]:                                                                                     |                                    |               |
|     | а) на общем пролетном строении                                                                                                                                                                               |                                    |               |
| 254 | Путепроводы [10, 140, 141, 142, 143, 144, 218]:                                                                                                                                                              |                                    |               |
|     | а) железнодорожные, над шоссе или железной дорогой                                                                                                                                                           |                                    |               |
| 255 | Характеристики мостов: 8—высота низа пролетного строения над уровнем воды (на судоходных реках); 370—длина моста в м, 10—ширина проезжей части в м; 18, 13, 10—автомобильная нагрузка (грузоподъемность) в т |                                    |               |

РЕЛЬЕФ

| №        | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                                                                                                                                | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                                                                                     |               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1:5000, 1:2000                                                                                                                                                                                                         | 1:1000, 1:500 |
| 266<br>* | Горизонтالي [151, 152]:<br>а) основные утолщенные<br>б) основные<br>в) дополнительные (полугоризонтали)<br>г) вспомогательные (на произвольной высоте)<br>д) указатели направления скатов (бергштрихи)<br>е) надписи горизонталей в м<br>ж) горизонтали для изображения нависающих склонов |                                                                                                                                       |               |
| 267      | Отметки высот (а); отметки высот точек, находящихся ниже уровня моря (б) [7, 153]                                                                                                                                                                                                          | <p>0,6<br/>а)  342,7</p> <p>б)  -20,7</p> <p>0,6</p> |               |
| 258      | Перевалы, отметки их высот и месяцы действия [7]                                                                                                                                                                                                                                           | <p> <math>\frac{4525,2}{V-X}</math></p>                                                                                               |               |
| 269      | Обрывы (-2,2 и -7,6 — глубина в м) [7, 154, 155]                                                                                                                                                                                                                                           | <p></p> <p>-2,2                      -7,6</p>                                                                                         |               |

## РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

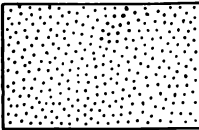
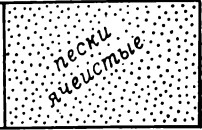
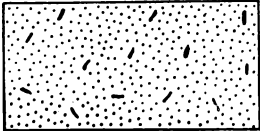
| №                        | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                                                 | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                                                                                                                                                             | 1:5000, 1:2000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1:1000, 1:500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 296                      | Контуры растительности, грунтов и др. [170]                                                                                                                                                                 | ~1,0<br>.....<br>.....<br>.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ~1,5<br>.....<br>.....<br>.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Древесная растительность |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 297                      | Леса [171]:<br>а) лиственные<br>б) хвойные<br>в) смешанные<br>Характеристики древостоя (числитель — средняя высота в м, знаменатель — средняя толщина стволов, справа — среднее расстояние между деревьями) | а) <br>б) <br>в) <br> | а) <br>б) <br>в) <br> |
| 298                      | Сажные леса [172, 173]                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                          | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                  |                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|     |                                                                                      | 1:5000, 1:2000                                                                      | 1:1000, 1:500       |
| 312 | Отдельно стоящие деревья—ориен-<br>тиры и обозначения древесных пород<br>леса [180]: | 1,5<br>Q 2,5                                                                        | —                   |
|     | лиственные (общий знак)                                                              | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0        |
|     | широколиственные (дуб, бук, клен,<br>граб, липа, ясень, ильм и др.)                  | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0        |
|     | мелколиственные (береза, осина,<br>ива, ольха, тополь и др.)                         | 1,5<br>Q 3,0<br>1,5                                                                 | Q 3,5<br>2,0        |
|     | фруктовые                                                                            | 1,5<br>Q 3,0                                                                        | Q 3,5<br>2,0        |
|     | пальмы                                                                               | 1,5<br>Q 3,0                                                                        | Q 3,5<br>2,0        |
|     | хвойные (общий знак)                                                                 | 1,5<br>Q 2,5                                                                        | —                   |
|     | ель и пихта                                                                          | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0        |
|     | сосна и кедр                                                                         | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0        |
|     | лиственница                                                                          | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0        |
|     | кипарисы                                                                             | —                                                                                   | Q 3,5<br>2,0<br>1,5 |
| 313 | Деревья, не имеющие ориентирного<br>или культурно-исторического зна-<br>чения        | 1,0<br>Q                                                                            | —                   |
| 314 | Вырубленные участки леса (выруб-<br>ки) [181]                                        |   |                     |
| 315 | Горелые и сухостойные участки леса<br>[182]                                          |  |                     |

## Кустарниковая, полукустарниковая и кустарничковая

| №                                | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                       | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                                                       |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |                                                                                                                                                                                   | 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500                                                                                                                                                            |
| 320                              | Сплошные заросли кустарников — (а) сплошные заросли колючих кустарников — (б)<br><i>орешник</i> , <i>шиповник</i> — названия пород, 2,4; 1,3 — средние высоты в м [185, 187, 218] | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">           а)<br/> </div> <div style="text-align: center;">           б)<br/> </div> </div> |
| Травяная, моховая и лишайниковая |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                          |
| №                                | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                       | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                                                       |
|                                  |                                                                                                                                                                                   | 1:5000, 1:2000 1:1000, 1:500                                                                                                                                                             |
| 325                              | Луговая травянистая растительность (высотой менее 1 м) — а; низкотравная влаголюбивая растительность (высотой менее 1 м — осока, пушица и др.) — б [172]                          | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">           а)<br/> </div> <div style="text-align: center;">           б)<br/> </div> </div> |
| 326                              | Высокотравная растительность (высотой 1 м и более) — а; камышовые и тростниковые заросли — б [172, 184]                                                                           | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">           а)<br/> </div> <div style="text-align: center;">           б)<br/> </div> </div> |
| 333                              | Пашни (а), огороды (б) [7, 218]                                                                                                                                                   | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">           а)<br/> </div> <div style="text-align: center;">           б)<br/> </div> </div> |

ГРУНТЫ И МИКРОФОРМЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                      | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                  | 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 340 | Пески [7, 195] :<br>а) ровные<br>б) неровные ( <i>ячеистые, бугристые</i> и др.) | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>а)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>б)</p>  </div> </div> |
| 341 | Галечники [195]                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                             |

