

---

# практикум по геодезии

---

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ,  
И ДОПОЛНЕННОЕ

Под редакцией В. В. Бакановой

*Допущено Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР в качестве  
учебного пособия для студентов геодезических  
специальностей вузов*



МОСКВА «НЕДРА»  
1983

УДК 528(075.8)

Практикум по геодезии / В. В. Баканова, Я. Я. Карклин, Г. К. Павлова, М. С. Черемисин: Учеб. пособие для вузов 2-е изд., перераб. в доп. М., Недра, 1983. 456 с.

Во втором издании (1-е изд. 1973 г.) приведены задания к разделам курса: изучение топографической карты, определение площадей, измерение углов и длин линий на местности, начальные сведения из теории ошибок измерений, создание геодезического съемочного обоснования, производство теодолитной и тахеометрической съемок, нивелирование IV класса и техническое, мензурная топографическая съемка в масштабе 1:10 000. Рассмотрены примеры на проложении теодолитных и тахеометрических ходов, вычисление координат и высот пунктов, описаны приборы, используемые при съемках, а также правила составления планов. Обращено особое внимание на измерение горизонтальных и вертикальных углов новыми техническими теодолитами. Приведено описание оптических дальномеров.

Для студентов первых курсов геодезических вузов при выполнении лабораторных работ и учебной практики по геодезии.

Табл. 91, ил. 180, список лит. — 33 назв.

Авторы:

В. В. Баканова, Я. Я. Карклин, Г. К. Павлова, М. С. Черемисин

Рецензенты:

канд. техн. наук Ю. Г. Батраков (МИИЗ), д-р техн. наук С. А. Коробков (ЛГИ)

*Валентина Васильевна Баканова*  
*Ян Янович Карклин*  
*Галина Кузьминична Павлова*  
*Михаил Сергеевич Черемисин*

## ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

Издание второе, переработанное и дополненное

Редактор издательства И. В. Протопопова  
Переплет художника С. Н. Голубева  
Художественный редактор Е. Л. Юрковская  
Технический редактор Н. В. Жядкова  
Корректор Э. А. Ляхова

ИБ № 2790

Сдано в набор 08.04.83. Подписано в печать 22.08.83. Т-18402.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 23,94. Усл. кр.-отг. 23,94  
Уч.-изд. л. 23,74. Тираж 20.000 экз. Заказ 445/7319—15.  
Цена 1 р. 10 к.

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

Владимирская типография «Союзполиграфпрома»  
при Государственном комитете СССР по делам издательства,  
полиграфии и книжной торговли

600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

П 1902020000—336

043(01)—83

18—84

© Издательство «Недра», 1983

Практикум по геодезии написан в соответствии с программой курса «Геодезия», утвержденной в 1978 г., служит учебным пособием для студентов геодезических специальностей вузов и руководством при выполнении студентами первых курсов лабораторных работ и учебной геодезической практики. Главное внимание уделяется вопросам устройства, исследований, поверок и использования геодезических приборов, а также организации и выполнению полевых и камеральных работ.

В практикуме дается подробное описание топографической карты, методов производства угловых и линейных измерений на местности, определения площадей. Рассматриваются способы создания геодезического съемочного обоснования в виде теодолитных и тахеометрических ходов и методы производства съемок (теодолитной, тахеометрической и мензульной), определения превышений проложением ходов IV класса нивелирования и технического. Сведения из теории ошибок измерений позволяют оценить результаты полевых измерений и вычислений.

Данное пособие служит дополнением к учебнику М. А. Гиршберга «Геодезия», ч. I (М., Недра, 1967 г.) и позволяет студентам приобрести навыки самостоятельного выполнения работ на основе сведений, полученных на лекциях и при изучении учебника.

Материал практикума изложен по темам программы и состоит из соответствующих заданий. Каждое задание содержит формулировку задачи, ссылку на учебную литературу, перечень необходимых пособий, приборов и принадлежностей, порядок выполнения задания, методические указания, распределение обязанностей между членами бригады, выполняющими работу во время учебной практики.

Во втором издании практикума содержание и последовательность изложения материала несколько изменены, некоторые разделы значительно переработаны и дополнены новыми материалами.

Во всех главах описание приборов дано в соответствии с утвержденными ГОСТами.

Работа по составлению практикума распределена между авторами следующим образом: I и II главы написаны Я. Я. Карклиным, III и IV—М. С. Черемисным, VI, VII и VIII—Г. К. Павловой, V и IX—В. В. Бакановой. Общее руководство по написанию практикума и редактирование осуществляла В. В. Баканова.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность всем приславшим замечания и пожелания, которые позволили улучшить второе издание практикума.

Большую благодарность авторы выражают заведующему кафедрой геодезии и обработки измерений проф. д-ру техн. наук, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР В. Д. Большакову, доцентам кафедры П. Н. Кузнецову и Ю. Б. Хвалько за помощь, оказанную при подготовке практикума.



# ГЛАВА I

## ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ

---

Целью выполнения студентами заданий, содержащихся в настоящей главе, является приобретение навыков в уверенном пользовании топографическими картами как при решении по ним наиболее распространенных задач, так и при работе на местности.

### Задание I.1

#### Изображение ситуации на топографических картах

I. Задача: научиться читать ситуацию по карте.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 32.

III. Пособия и принадлежности: лист топографической карты, таблицы условных знаков.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение топографических условных знаков;
- 2) чтение ситуации по карте.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Изучение топографических условных знаков.* Ситуация на топографических картах изображается площадными, внемасштабными и пояснительными условными знаками.

Объекты, занимаемая площадь которых может быть выражена в данном масштабе, изображаются площадными условными знаками. В основном это земельные угодья (пашня, лес, болото и др.). Этими знаками заполняются контуры (внешние очертания объектов), которые на карте показываются точечным пунктиром или тонкой линией.