## БОЛОТА И СОЛОНЧАКИ

| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                                                                                                                                                      | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                                                                                                                                                                                  | 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500                                                                                                                          |
| 350 | Болота непроходимые и труднопроходимые [7, 203]:<br>а) моховые<br>б) низкотравные (осоковые, пушицевые и др.)<br>в) высокотравные (камышовые, тростниковые и др.)<br>г) кустарничковые<br>(глубже 2,5 м;<br>-1,8; -3,1; -4,5— глубины болот в м) | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
|     |                                                                                                                                                                                                                                                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">в)</div> <div style="text-align: center;">г)</div> </div> |
|     |                                                                                                                                                                                                                                                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
|     |                                                                                                                                                                                                                                                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">в)</div> <div style="text-align: center;">г)</div> </div> |
| 351 | Болота проходимые [7, 203]:<br>а) моховые<br>б) низкотравные (осоковые, пушицевые и др.)<br>в) высокотравные (камышовые, тростниковые и др.)<br>г) кустарничковые<br>(глубже 2,5 м;<br>-0,8; -3,1; -4,5—глубины болот в м)                       | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
|     |                                                                                                                                                                                                                                                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">в)</div> <div style="text-align: center;">г)</div> </div> |

ПРИМЕРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ СОЧЕТАНИЙ  
РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ГРУНТОВ

| №   | НАЗВАНИЯ<br>УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ                                                                                  | ИЗОБРАЖЕНИЕ<br>НА ПЛАНАХ МАСШТАБОВ                                                                                                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                                              | 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500                                                                                                                          |
| 360 | Редкий лес на глинистой поверхности (а) и на каменной поверхности (б) [206]                                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
| 361 | Вырубка и гарь с порослью (а) и сплошными зарослями кустарников (б) [206]                                    | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
| 362 | Сплошные заросли кустарника на песке (а) и отдельные кусты на песке, закрепленном полукустарниками (б) [206] | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
| 363 | Кустарник на лугу (а) и на заболоченном лугу с кочками (б) [206]                                             | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |
| 364 | Кустарник с камышом (а), колючий кустарник и отдельные пучки высокотравья в степи (б) [206]                  | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">а)</div> <div style="text-align: center;">б)</div> </div> |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Табл. 1. Элементы круговых и переходных кривых  $R = 700$

| $\alpha$ | $T$    | $\Delta T$ | $K$    | $\Delta K$ | $L$  | $\Delta L$ | $B$   | $\Delta B$ |
|----------|--------|------------|--------|------------|------|------------|-------|------------|
| 25°00'   | 155,19 |            | 305,43 |            | 4,94 |            | 17,00 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 03       | 155,51 |            | 306,04 |            | 4,97 |            | 17,07 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 06       | 155,83 |            | 306,65 |            | 5,00 |            | 17,13 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      | 1          |       | 2          |
| 09       | 156,15 |            | 307,27 |            | 5,03 |            | 17,20 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 12       | 156,47 |            | 307,88 |            | 5,06 |            | 17,27 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 15       | 156,79 |            | 308,49 |            | 5,09 |            | 17,34 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 18       | 157,11 |            | 309,10 |            | 5,12 |            | 17,41 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 21       | 157,43 |            | 309,71 |            | 5,15 |            | 17,48 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      | 1          |       | 2          |
| 24       | 157,75 |            | 310,32 |            | 5,18 |            | 17,56 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 27       | 158,07 |            | 310,93 |            | 5,22 |            | 17,63 |            |
|          |        | 11         |        | 20         |      |            |       | 2          |
| 30       | 158,39 |            | 311,54 |            | 5,25 |            | 17,70 |            |

| $K$ | $\alpha$ | $T$    | $L$  | $B$   | $K$ | $\alpha$ | $T$    | $L$  | $B$   |
|-----|----------|--------|------|-------|-----|----------|--------|------|-------|
| 295 | 24°09'   | 149,72 | 4,44 | 15,83 | 305 | 24°58'   | 154,96 | 4,92 | 16,95 |
| 300 | 24 33    | 152,34 | 4,68 | 16,38 | 310 | 25 22    | 157,58 | 5,17 | 17,52 |

| $l$ | $T_p$   | $m$   | $\rho$ | $B_p$   | $l$ | $T_p$   | $m$   | $\rho$ | $B_p$ |
|-----|---------|-------|--------|---------|-----|---------|-------|--------|-------|
| 180 | 0,41—44 | 89,95 | 1,93   | 1,97—98 | 80  | 0,8—0,9 | 40,00 | 0,38   | 0,39  |
| 160 | 0,32—34 | 79,97 | 1,52   | 1,56    | 60  | 0,05    | 30,00 | 0,21   | 0,22  |
| 140 | 0,25—26 | 69,98 | 1,17   | 1,19—20 | 40  | 0,02    | 20,00 | 0,10   | 0,10  |
| 120 | 0,18—19 | 59,99 | 0,86   | 0,88    |     |         |       |        |       |
| 100 | 0,13    | 49,99 | 0,60   | 0,61    | 20  | 0,01    | 10,00 | 0,02   | 0,02  |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Табл. 1. Элементы круговых и переходных кривых  $R = 600$

| $\alpha$ | $T$      | $\Delta T$ | $K$    | $\Delta K$ | $D$   | $\Delta D$ | $B$    | $\Delta B$ |         |
|----------|----------|------------|--------|------------|-------|------------|--------|------------|---------|
| 41°00'   | 224,33   | 10         | 429,35 |            | 19,31 |            | 40,57  |            |         |
| 03       | 224,63   |            | 429,87 | 17         | 19,38 | 2          | 40,67  | 3          |         |
| 06       | 224,93   |            | 430,40 | 18         | 19,46 | 3          | 40,77  | 3          |         |
| 09       | 225,23   |            | 430,92 | 17         | 19,53 | 2          | 40,88  | 4          |         |
| 12       | 225,53   |            | 431,45 | 18         | 19,60 | 2          | 40,98  | 3          |         |
| 15       | 225,82   |            | 431,97 | 17         | 19,68 | 3          | 41,09  | 4          |         |
| 18       | 226,12   |            | 432,49 | 17         | 19,75 | 2          | 41,20  | 4          |         |
| 21       | 226,42   |            | 433,02 | 18         | 19,83 | 3          | 41,30  | 3          |         |
| 24       | 226,72   |            | 433,54 | 17         | 19,90 | 2          | 41,41  | 4          |         |
| 27       | 227,02   |            | 434,06 | 17         | 19,98 | 3          | 41,51  | 3          |         |
| 30       | 227,32   | 10         | 434,59 | 18         | 20,05 | 2          | 41,62  | 4          |         |
| 33       | 227,62   |            | 435,11 | 17         | 20,13 | 3          | 41,72  | 3          |         |
| 36       | 227,92   |            | 435,63 | 17         | 20,20 | 2          | 41,83  | 4          |         |
| 39       | 228,22   |            | 436,16 | 18         | 20,28 | 3          | 41,94  | 4          |         |
| 42       | 228,52   |            | 436,68 | 17         | 20,35 | 2          | 42,03  | 3          |         |
| 45       | 228,82   |            | 437,20 | 17         | 20,43 | 3          | 42,15  | 4          |         |
| 48       | 229,12   |            | 437,73 | 18         | 20,51 | 3          | 42,26  | 4          |         |
| 51       | 229,42   |            | 438,25 | 17         | 20,58 | 2          | 42,36  | 3          |         |
| 54       | 229,72   |            | 438,78 | 18         | 20,66 | 3          | 42,47  | 4          |         |
| 57       | 230,02   |            | 439,30 | 17         | 20,74 | 3          | 42,58  | 4          |         |
| 42°00'   | 230,32   |            | 449,82 | 17         | 20,81 | 2          | 42,69  | 4          |         |
| $K$      | $\alpha$ | $T$        | $D$    | $B$        | $K$   | $\alpha$   | $T$    | $D$        | $B$     |
| 425      | 40°35'   | 221,85     | 18,71  | 39,70      | 435   | 41°32'     | 227,56 | 20,11      | 41,70   |
| 430      | 41 04    | 224,70     | 19,40  | 40,70      |       |            |        |            |         |
| $l$      | $T_p$    | $m$        | $p$    | $B_p$      | $l$   | $T_p$      | $m$    | $p$        | $B_p$   |
| 180      | 0,83—86  | 89,93      | 2,25   | 2,40—41    | 80    | 0,16—17    | 39,99  | 0,44       | 0,47—48 |
| 180      | 0,66—68  | 79,95      | 1,78   | 1,89—90    | 60    | 0,09—10    | 30,00  | 0,25       | 0,27    |
| 140      | 0,50—52  | 69,97      | 1,36   | 1,45—46    | 40    | 0,04       | 20,00  | 0,11       | 0,12    |
| 120      | 0,37—38  | 59,98      | 1,00   | 1,07       | 20    | 0,01       | 10,00  | 0,03       | 0,03    |
| 100      | 0,26—27  | 49,99      | 0,69   | 0,74       |       |            |        |            |         |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Табл. 1. Элементы круговых и переходных кривых  $R = 100$

| $\alpha$ | $T$      | $\Delta T$ | $K$     | $\Delta K$ | $D$     | $\Delta D$ | $B$    | $\Delta B$ |        |
|----------|----------|------------|---------|------------|---------|------------|--------|------------|--------|
| 74°00'   | 75,355   | 23         | 129,154 | 29         | 21,556  |            | 25,214 |            |        |
| 03       | 75,424   |            | 129,242 |            | 21,606  | 17         | 25,255 | 14         |        |
| 06       | 75,492   |            | 129,329 |            | 21,656  | 17         | 25,296 | 14         |        |
| 09       | 75,561   |            | 129,416 |            | 21,706  | 17         | 25,337 | 14         |        |
| 12       | 75,629   |            | 129,503 |            | 21,755  | 17         | 25,379 | 14         |        |
| 15       | 75,698   |            | 129,591 |            | 21,805  | 17         | 25,420 | 14         |        |
| 21       | 75,835   |            | 129,765 |            | 21,905  | 17         | 25,503 | 14         |        |
| 24       | 75,904   |            | 129,852 |            | 21,956  | 17         | 25,545 | 14         |        |
| 27       | 75,973   |            | 129,940 |            | 22,006  | 17         | 25,586 | 14         |        |
| 30       | 76,042   |            | 130,027 |            | 22,057  | 17         | 25,628 | 14         |        |
| 33       | 76,111   | 23         | 130,114 | 29         | 22,107  | 17         | 25,670 | 14         |        |
| 36       | 76,180   |            | 130,202 |            | 22,158  | 17         | 25,711 | 14         |        |
| 39       | 76,249   |            | 130,289 |            | 22,208  | 17         | 25,753 | 14         |        |
| 42       | 76,318   |            | 130,376 |            | 22,259  | 17         | 25,795 | 14         |        |
| 45       | 76,387   |            | 130,463 |            | 22,310  | 17         | 25,837 | 14         |        |
| 48       | 76,456   |            | 130,551 |            | 22,361  | 17         | 25,879 | 14         |        |
| 51       | 76,525   |            | 130,638 |            | 22,412  | 17         | 25,921 | 14         |        |
| 54       | 76,954   |            | 130,725 |            | 22,463  | 17         | 25,963 | 14         |        |
| 57       | 76,663   |            | 130,812 |            | 22,514  | 17         | 26,005 | 14         |        |
| 75°00'   | 76,733   |            |         |            | 139,900 |            | 22,566 |            | 26,047 |
| $K$      | $\alpha$ | $T$        | $D$     | $B$        | $K$     | $\alpha$   | $T$    | $D$        | $B$    |
| 129      | 73°55'   | 75,23      | 21,47   | 25,14      | 130     | 74°29'     | 76,02  | 22,04      | 25,62  |
| $l$      | $T_p$    | $m$        | $p$     | $B_p$      | $l$     | $T_p$      | $m$    | $p$        | $B_p$  |
| 20       | 0,12—13  | 10,00      | 0,17    | 0,20       | 10      | 0,03       | 5,00   | 0,04       | 0,05   |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Т а б л. 5. Координаты чистых (несдвинутых) круговых кривых