Внемасштабным условным знаком изображаются объекты, горизонтальная проекция которых не может быть показана в масштабе карты (отдельное дерево, километровый столб, колодец и др.). Положение центра таких объектов на местности соответствует главной точке условного знака:

а) центру знака — для знаков правильной геометрической фигуры (геодезический пункт, строение, склад горючего, колодец и др.);

б) середине основания — для знаков в виде перспективного изображения объекта (труба завода, ветряная мельница, памятник и др.);

в) вершине угла — для знаков с прямым углом в основании (отдельное дерево, ветродвигатель, бензоколонка и др.);

г) центру нижней фигуры — для знаков в виде сочетания нескольких фигур (завод с трубой, сооружение башенного типа, радиостанция и др.).

Линейные условные знаки служат для изображения объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты (дороги, реки, линии электропередач, границы и др.). Местоположение оси линейного объекта соответствует геометрической оси знака.

При изучении условных знаков следует обратить внимание на то, что отдельные объекты (заводы, строения, мосты, реки и др.) могут изображаться как площадными, так и внемасштабными условными знаками в зависимости от размера объекта и от масштаба карты. В таблицах для таких объектов даются знаки в двух вариантах. Способы перехода от одного варианта к другому можно объединить в группы:

а) увеличение размеров внемасштабного условного знака (строения, мосты, кладбища и др.);

б) замена одного знака другим (заводы без трубы, пасеки и др.);

в) оставление внемасштабного знака внутри контура (заводы с трубой, склады горючего и др.).

Контур таких знаков может быть показан сплошной линией или условным знаком заграждений.

В таблицах размеры (в миллиметрах) условных знаков 1-го варианта показывают пределы размеров на местности, до которых объекты изображаются внемасштабным условным знаком. Так, например, в масштабе 1 : 10 000 внемасштабным условным знаком будут изображены строения размером до 10×10 м, заводы — 18×18 м, склады горючего — 20×20 м, реки шириной до 5 м и т. д.

Для дополнительной характеристики применяются пояснительные условные знаки:

а) собственные названия населенных пунктов, рек;

б) сокращенные надписи, перечень которых дается в таблицах условных знаков (характер производства, материал сооружений и покрытия дорог и др.);

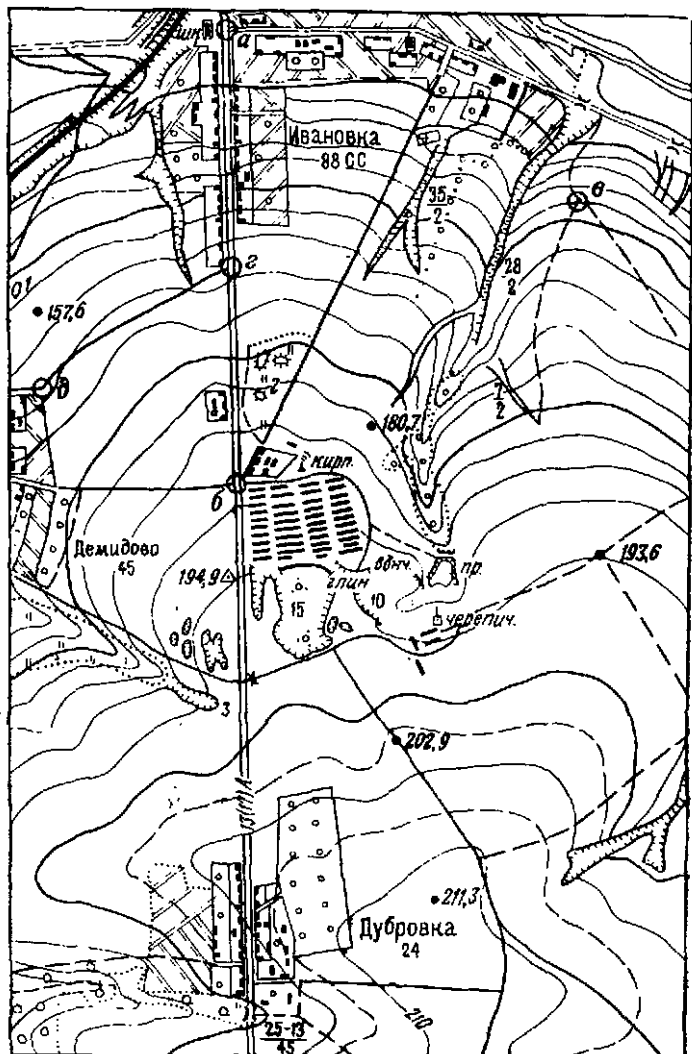


Рис. 1. Часть листа карты масштаба 1:25000

в) числовые показатели (длина, ширина и грузоподъемность мостов; высота и толщина деревьев в лесу; ширина и глубина рек и др.);

г) знаки (порода деревьев в лесу; колейность железных дорог, направления течения рек и др.).

2. *Чтение ситуации по карте.* Вдоль указанного преподавателем на карте маршрута студенты определяют вид и смысловое значение условных знаков, главные точки (линий) немасштабных и значения пояснительных условных знаков.

Приведем пример чтения ситуации по маршруту: шоссейная дорога от южного обреза карты (рис. 1) до кирпичного завода в пределах полосы шириной 4 см.

Маршрут проходит по асфальтированной шоссейной дороге. Ширина покрытой части дороги 13 м, между кюветами 17 м. Местоположение дороги соответствует геометрической оси условного знака. Дорога проходит через мост. Главная точка знака — центр симметрии. Длина моста 25 м, ширина 13 м, грузоподъемность 45 т. Далее шоссе проходит через населенный пункт Дубровка, в котором 24 двора, пересекает грунтовую дорогу, на которой мост длиной менее 3 м.

К западу по маршруту: поле, луг с редкими деревьями, огороды, полевая дорога, поля, ямы, пункт государственной геодезической сети (главная точка — центр знака), 194,9 — отметка земли в метрах.

К востоку: поле, полевая дорога, грунтовая дорога, фруктовый сад, поле, открытая разработка глины — глубина 15 м, постройки кирпичного завода, труба (главная точка — середина основания знака) завода.

## Задание 1.2

### Измерение длин линий по карте

I. Задача: научиться пользоваться линейным масштабом карты.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 12, 13.

III. Пособия и принадлежности: лист топографической карты, измеритель.

IV. Последовательность выполнения задания.

Измерение длин линий с использованием линейного масштаба карты:

- 1) измерение длины прямой линии;
- 2) измерение длины ломаной линии;
- 3) измерение длины извилистой линии.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Измерение длины прямой линии.* Измерение производится путем установки ножек измерителя в точки, обозначающие концы заданной линии. При этом угол

между плоскостью карты и каждой ножкой измерителя не должен быть меньше  $60^\circ$ . Не изменяя раствора, измеритель прикладывают к линейному масштабу, помещаемому под южной стороной рамки листа карты, и по нему определяют длину линии между точками на местности. На рис. 2 представлен случай, когда измеренная длина линии равна 380 м.

Для контроля линия измеряется дважды. Расхождение (в метрах) между результатами измерений не должно быть больше числа тысяч в знаменателе численного масштаба карты ( $T$ ).

Линию, длиннее линейного масштаба, измеряют по частям раствором измерителя, кратным основанию масштаба. В этом случае разность  $\Delta s$  (в метрах) между результатами измерения линии в прямом и обратном направлениях не должна превышать  $T\sqrt{n}$ , где  $n$  — число установок измерителя при измерении заданной линии.

*Пример.* Измерить длину линии (см. рис. 1) между развилкой шоссейной и улучшенной грунтовой дорогами (точка  $a$ ) и развилкой полевых дорог (точка  $b$ ).

Результат записывают в таблицу (табл. 1).

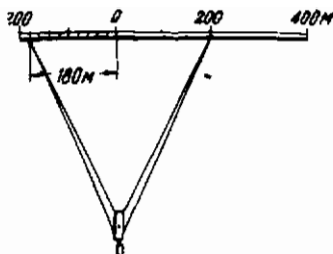


Рис. 2. Измерение линии при помощи линейного масштаба

Таблица 1

Номер измерения	Между точками	Масштаб карты	Измерения		Разности		Длина линии $0,5(s_1 + s_2)$
			$s_1$	$s_2$	$\Delta s$	$T$	
1	$a$ $b$	1:25 000	1300	1310	10	25	1305

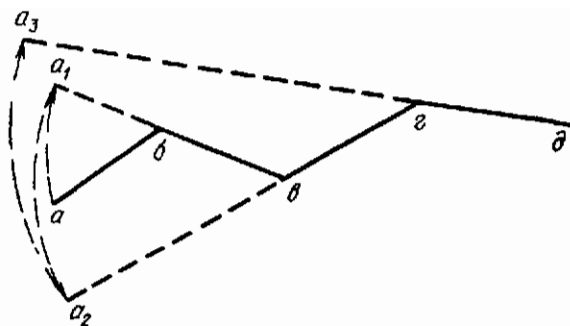


Рис. 3. Измерение ломаной линии

Измерения производятся по картам разных масштабов.

2. *Измерение длины ломаной линии.* Ломаная линия измеряется путем постепенного спрямления ее.

Устанавливаем ножки измерителя в точках  $a$  и  $b$  (рис. 3). Затем, не изменяя раствора измерителя, вращаем последний вокруг ножки  $b$  до тех пор, пока ножка  $a$  не окажется на продолжении отрезка  $бв$  в точке  $a_1$ . После этого, оставляя ножку  $a$  неподвижной в точке  $a_1$ , передвигаем ножку  $b$  в точку  $в$ . Отрезок  $a_1в$  равен сумме отрезков  $ab$  и  $бв$ . Последовательно перемещая ножку  $a$  в точки  $a_2$  и  $a_3$ , а ножку  $b$  — в точки  $г$  и  $д$ , получим длину ломаной линии  $abвгд$  в виде раствора измерителя  $a_3д$ . Величину ее определяем по линейному масштабу.

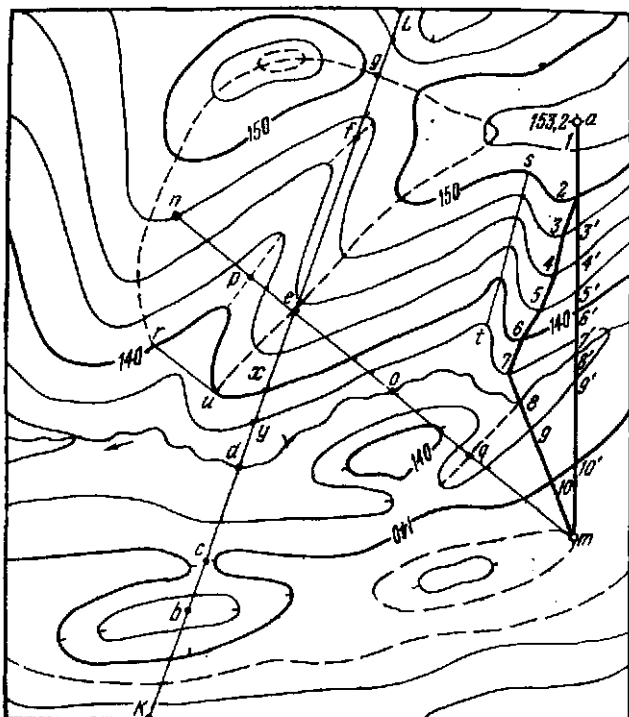
Для контроля измерение производится в обратном направлении, т. е. от точки  $д$  к точке  $a$ . Расхождение между результатами обоих измерений не должно превышать  $T\sqrt{n}$ , где  $n$  — число перемещений измерителя.

Пример. Измерить контур фруктового сада (см. рис. 1) у населенного пункта Дубровка.

Результат приведен в табл. 2.

Таблица 2

Название линии	Измеренная длина, м		n	Разность, м		Длина линии, м
	$s_{\text{пр}}$	$s_{\text{обр}}$		$s_{\text{пр}} - s_{\text{обр}}$	$T\sqrt{n}$	
Контур сада	1440	1470	6	30	60	1455



Масштаб 1:10000

Высота сечения 2,5 м

Рис. 4. Решение задач по карте с горизонталями

3. *Измерение длины извилистой линии.* Измерение линии производится последовательным откладыванием на ней циркулем отрезка длиной 2—4 мм. Величина отрезка зависит от извилистости измеряемой линии.