| K   | R = 4000 |      | R = 3000 |      | R = 2500 |      | K   |
|-----|----------|------|----------|------|----------|------|-----|
|     | K - x    | y    | K - x    | y    | K - x    | y    |     |
| 82  | 0,01     | 0,84 | 0,01     | 1,12 | 0,01     | 1,34 | 82  |
| 84  | 0,01     | 0,84 | 0,01     | 1,18 | 0,02     | 1,41 | 84  |
| 86  | 0,01     | 0,92 | 0,01     | 1,23 | 0,02     | 1,48 | 86  |
| 88  | 0,01     | 0,97 | 0,01     | 1,29 | 0,02     | 1,55 | 88  |
| 90  | 0,01     | 1,01 | 0,01     | 1,35 | 0,02     | 1,62 | 90  |
| 92  | 0,01     | 1,06 | 0,01     | 1,41 | 0,02     | 1,69 | 92  |
| 94  | 0,01     | 1,10 | 0,02     | 1,47 | 0,02     | 1,77 | 94  |
| 96  | 0,01     | 1,15 | 0,02     | 1,54 | 0,02     | 1,84 | 96  |
| 98  | 0,01     | 1,20 | 0,02     | 1,60 | 0,03     | 1,92 | 98  |
| 100 | 0,01     | 1,25 | 0,02     | 1,67 | 0,03     | 2,00 | 100 |
| 102 | 0,01     | 1,30 | 0,02     | 1,73 | 0,03     | 2,08 | 102 |
| 104 | 0,01     | 1,35 | 0,02     | 1,80 | 0,03     | 2,16 | 104 |
| 106 | 0,01     | 1,40 | 0,02     | 1,87 | 0,03     | 2,25 | 106 |
| 108 | 0,01     | 1,46 | 0,02     | 1,94 | 0,03     | 2,33 | 108 |
| 110 | 0,01     | 1,51 | 0,02     | 2,02 | 0,04     | 2,42 | 110 |
| 112 | 0,01     | 1,57 | 0,03     | 2,09 | 0,04     | 2,51 | 112 |
| 114 | 0,02     | 1,62 | 0,03     | 2,17 | 0,04     | 2,51 | 114 |
| 116 | 0,02     | 1,68 | 0,03     | 2,24 | 0,04     | 2,69 | 116 |
| 118 | 0,02     | 1,74 | 0,03     | 2,32 | 0,04     | 2,78 | 118 |
| 120 | 0,02     | 1,80 | 0,03     | 2,40 | 0,05     | 2,88 | 120 |
| 122 | 0,02     | 1,86 | 0,03     | 2,48 | 0,05     | 2,98 | 122 |
| 124 | 0,02     | 1,92 | 0,04     | 2,56 | 0,05     | 3,07 | 124 |
| 126 | 0,02     | 1,98 | 0,04     | 2,65 | 0,05     | 3,17 | 126 |
| 128 | 0,02     | 2,05 | 0,04     | 2,73 | 0,06     | 3,28 | 128 |
| 130 | 0,02     | 2,11 | 0,04     | 2,82 | 0,06     | 3,38 | 130 |
| 132 | 0,02     | 2,18 | 0,04     | 2,90 | 0,06     | 3,48 | 132 |
| 134 | 0,03     | 2,24 | 0,04     | 2,99 | 0,06     | 3,59 | 134 |
| 136 | 0,03     | 2,31 | 0,05     | 3,08 | 0,07     | 3,70 | 136 |
| 138 | 0,03     | 2,38 | 0,05     | 3,17 | 0,07     | 3,81 | 138 |
| 140 | 0,03     | 2,45 | 0,05     | 3,27 | 0,07     | 3,92 | 140 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Табл. 3. Координаты переходных и следующих за ними круговых кривых

| K   | R = 300 |       |        |       |        |       | K   |
|-----|---------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|
|     | l = 80  |       | l = 60 |       | l = 40 |       |     |
|     | K - x   | y     | K - x  | y     | K - x  | y     |     |
| 5   | 0,00    | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 5   |
| 10  | 0,00    | 0,01  | 0,00   | 0,01  | 0,00   | 0,01  | 10  |
| 15  | 0,00    | 0,02  | 0,00   | 0,03  | 0,00   | 0,05  | 15  |
| 20  | 0,00    | 0,06  | 0,00   | 0,07  | 0,00   | 0,11  | 20  |
| 25  | 0,00    | 0,11  | 0,00   | 0,14  | 0,00   | 0,22  | 25  |
| 30  | 0,00    | 0,19  | 0,00   | 0,25  | 0,00   | 0,37  | 30  |
| 35  | 0,00    | 0,30  | 0,00   | 0,40  | 0,01   | 0,60  | 35  |
| 40  | 0,00    | 0,44  | 0,01   | 0,59  | 0,02   | 0,89  | 40  |
| 45  | 0,01    | 0,63  | 0,01   | 0,84  | 0,03   | 1,26  | 45  |
| 50  | 0,01    | 0,87  | 0,02   | 1,16  | 0,05   | 1,72  | 50  |
| 55  | 0,02    | 1,16  | 0,04   | 1,54  | 0,08   | 2,26  | 55  |
| 60  | 0,03    | 1,50  | 0,06   | 2,00  | 0,12   | 2,88  | 60  |
| 65  | 0,05    | 1,91  | 0,09   | 2,54  | 0,17   | 3,59  | 65  |
| 70  | 0,07    | 2,38  | 0,13   | 3,16  | 0,23   | 4,38  | 70  |
| 75  | 0,10    | 2,93  | 0,18   | 3,87  | 0,31   | 5,25  | 75  |
| 80  | 0,14    | 3,55  | 0,24   | 4,66  | 0,40   | 6,20  | 80  |
| 85  | 0,19    | 4,26  | 0,32   | 5,53  | 0,51   | 7,24  | 85  |
| 90  | 0,25    | 5,05  | 0,41   | 6,48  | 0,64   | 8,35  | 90  |
| 95  | 0,33    | 5,92  | 0,52   | 7,51  | 0,78   | 9,55  | 95  |
| 100 | 0,42    | 6,87  | 0,64   | 8,63  | 0,95   | 10,83 | 100 |
| 105 | 0,53    | 7,90  | 0,79   | 9,83  | 1,14   | 12,18 | 105 |
| 110 | 0,66    | 9,02  | 0,95   | 11,10 | 1,35   | 13,62 | 110 |
| 115 | 0,80    | 10,21 | 1,14   | 12,46 | 1,58   | 15,14 | 115 |
| 120 | 0,97    | 11,49 | 1,35   | 13,90 | 1,84   | 16,74 | 120 |
| 125 | 1,16    | 12,85 | 1,59   | 15,42 | 2,13   | 18,41 | 125 |
| 130 | 1,37    | 14,29 | 1,85   | 16,01 | 2,45   | 20,16 | 130 |
| 135 | 1,60    | 15,80 | 2,14   | 18,69 | 2,80   | 22,00 | 135 |
| 140 | 1,87    | 17,40 | 2,46   | 20,44 | 3,18   | 23,90 | 140 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Табл. 6. Углы для разбивки переходных и следующих за ними круговых кривых засечками