Длина отрезка, взятого в раствор измерителя, должна быть определена путем многократного откладывания его на линейном масштабе карты. Для измерения лучше пользоваться циркулем с регулирующим винтом.

Общая длина измеренной извилистой линии вычисляется как произведение длины отрезка, взятого в раствор циркуля, на число перестановок последнего плюс остаток.

Измерение длины реки, изображенной на карте двумя линиями, обычно ведут по ее середине.

Измерение производится в прямом и обратном направлениях.

**Пример.** Измерить длину участка реки (рис. 4) между точками  $d$  и  $в$ .

По характеру извилин реки определяем, что измерение целесообразнее всего выполнить путем откладывания 4-миллиметровых отрезков (что соответствует 40 м на местности). Взяв по линейному масштабу в раствор циркуля длину 40 м, определяем действительное значение  $r$  раствора путем последовательного откладывания в пределах трех оснований масштаба, т. е. 600 м. Число откладываний оказалось равным 15,3, так что  $r = 600 : 15,3 = 39,2$  м.

При измерении данной части реки число откладываний циркуля оказалось: в прямом направлении  $N_{пр} = 9,2$  и в обратном  $N_{обр} = 9,4$ . Десятые доли раствора циркуля, соответствующие остаткам, оценивались на глаз. Поскольку расхождение  $N_{обр} - N_{пр} = 0,2$  равно допустимому, т. е. 0,01 ( $N_{пр} + N_{обр} = 2$ ), то окончательное число откладывания циркуля принимаем равным 0,5 ( $N_{пр} + N_{обр}$ ), т. е.  $N = 9,3$ . Таким образом, длина измеренной части реки равна  $s = rN = 39,3 \cdot 9,3 \approx 355$  м.

### Задание 1.3

#### Определение масштаба аэрофотоснимка

I. Задача: определить масштаб аэрофотоснимка и научиться пользоваться поперечным масштабом.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Ч. I. М., Недра, 1967, § 12, 13, 14, 15; 34, 35.

III. Пособия и принадлежности: аэрофотоснимок и соответствующий лист топографической карты, нормальный поперечный масштаб, готовальня, треугольник, линейка, чертежная бумага, карандаш 2Т-3Т, чертежная ручка, черная тушь.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) определение численного масштаба аэрофотоснимка;

2) построение переходного поперечного масштаба;

3) измерение расстояний по аэрофотоснимку.

V. Указания по выполнению задания.

I. *Определение численного масштаба аэрофотоснимка.* Масштаб аэрофотоснимка определяется отношением



длины  $S_m$  линии на местности к длине  $S_c$  соответствующей линии на аэрофотоснимке

$$M = S_m : S_c. \quad (1.1)$$

Расстояния  $S_m$  и  $S_c$  должны быть выражены в одних и тех же единицах меры длины (обычно в сантиметрах).

После определения той части карты, которая соответствует аэрофотоснимку, распознаются общие точки, расположенные не ближе одного сантиметра от края аэрофотоснимка. Расстояние между ними должно быть не менее 5 см на аэрофотоснимке. Такими точками могут быть: перекрестки и развилки дорог, углы контуров и пересечения их дорогами, центры отдельных строений и т. п. Не следует пользоваться пересечениями линий под углами, меньшими  $30^\circ$ , точками на закруглениях дорог, на берегах рек и оврагов; вершинами оврагов, т. е. точками, положение которых на аэрофотоснимке или на карте может быть определено лишь приближенно.

Легче всего на аэрофотоснимке распознать дороги, которые изображены белыми линиями; пашни — фигурами с прямолинейными очертаниями, причем свежевспаханная пашня изображается светлым тоном; постройки — прямоугольниками светлого тона с темной тенью.

Расстояния  $S_m$  и  $S_c$  между опознанными точками на карте и на аэрофотоснимке измеряются циркулем-измерителем, а их длины определяются по нормальному (соответствующему) поперечному масштабу.

Следует помнить, что основание нормального поперечного масштаба равно 2 см, деление основания 0,2 см и наименьшее деление 0,02 см.

На рис. 5 представлен случай, когда раствор измерителя равен 4,88 см. Судя по подписям на поперечном масштабе, он относится к карте масштаба 1 : 10 000: отрезку, равному на карте 2 см, на местности соответствует 200 м. По этому раствору измерителя соответствует на местности расстояние, равное 488 м.

Для контроля определения масштаба аэрофотоснимка на последнем измеряют минимум два отрезка, пересекающихся под углом, близким к прямому. Измерения производят по правилам, изложенным в задании 1.2.

Разность  $\Delta M$  между результатами двух определений масштаба аэрофотоснимка должна быть не более  $M : 100$ . При соблюдении этого условия за окончательное значение масштаба аэрофотоснимка принимают среднее арифметическое из обоих определений.

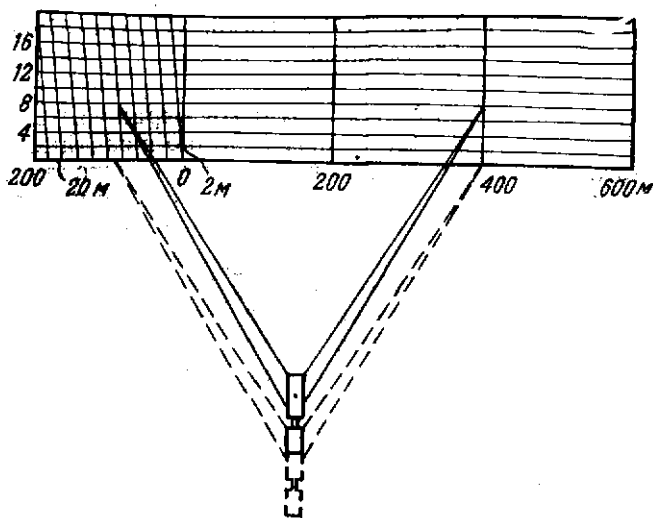


Рис. 5. Измерение линии при помощи поперечного масштаба

Пример. Определить масштаб аэрофотоснимка (рис. 6), соответствующего средней части карты масштаба 1 : 25 000 (см. рис. 1).

На снимке и на карте опознаны три тождественные точки: *a* — развилка шоссеной дороги, *b* — перекресток шоссеной и грунтовой дорог и *v* — развилка полевых дорог.

Расстояние между точками *a* и *b* оказалось: на карте  $S'_m = 1495$  м, на снимке  $S'_c = 12,20$  см. Масштаб аэрофотоснимка:  $M' = (1495 \times 100) : 12,20 = 12\ 250$ .

Расстояние между точками *b* и *v*:  $S''_m = 1475$  м,  $S''_c = 12,06$  см. Масштаб аэрофотоснимка:  $M'' = (1475 \times 100) : 12,06 = 12\ 230$ .

Так как  $M' - M'' = 20$ , что меньше  $\frac{12\ 240}{100} \approx 120$ , то за окончательное значение численного масштаба аэрофотоснимка принимаем:  $\frac{1}{M} = \frac{1}{12\ 240}$ .

Если нет карты, соответствующей данному аэрофотоснимку, то масштаб последнего определяется путем сравнения длины измеренного на аэрофотоснимке отрезка с известным расстоянием на местности.

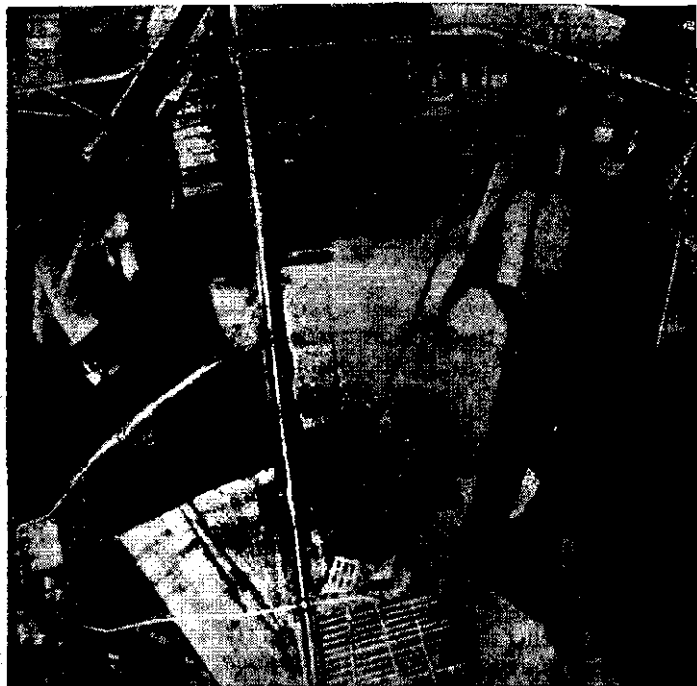


Рис. 6. Аэрофотоснимок

2. Построение переходного поперечного масштаба. Для построения масштаба рассчитывается значение  $x$  (в см) его основания

$$x = k/0,01 M,$$

где  $k$  — целое, удобное для пользования, число метров, соответствующее искомому основанию масштаба, близкому к 2 см;  $M$  — знаменатель численного масштаба аэрофотоснимка.

Пример. Приняв значение численного масштаба аэрофотоснимка, вычисленное при решении предыдущего примера  $1/M = 1/12\,240$ , находим, что 1 см на этом аэрофотоснимке соответствует на местности  $0,01 M = 122,4$  м. Чтобы основание  $x$  было близко к 2 см, целесообразно принять  $k = 250$  м. В этом случае  $x = 250/122,4 = 2,04$  см.

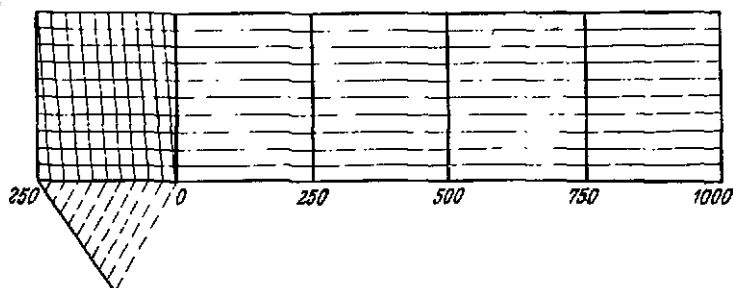


Рис. 7. Переходный поперечный масштаб

Рассчитанное основание переходного масштаба берем в раствор измерителя по нормальному поперечному масштабу и откладываем пять раз на прочерченной прямой линии. Крайнее левое основание делим на 10 частей методом параллельных линий и через концы этих отрезков проводим наклонные параллельные линии — *трансверсали*. На рис. 7 показан поперечный переходный масштаб, построенный для измерений на аэрофотоснимке, численный масштаб которого равен  $1/M = 1/12\ 240$ .

3. *Измерение расстояний по аэрофотоснимку.* По аэрофотоснимку, для которого построен переходный масштаб, измеряют 2—3 отрезка. Длины  $S_c$  их сравнивают с соответствующими расстояниями  $S_K$ , измеренными на карте с помощью нормального поперечного масштаба.

В табл. 3 приведены результаты измерения отрезков на аэрофотоснимке масштаба 1 : 12 240 (см. рис. 6) и на карте масштаба 1 : 25 000 (см. рис. 1).

Расхождение  $\Delta S$  между результатами измерений на аэрофотоснимке и на карте не должно превышать 25 м.

Таблица 3

Номер измерения	Названия и обозначения точек	Расстояние, м		Разность $\Delta S = S_c - S_K$ , м
		снимок $S_c$	карта $S_K$	
1	Развилка полевых дорог (точка в), развилка шоссейной и грунтовой дорог (точка г)	1160	1170	10
2	Точка г — угол огорода (точка д)	760	755	5

**Разграфка и номенклатура топографических карт**

I. Задача: изучить систему разграфки и номенклатуры карт.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 16.

III. Последовательность выполнения задания:

1) определение номенклатуры листа карты по заданным географическим координатам пункта;

2) определение географических координат углов листа карты по его номенклатуре.