| K   | R = 300. a <sub>0</sub> = 20 |                 |          |                 |          |                 | K   |
|-----|------------------------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|-----|
|     | l = 80                       |                 | l = 60   |                 | l = 40   |                 |     |
|     | δ                            | Δa <sub>0</sub> | δ        | Δa <sub>0</sub> | δ        | Δa <sub>0</sub> |     |
| 20  | 0°09'33"                     |                 | 0°12'44" |                 | 0°19'06" |                 | 20  |
| 40  | 0 38 12                      |                 | 0 50 56  |                 | 1 16 23  |                 | 40  |
| 60  | 1 25 56                      |                 | 1 54 35  |                 | 2 45 30  | 1               | 60  |
| 80  | 2 32 46                      | 1               | 3 20 59  | 1               | 4 27 20  |                 | 80  |
| 100 | 3 56 45                      |                 | 4 57 50  |                 | 6 14 14  |                 | 100 |
| 120 | 5 30 53                      |                 | 6 40 53  |                 | 8 03 41  | 1               | 120 |
| 140 | 7 10 48                      | 1               | 8 27 12  | 1               | 9 54 36  |                 | 140 |
| 160 | 8 54 20                      |                 | 10 15 34 |                 | 11 46 25 |                 | 160 |
| 180 | 10 40 17                     | 1               | 12 05 17 | 1               | 13 38 50 |                 | 180 |
| 200 | 12 27 55                     |                 | 13 55 57 |                 | 15 31 40 |                 | 200 |

| K   | R = 300, a <sub>0</sub> = 20 |                 | R = 250, a <sub>0</sub> = 20 |                 |          |                 | K   |
|-----|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|----------|-----------------|-----|
|     | l = 20                       |                 | l = 160                      |                 | l = 140  |                 |     |
|     | δ                            | Δa <sub>0</sub> | δ                            | Δa <sub>0</sub> | δ        | Δa <sub>0</sub> |     |
| 20  | 0°38'12"                     |                 | 0°05'44"                     |                 | 0°06'33" |                 | 20  |
| 40  | 2 13 42                      |                 | 0 22 55                      |                 | 0 26 12  |                 | 40  |
| 60  | 4 01 54                      | 1               | 0 51 34                      |                 | 0 58 56  |                 | 60  |
| 80  | 5 53 18                      |                 | 1 31 40                      |                 | 1 44 46  |                 | 80  |
| 100 | 7 45 58                      |                 | 2 23 13                      | 1               | 2 43 40  | 1               | 100 |
| 120 | 9 13 16                      | 1               | 3 26 12                      |                 | 3 55 59  |                 | 120 |
| 140 | 11 32 56                     |                 | 4 40 36                      | 1               | 5 20 39  |                 | 140 |
| 160 | 13 26 50                     | 1               | 6 06 22                      |                 | 6 57 48  |                 | 160 |
| 180 | 15 20 53                     |                 | 7 42 50                      | 1               | 8 43 45  | 1               | 180 |
| 200 | 17 15 02                     |                 | 9 27 17                      |                 | 10 35 49 |                 | 200 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ 10

## Координаты для разбивки сопряжений уклонов продольного профиля

| $\Delta i, \text{ }^{\circ}_{\text{ }_{00}}$ | $R = 10\,000$ |      | $R = 5000$ |      | $R = 2000$ |      | $\Delta i, \text{ }^{\circ}_{\text{ }_{00}}$ |
|----------------------------------------------|---------------|------|------------|------|------------|------|----------------------------------------------|
|                                              | $x$           | $y$  | $x$        | $y$  | $x$        | $y$  |                                              |
| 1                                            | 5             | 0,00 | 2,5        | 0,00 | 1          | 0,00 | 1                                            |
| 2                                            | 10            | 0,00 | 5,0        | 0,00 | 2          | 0,00 | 2                                            |
| 3                                            | 15            | 0,01 | 7,5        | 0,01 | 3          | 0,00 | 3                                            |
| 4                                            | 20            | 0,02 | 10,0       | 0,01 | 4          | 0,00 | 4                                            |
| 5                                            | 25            | 0,03 | 12,5       | 0,02 | 5          | 0,01 | 5                                            |
| 6                                            | 30            | 0,05 | 15,0       | 0,02 | 6          | 0,01 | 6                                            |
| 7                                            | 35            | 0,06 | 17,5       | 0,03 | 7          | 0,01 | 7                                            |
| 8                                            | 40            | 0,08 | 20,0       | 0,04 | 8          | 0,02 | 8                                            |
| 9                                            | 45            | 0,10 | 22,5       | 0,05 | 9          | 0,02 | 9                                            |
| 10                                           | 50            | 0,13 | 25,0       | 0,06 | 10         | 0,03 | 10                                           |
| 11                                           | 55            | 0,15 | 27,5       | 0,08 | 11         | 0,03 | 11                                           |
| 12                                           | 60            | 0,18 | 30,0       | 0,09 | 12         | 0,04 | 12                                           |
| 13                                           | 65            | 0,21 | 32,5       | 0,11 | 13         | 0,04 | 13                                           |
| 14                                           | 70            | 0,24 | 35,0       | 0,12 | 14         | 0,05 | 14                                           |
| 15                                           | 75            | 0,28 | 37,5       | 0,14 | 15         | 0,06 | 15                                           |
| 16                                           | 80            | 0,32 | 40,0       | 0,16 | 16         | 0,06 | 16                                           |
| 17                                           | 85            | 0,36 | 42,5       | 0,18 | 17         | 0,07 | 17                                           |
| 18                                           | 90            | 0,41 | 45,0       | 0,20 | 18         | 0,08 | 18                                           |
| 19                                           | 95            | 0,45 | 47,5       | 0,23 | 19         | 0,09 | 19                                           |
| 20                                           | 100           | 0,50 | 50,0       | 0,25 | 20         | 0,10 | 20                                           |