IV. Указания по выполнению задания.

Разграфка листов топографических карт производится делением листов мелкого масштаба на части, каждая из которых соответствует листу карты более крупного масштаба.

Номенклатура получается постепенным прибавлением (через тире) к номенклатуре листа мелкого масштаба знаков (цифр и букв), характеризующих номенклатуру данного масштаба.

На первой строчке в прямоугольнике схемы (рис. 8) приведены знаки, характеризующие номенклатуру подписанного масштаба. Число знаков соответствует числу листов карты указанного масштаба.

На нижних строчках указаны размеры листа соответствующего масштаба (в угловых единицах).

Направления последовательности деления и получения номенклатуры на схеме показаны стрелками.

Пример. Разграфка листов масштаба 1:100 000 производится делением листа карты масштаба 1:1 000 000 на 144 части. Номенклатура одного из листов масштаба 1:100 000 будет К-34-121; размеры листа: по широте 20' (4°:12), по долготе 30' (6°:12), где 12 — квадратный корень из числа листов (144).

Лист карты масштаба 1:50 000 получается делением листа масштаба 1:100 000 на четыре части, номенклатура одного из них будет К-34-121—В с размерами 10' × 15' и т. д.

1. *Определение номенклатуры листа карты по заданным географическим координатам пункта.* По географическим координатам заданного пункта находим широту северной параллели того ряда и долготу восточного меридиана той колонны международной разграфки, в кото-

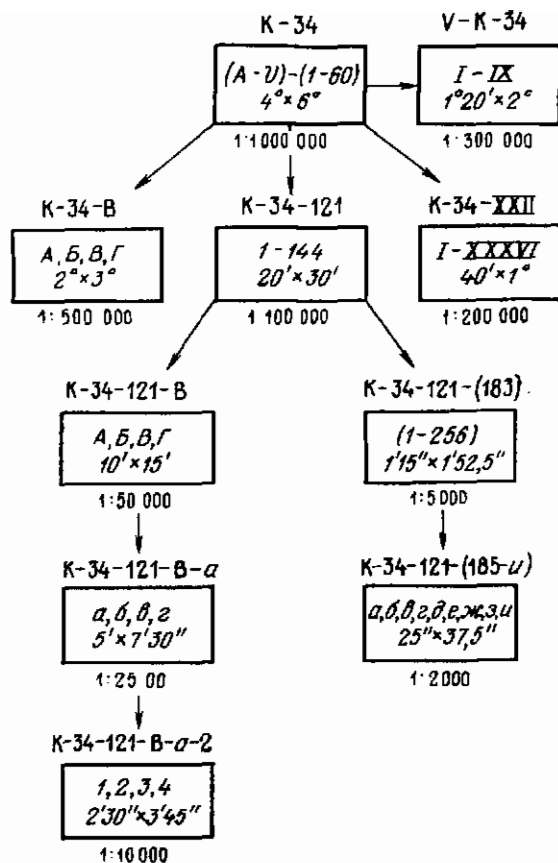
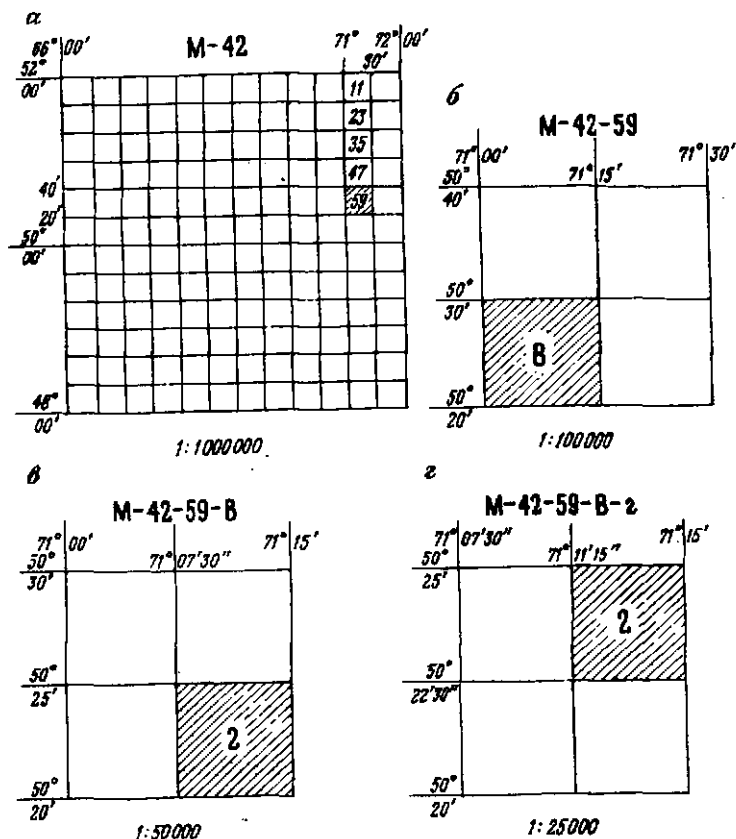


Рис. 8. Схема разграфки и номенклатуры топографических карт

рых расположен лист карты масштаба 1 : 1 000 000, включающий заданный пункт.

Значение широты северной параллели ряда равно ближайшему к заданному значению широты пункта большему числу градусов, кратному четырем. Делением полученного значения широты на четыре получаем номер ряда, после чего определяем соответствующую ему букву латинского алфавита.

Значение долготы восточного меридиана колонны равно ближайшему к заданному значению долготы боль-



*Ответ:* М-42-59-Б-2-2

Рис. 9. Разграфка и номенклатура карт масштабов 1:1.000.000—1:10.000

шему числу градусов, кратному шести и измененному на 180° (так как географические долготы отсчитываются от Гринвичского меридиана, а счет колонн ведется от меридиана с долготой 180°). Делением полученного значения долготы на шесть получаем номер колонны.

Пример. Определить номенклатуру листа карты (рис. 9) масштаба 1:10 000, в пределах которого находится пункт с такими значениями географических координат: широта 50°24', долгота 71°14'.

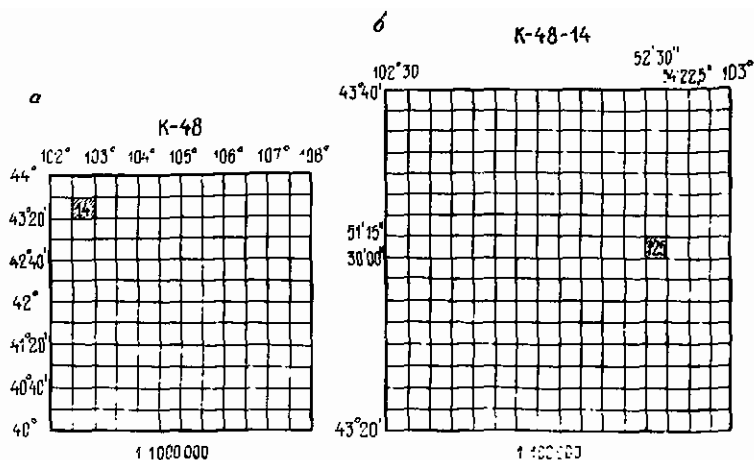


Рис. 10. Разграфка и номенклатура карт масштабов  
1 : 1 000 000—1 : 100 000

Значение широты северной параллели, ограничивающей искомый лист карты масштаба 1 : 1 000 000, равно ближайшему к  $50^{\circ}24'$  большему числу градусов, кратному 4, т. е.  $52^{\circ}$ . Делением  $52^{\circ}$  на четыре получаем номер ряда, равный 13: ему соответствует буква М латинского алфавита.

Значение долготы восточного меридиана равно ближайшему к  $71^{\circ}14'$  большему числу градусов, кратному 6, т. е.  $72^{\circ}$ . Прибавляя к нему  $180^{\circ}$  и деля сумму на 6, получаем номер колонны:  $72^{\circ} + 180^{\circ} = 252^{\circ} : 6^{\circ} = 42$ .

Таким образом, лист карты масштаба 1 : 1 000 000, в пределах которого находится заданный пункт, имеет номенклатуру М—42 (рис. 9, а).

Определение номенклатуры листов масштабов 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000 показано соответственно на рис. 9, б, в и г.

2. *Определение географических координат углов листа карты по его номенклатуре.* Определение географических координат углов листа карты любого масштаба начинается с определения координат углов листа карты масштаба 1 : 1 000 000. Ход решения поясняется следующим примером.

**Пример.** Определить географические координаты углов листа карты К-48-14-(125).



Определяем широты параллелей и долготы меридианов, ограничивающих лист карты К-48 масштаба 1:1 000 000. Так как К — одиннадцатая буква латинского алфавита, то широта северной параллели равна  $4^\circ \times 11 = 44^\circ$ , а южной  $44^\circ - 4^\circ = 40^\circ$ . Долгота восточного меридиана листа К-48 равна  $6^\circ \times 48 - 180 = 108^\circ$ , а западного  $108^\circ - 6^\circ = 102^\circ$ . Деля лист К-48 на 144 части (рис. 10, а) находим, что лист карты К-48-14 ограничен параллелями с широтами, равными  $43^\circ 20'$  и  $43^\circ 40'$ , и меридианами с долготами, равными  $102^\circ 30'$  и  $103^\circ 00'$ .

Деля лист карты К-48-14 на 256 частей (рис. 10, б) находим, что лист карты К-48-14-(125) ограничен параллелями с широтами  $43^\circ 28' 45''$  и  $43^\circ 30' 00''$  и меридианами с долготами  $102^\circ 52' 30''$  и  $102^\circ 54' 22,5''$ .

### Задание 1.5

#### Определение координат точек, заданных на топографической карте

I. Задача: определить географические и прямоугольные координаты точек.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия, Ч. I. М., Недра, 1967, § 6, 8, 17, 18, 19.

III. Пособия и принадлежности: топографическая карта, измеритель, линейка, треугольник, карандаш 2Т-3Т.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) определение географических координат точки;
- 2) определение прямоугольных координат точки;
- 3) определение прямоугольных координат точки в системе соседней зоны.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Определение географических координат точки.*

Пользуясь показанными у сторон рамки листа карты делениями, соответствующими минутам широты и долготы, проводят ближайшие к заданной точке южную и северную параллели, западный и восточный меридианы. Затем с помощью линейки и треугольника проводят параллель и меридиан западной точки. Широту  $\varphi$  и долготу  $\lambda$  точки получают из выражений

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_{\text{ю}} + \Delta\varphi; \\ \lambda &= \lambda_3 + \Delta\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где  $\varphi_{\text{ю}}$  — широта южной параллели,  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_{\text{ю}}$ ;  $\lambda$  — долгота западного меридиана,  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_3$ .