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## Раздел первый. ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Глава 1. Общие сведения по геодезии . . . . .                                                                                        | 3  |
| § 1. Предмет и содержание геодезии . . . . .                                                                                         | 3  |
| § 2. Значение геодезических работ в развитии народного хозяйства страны. Применение геодезии на железнодорожном транспорте . . . . . | 4  |
| § 3. Понятие о форме Земли и ее размерах . . . . .                                                                                   | 6  |
| § 4. Основные понятия о координатах точек земной поверхности . . . . .                                                               | 7  |
| § 5. Проектирование земной поверхности на плоскость . . . . .                                                                        | 12 |
| § 6. Виды геодезических съемок. Единицы мер, применяемые в геодезии . . . . .                                                        | 13 |
| Глава 2. Рельеф местности и его изображение . . . . .                                                                                | 15 |
| § 7. Масштабы, их виды, точность, применение . . . . .                                                                               | 15 |
| § 8. План, профиль, карта. Понятие о номенклатуре топографических карт . . . . .                                                     | 20 |
| § 9. Условные знаки планов и карт . . . . .                                                                                          | 26 |
| § 10. Основные формы рельефа земной поверхности . . . . .                                                                            | 27 |
| § 11. Изображение рельефа на планах и картах. Горизонтали, их построение . . . . .                                                   | 31 |
| § 12. Задачи, решаемые по плану с горизонталями . . . . .                                                                            | 35 |
| Глава 3. Погрешности измерений. Элементы техники вычислений . . . . .                                                                | 40 |
| § 13. Классификация погрешностей измерений, их свойства . . . . .                                                                    | 40 |
| § 14. Характеристика точности измерений. Средняя квадратическая погрешность измерений . . . . .                                      | 42 |
| § 15. Понятия о правилах и технических средствах вычислений . . . . .                                                                | 44 |
| Глава 4. Обозначение и закрепление точек на местности. Линейные измерения . . . . .                                                  | 48 |
| § 16. Временные и постоянные геодезические точки и знаки . . . . .                                                                   | 48 |
| § 17. Подготовка линий к измерению. Способы вешения линий . . . . .                                                                  | 50 |
| § 18. Непосредственное измерение линий на местности . . . . .                                                                        | 52 |
| § 19. Понятие о компарировании мерных лент . . . . .                                                                                 | 54 |
| § 20. Измерение линий штриховой лентой. Точность измерения . . . . .                                                                 | 55 |
| § 21. Измерение наклонных линий. Вычисление горизонтальных проложений. Эклиметры . . . . .                                           | 58 |
| Глава 5. Ориентирование линий на местности . . . . .                                                                                 | 61 |
| § 22. Понятие об ориентировании линий. Географические и магнитные меридианы . . . . .                                                | 61 |
| § 23. Азимуты и дирекционные углы . . . . .                                                                                          | 62 |
| § 24. Румбы линий. Зависимость между дирекционными углами и румбами . . . . .                                                        | 63 |
| § 25. Зависимость между внутренними и дирекционными углами и румбами . . . . .                                                       | 65 |
| § 26. Магнитные азимуты и румбы . . . . .                                                                                            | 67 |
| § 27. Буссоль, гониометр, их устройство и применение . . . . .                                                                       | 69 |

## Раздел второй. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Глава 6. Приборы для теодолитной съемки . . . . .                                             | 74 |
| § 28. Принцип измерения горизонтальных углов. Теодолиты, их марки, типы, устройство . . . . . | 74 |
| § 29. Цилиндрический и круглый уровни . . . . .                                               | 76 |
| § 30. Зрительная труба . . . . .                                                              | 77 |

|                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 31. Отсчетные приспособления . . . . .                                                                             | 79         |
| § 32. Конструкция теодолита ТТ-5 . . . . .                                                                           | 81         |
| § 33. Конструкция теодолита ТЗ0 . . . . .                                                                            | 83         |
| § 34. Конструктивные особенности теодолитов Т15, Т5 . . . . .                                                        | 85         |
| § 35. Приемочные и полевые поверки теодолитов . . . . .                                                              | 87         |
| § 36. Основные правила обращения с теодолитом и уход за ним . . . . .                                                | 94         |
| § 37. Установка теодолита для работы и измерение горизонтальных углов . . . . .                                      | 95         |
| § 38. Измерение углов наклона. Вертикальный круг и его поверки . . . . .                                             | 99         |
| § 39. Эккер и его применение . . . . .                                                                               | 103        |
| § 40. Нитяный дальномер теодолитов. Дальномерные рейки . . . . .                                                     | 104        |
| § 41. Определение горизонтальных проложений расстояний, измеренных дальномером . . . . .                             | 106        |
| § 42. Понятие об оптических дальномерах двойного изображения . . . . .                                               | 107        |
| § 43. Понятие о радиодальномерах и светодальномерах . . . . .                                                        | 110        |
| <b>Глава 7. Производство теодолитной съемки . . . . .</b>                                                            | <b>113</b> |
| § 44. Состав работ по теодолитной съемке. Проложение теодолитных ходов . . . . .                                     | 113        |
| § 45. Привязка теодолитных ходов. Понятие о государственной геодезической сети . . . . .                             | 115        |
| § 46. Способы съемки контуров ситуации. Абрис . . . . .                                                              | 119        |
| § 47. Определение неприступных расстояний . . . . .                                                                  | 123        |
| <b>Глава 8. Обработка полевых материалов теодолитной съемки . . . . .</b>                                            | <b>124</b> |
| § 48. Последовательность обработки. Увязка углов. Вычисление дирекционных углов и румбов теодолитных ходов . . . . . | 124        |
| § 49. Прямоугольные координаты. Прямая геодезическая задача . . . . .                                                | 131        |
| § 50. Вычисление приращений координат теодолитных ходов . . . . .                                                    | 133        |
| § 51. Увязка приращений координат. Вычисление координат теодолитного хода . . . . .                                  | 134        |
| § 52. Обратная геодезическая задача . . . . .                                                                        | 138        |
| <b>Глава 9. Составление планов теодолитных ходов. Вычисление площадей . . . . .</b>                                  | <b>139</b> |
| § 53. Составление планов теодолитных ходов по координатам . . . . .                                                  | 139        |
| § 54. Нанесение ситуации на план . . . . .                                                                           | 143        |
| § 55. Способы вычисления площадей . . . . .                                                                          | 144        |
| § 56. Полярный планиметр, его устройство, поверки . . . . .                                                          | 148        |
| § 57. Определение площадей планиметром . . . . .                                                                     | 151        |
| § 58. Определение цены деления планиметра . . . . .                                                                  | 152        |
| <b>Раздел третий. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ</b>                                                                   |            |
| <b>Глава 10. Общие сведения о нивелировании . . . . .</b>                                                            | <b>155</b> |
| § 59. Понятие о нивелировании. Виды нивелирования . . . . .                                                          | 155        |
| § 60. Понятие о государственной нивелирной сети. Нивелирные знаки . . . . .                                          | 157        |
| § 61. Способы геометрического нивелирования . . . . .                                                                | 159        |
| <b>Глава 11. Нивелиры и нивелирные рейки . . . . .</b>                                                               | <b>162</b> |
| § 62. Типы и марки нивелиров . . . . .                                                                               | 162        |
| § 63. Нивелир Н-3 . . . . .                                                                                          | 163        |
| § 64. Нивелир Н-10Л . . . . .                                                                                        | 164        |
| § 65. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования . . . . .                                                  | 165        |
| § 66. Нивелирные рейки и отсчеты по ним . . . . .                                                                    | 168        |
| § 67. Поверки нивелиров Н-3, Н-10 . . . . .                                                                          | 170        |
| § 68. Поверки нивелиров с компенсаторами . . . . .                                                                   | 172        |
| § 69. Установка нивелира для работы. Уход за нивелирами и нивелирными рейками . . . . .                              | 173        |
| <b>Глава 12. Производство геометрического нивелирования . . . . .</b>                                                | <b>174</b> |
| § 70. Понятие о геодезических работах при проложении трассы железной дороги . . . . .                                | 174        |

|                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 71. Подготовка трассы к нивелированию. Разбивка пикетажа . . . . .                                          | 175        |
| § 72. Круговые кривые и их элементы . . . . .                                                                 | 178        |
| § 73. Переходные кривые. Определение суммированных элементов кривой . . . . .                                 | 180        |
| § 74. Расчет пикетажного значения главных точек круговой и переходных кривых . . . . .                        | 181        |
| § 75. Разбивка главных точек суммированной кривой на трассе . . . . .                                         | 183        |
| § 76. Вынос пикетных точек с тангенса на кривую . . . . .                                                     | 183        |
| § 77. Разбивка кривых при больших углах поворота. Кратные кривые . . . . .                                    | 185        |
| § 78. Нивелирование трассы. Журнал нивелирования . . . . .                                                    | 187        |
| § 79. Нивелирование поперечников . . . . .                                                                    | 193        |
| § 80. Контроль нивелирования . . . . .                                                                        | 195        |
| <b>Глава 13. Обработка материалов нивелирования . . . . .</b>                                                 | <b>198</b> |
| § 81. Обработка журнала геометрического нивелирования трассы. Увязка высот . . . . .                          | 198        |
| § 82. Виды продольных профилей. Составление подробного продольного профиля . . . . .                          | 200        |
| § 83. Проектирование по продольному профилю. Вычисление проектных высот и уклонов . . . . .                   | 202        |
| § 84. Составление поперечных профилей . . . . .                                                               | 207        |
| § 85. Составление плана трассы . . . . .                                                                      | 207        |
| <b>Глава 14. Нивелирование поверхности . . . . .</b>                                                          | <b>209</b> |
| § 86. Способы нивелирования поверхности. Нивелирование по квадратам . . . . .                                 | 209        |
| § 87. Обработка материалов нивелирования поверхности по квадратам . . . . .                                   | 212        |
| § 88. Составление плана нивелируемой поверхности . . . . .                                                    | 213        |
| <b>Глава 15. Нивелирование водотоков . . . . .</b>                                                            | <b>215</b> |
| § 89. Состав основных работ при нивелировании водотоков. Определение уклона поверхности воды в реке . . . . . | 215        |
| § 90. Съёмка живого сечения и построение поперечного профиля реки . . . . .                                   | 218        |
| § 91. Определение скорости течения и расхода воды в реке . . . . .                                            | 219        |
| <b>Раздел четвертый. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА И АЭРОФОТОСЪЕМКА</b>                                             |            |
| <b>Глава 16. Тахеометрическая съёмка, применяемые приборы . . . . .</b>                                       | <b>221</b> |
| § 92. Сущность тахеометрической съёмки. Тахеометрические формулы . . . . .                                    | 221        |
| § 93. Приборы, применяемые при тахеометрической съёмке . . . . .                                              | 223        |
| <b>Глава 17. Производство тахеометрической съёмки. Составление плана . . . . .</b>                            | <b>227</b> |
| § 94. Планово-высотное обоснование тахеометрической съёмки. Обработка полевых материалов . . . . .            | 227        |
| § 95. Работа с тахеометром на станции. Журнал тахеометрической съёмки, абрис . . . . .                        | 233        |
| § 96. Обработка журнала тахеометрической съёмки . . . . .                                                     | 235        |
| § 97. Составление плана с горизонталями по материалам тахеометрической съёмки . . . . .                       | 239        |
| <b>Глава 18. Понятие об аэрофотосъёмке . . . . .</b>                                                          | <b>242</b> |
| § 98. Краткие сведения об аэрофотосъёмке . . . . .                                                            | 242        |
| § 99. Составление фотосхем и фотопланов . . . . .                                                             | 243        |
| § 100. Применение аэрофотосъёмки при изысканиях и проектировании железных дорог . . . . .                     | 245        |
| <b>Раздел пятый. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ</b>              |            |
| <b>Глава 19. Детальная разбивка железнодорожных кривых . . . . .</b>                                          | <b>247</b> |
| § 101. Детальная разбивка кривых способом прямоугольных координат от тангенсов . . . . .                      | 247        |

|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 102. Детальная разбивка кривых засечками . . . . .                                                              | 249        |
| § 103. Разбивка сопряжений элементов продольного профиля . . . . .                                                | 250        |
| <b>Глава 20. Геодезические работы при строительстве железнодорожного пути</b>                                     | <b>252</b> |
| § 104. Задачи и содержание геодезического обслуживания при постройке железнодорожного пути . . . . .              | 252        |
| § 105. Вынесение в натуру точек с заданными проектными высотами . . . . .                                         | 253        |
| § 106. Вынесение в натуру проектной линии заданного уклона . . . . .                                              | 255        |
| § 107. Разбивка на местности бровок земляного полотна . . . . .                                                   | 259        |
| § 108. Геодезический контроль и управление при отсыпке насыпи и разработке выемки землеройными машинами . . . . . | 261        |
| § 109. Разбивка оси пути на земляном полотне перегонов и отдельных пунктов . . . . .                              | 264        |
| § 110. Геодезические работы при строительстве малых искусственных сооружений . . . . .                            | 266        |
| <b>Глава 21. Геодезические работы при эксплуатации железнодорожного пути</b>                                      | <b>271</b> |
| § 111. Виды геодезических работ при капитальном, среднем ремонте и текущем содержании пути . . . . .              | 271        |
| § 112. Съёмка плана железнодорожного пути и полосы отвода . . . . .                                               | 271        |
| § 113. Съёмка существующих кривых . . . . .                                                                       | 274        |
| § 114. Нивелирование существующего железнодорожного пути . . . . .                                                | 276        |
| § 115. Съёмка железнодорожных станций . . . . .                                                                   | 281        |
| § 116. Геодезические работы при ремонте водоотводных сооружений                                                   | 284        |
| <b>Глава 22. Линейные измерения при укладке бесстыкового пути</b>                                                 | <b>286</b> |
| § 117. Приборы для линейных измерений бесстыкового пути . . . . .                                                 | 286        |
| § 118. Измерение рельсовой плети 20-метровой стальной рулеткой . . . . .                                          | 287        |
| § 119. Обработка результатов измерений и вычисление длины рельсовой нити . . . . .                                | 288        |

## **Раздел шестой. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ**

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 23. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при полевых работах</b> | <b>291</b> |
| § 120. Общие требования по безопасному ведению работ . . . . .                          | 291        |
| § 121. Правила санитарии и гигиены . . . . .                                            | 292        |
| § 122. Пользование автомобильным транспортом . . . . .                                  | 294        |
| § 123. Техника безопасности на водных переправах . . . . .                              | 294        |
| § 124. Основные правила личной безопасности . . . . .                                   | 295        |
| § 125. Противопожарные мероприятия и охрана природы . . . . .                           | 296        |
| <b>Глава 24. Техника безопасности при геодезических съёмках на железных дорогах</b>     | <b>297</b> |
| § 126. Общие положения . . . . .                                                        | 297        |
| § 127. Проход к месту работы . . . . .                                                  | 298        |
| § 128. Съёмочные работы на перегонах . . . . .                                          | 299        |
| § 129. Геодезические работы на отдельных пунктах . . . . .                              | 300        |
| § 130. Геодезические работы на электрифицированных участках пути . . . . .              | 300        |
| § 131. Геодезические работы на искусственных сооружениях . . . . .                      | 301        |
| <b>Список литературы</b>                                                                | <b>303</b> |
| <b>Приложения</b>                                                                       | <b>304</b> |

УЧЕБНИК

**Валерий Иванович Родионов**

## **ГЕОДЕЗИЯ**

Редактор издательства *Н. Т. Куприна*  
Технический редактор *Н. В. Жидкова*  
Корректор *Е. В. Наумова*

ИБ № 6224

---

Сдано в набор 23.09.86. Подписано в печать 08.12.86. Т-23372. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага кн.-журн. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Усл. кр.-отт. 21,0. Уч.-изд. л. 21,19. Тираж 18 000 экз. Заказ 2507/443—8. Цена 95 коп.

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047,  
Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

---

## ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

В издательстве «Недра»

готовятся к печати и выйдут в свет новые книги

\*

АПЕНКО М. И., ЗАПРЯГАЕВА Л. А., СВЕШНИКОВА И. С.  
**ЗАДАЧНИК ПО ПРИКЛАДНОЙ ОПТИКЕ:**

Учеб. пособие для вузов. 16 л., 70 к.

Содержит задачи по основным разделам геометрической оптики, связанным с оптикой параксиальных лучей и теорией идеальной оптической системы, ограничению пучков лучей, расчету коэффициента пропускания и определению освещенности изображения. Приведены также задачи по определению хроматических и монохроматических aberrаций. Дан габаритный расчет и проектирование линзовых и зеркально-линзовых систем. Задачник соответствует учебному пособию «Прикладная оптика» и служит фактически его дополнением в части методики решения практических задач.

Для студентов факультета оптического приборостроения по специальности «Оптическое и оптико-электронное приборостроение», а также может быть полезен студентам других вузов по специальности «Приборостроение».

План 1987, № 9

\*

НИЯЗГУЛОВ У. Д., ГРИДНЕВ С. П.  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЛИМАННОМ ОРОШЕНИИ.**  
М.: Недра, 1987 (IV кв.).— 19 л.: ил.— (Промышленность — селу).

(В пер.): 1 р. 40 к.

Рассмотрены топографо-геодезические работы при создании лиманного орошения. Дано обоснование выбора масштаба и высоты сечения топографической карты для определения водосборной площади и проектирования объектов лиманного орошения. Изложены сведения о современных приборах и методах автоматизации геодезических измерений и создания топографической основы с использованием материалов аэрофотосъемки, автоматизации процессов составления проектов лиманного орошения с применением ЭВМ.

Для специалистов, выполняющих геодезические работы для целей мелиоративного строительства.

План 1987, № 3

---

---

**ПОЛИЩУК Ю. В., ГЛАДКИЙ В. И., ШАПОВАЛОВА Л. А.**  
**СОЗДАНИЕ И ОБНОВЛЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПЛАНОВ**  
**ГОРОДОВ.**

М.: Недра, 1987 (III кв.).— 20 л.: ил.— (В пер.): 1 р. 40 к.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию и обновлению специальных планов городов при изыскании, проектировании, строительстве, эксплуатации и реконструкции инженерных сооружений. Даны рекомендации по качественной и количественной оценке специальных планов в гражданском и промышленном строительстве, оптимизации содержания и способам обновления.

Для инженеров и техников-геодезистов, проектировщиков и строителей; может быть полезна студентам геодезических вузов.

План 1987, № 4

\*

**СКОГОРЕВ В. П.**  
**ЛАЗЕРЫ В ГЕОДЕЗИИ.**

М.: Недра, 1987 10 л.: 55 к.

Изложена методика применения лазеров в строительстве, показана экономическая эффективность их использования. Рассмотрены конструкции, технические характеристики лазерных геодезических приборов и систем, правила эксплуатации, поверки, юстировка, программа и порядок исследований. Даны рекомендации по уходу за приборами, приведены возможные неисправности и способы их устранения. Описаны правила техники безопасности.

Для геодезистов, строителей; может быть полезна преподавателям и студентам геодезических вузов.

План 1987, № 5

\*

**СУДАКОВА С. С.**  
**ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЕ:**

Учебник для вузов. 23 л.: 1 р. 20 к.

Изложены основные сведения о Земле как планете и ее внешних сферах и особенностях природной дифференциации географической оболочки. Рассмотрены исследования географических явлений и вопросы окружающей среды. С учетом производственной направленности в подготовке инженера-картографа выделены вопросы общего землеведения, которые используются при составлении и редактировании карт, производстве топографо-геодезических работ.

Для студентов картографической специальности геодезических вузов.

План 1987, № 23

---

---

**ФЕДОРОВ В. И., ТИТОВ А. И., ХОЛДОБАЕВ В. А.**  
**ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ**  
**И АЭРОГЕОДЕЗИИ:**

Учеб. пособие для вузов. 25 л., 1 р. 30 к.

Рассмотрены практические и лабораторные работы по инженерной геодезии и аэрогеодезии, связанные с изучением методики геодезических и фотограмметрических измерений, созданием топографических карт, планов, цифровых моделей местности, аэрофотоснимков, фотосхем и фотопланов и решением по ним различных инженерно-геодезических и аэрогеодезических задач. Изложены технические характеристики современного геодезического и аэрогеодезического оборудования, их классификация, технические характеристики, проверки и юстировки приборов. Освещены методы и приемы геодезических измерений, топографических съемок, выполнения специальных инженерных работ.

Для студентов строительных специальностей.

План 1987, № 15

\*

*Интересующие Вас книги можно приобрести или заказать в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу и в магазинах — опорных пунктах издательства «Недра», адреса которых приведены в аннотированном плане выпуска, а также через отделы «Книга — почтой» магазинов:*

№ 115 — 117334, Москва, Ленинский проспект, 40. Дом научно-технической книги;

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61.

**Издательство «Недра»**

---





В.И.Родимов

# ЛЕОДИА