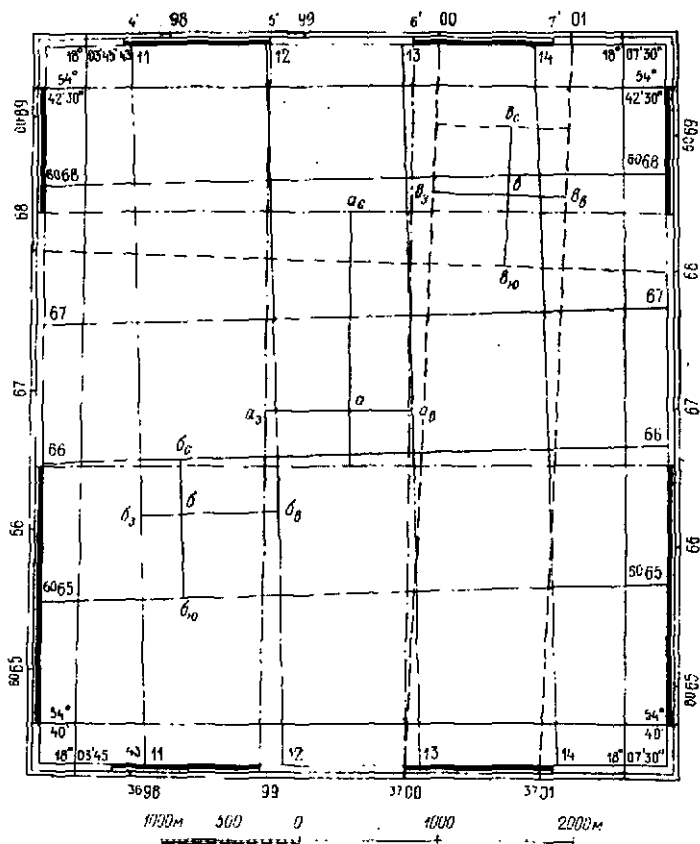


Рис. 11. Определение координат точек по карте

Значение  $\Delta\phi$  (в минутах) определяют как отношение расстояния от южной параллели до заданной точки к длине меридиана этой точки между южной и северной параллелями, соответствующей одной минуте широты.

Аналогично находят значение  $\Delta\lambda$ .

Пример. Определить географические координаты точки *a* на карте масштаба 1 : 25 000 (рис. 11).

Ближайшие к точке *a* южная параллель и западный меридиан (они на рис. 11 проведены штрихпунктиром)

имеют координаты:  $\varphi_{ю} = 54^{\circ}41'$ ,  $\lambda_{з} = 18^{\circ}05'$ . Длины отрезков:  $aa_{ю} = 13$  мм,  $a_{с}a_{ю} = 62$  мм,  $aa_{з} = 21$  мм,  $a_{з}a_{в} = 36$  мм. Поэтому  $\Delta\varphi = 60''(13/62) = 13''$  и  $\Delta\lambda = 60''(21/36) = 35''$ . Таким образом, географические координаты точки  $a$  имеют значения:  $\varphi = 54^{\circ}41' + 13'' = 54^{\circ}41'13''$ ,  $\lambda = 18^{\circ}05' + 35'' = 18^{\circ}05'35''$ .

2. *Определение прямоугольных координат точки.* По оцифровке линий координатной сетки получают значения координат  $x_{ю}$ ,  $y_{з}$  юго-западного угла квадрата, в котором расположена заданная точка. Координаты ее равны:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_{ю} + \Delta x_{ю}; \\ y &= y_{з} + \Delta y_{з}. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Значение  $\Delta x_{ю}$  представляет собой длину перпендикуляра, опущенного из точки на южную сторону квадрата, в котором находится точка; значение  $\Delta y_{з}$  — длину перпендикуляра, опущенного из точки на западную сторону квадрата.

Для контроля и получения более точных результатов измеряют также длины перпендикуляров, опущенных из точки на северную сторону квадрата ( $\Delta x_{с}$ ) и на восточную сторону ( $\Delta y_{в}$ ). Суммы  $\Delta x_{ю} + \Delta x_{с}$  и  $\Delta y_{з} + \Delta y_{в}$  должны равняться 1000 м (теоретическая сумма). Разности  $(\Delta x_{ю} + \Delta x_{с}) - 1000 = f_x$  и  $(\Delta y_{з} + \Delta y_{в}) - 1000 = f_y$  представляют собой ошибки в графическом определении абсциссы и ординаты заданной точки. Если каждая из них не превосходит числа тысяч в знаменателе численного масштаба карты, то она распределяется с обратным знаком пропорционально измеренной величине  $\Delta x$  или  $\Delta y$  соответственно.

*Пример.* Определить прямоугольные координаты точки  $b$  (см. рис. 11).

Координаты юго-западного угла квадрата координатной сетки, в котором расположена точка  $b$ , имеют значения:  $x_{ю} = 6065$  км,  $y_{з} = 4311$  км. Дальнейшие вычисления производим в такой последовательности.

а) *Вычисление абсциссы.* Измеренные значения  $\Delta x_{ю} = b_{ю}b = 590$  м,  $\Delta x_{с} = b_{с}b = 400$  м. Ошибка  $f_x = 590 + 400 - 1000 = -10$  м. Так как она меньше 25 м, то распределяем ее пропорционально измеренным разностям абсцисс, получая их исправленные значения:  $\Delta x_{ю_{испр}} = 590 + 6 = 596$  м,  $\Delta x_{с_{испр}} = 400 + 4 = 404$  м. Контроль:  $596 + 404 = 1000$  м. Абсцисса точки  $b$ :  $x = 6065000 + 596 = 6065596$  м.

б) Вычисление ординаты. Измеренные значения:  $\Delta y_z = b_z b = 285$  м,  $\Delta y_B = b_B b = 700$  м. Ошибка  $f_y = 285 + 700 - 1000 = -15$  м. Поскольку она меньше 25 м, то после ее распределения получаем исправленные значения:  $\Delta y_{z_{испр}} = 285 + 4 = 289$  м,  $\Delta y_{B_{испр}} = 700 + 11 = 711$  м. Контроль:  $289 + 711 = 1000$  м. Ордината точки  $b$ :  $y = 4\ 311\ 000 + 289 = 4\ 311\ 289$  м.

3. *Определение прямоугольных координат точки в системе соседней зоны.* Проводятся ближайшие к заданной точке южная и северная, западная и восточная линии координатной сетки соседней зоны. Выходы их показаны черточками на противоположных сторонах рамки с соответствующими подписями снаружи и вдоль сторон рамки карты. Значения координат вычисляются по формулам (I.3).

*Пример.* Определить координаты точки  $v$  (см. рис. 11) в системе 3-й зоны.

Ближайшие координатные линии сетки 3-й зоны на рис. 11 проведены штрихами. Координаты юго-западного угла квадрата координатной сетки, в котором расположена точка  $v$ , имеют значения:  $x_{ю} = 6068$  км,  $y_z = 3700$  км.

а) Вычисление абсциссы точки  $v$ . Измеренные значения:  $\Delta x_{ю} = v_{юv} = 510$  м,  $\Delta x_c = v_c v = 500$  м. Ошибка  $f_x = 500 + 510 - 1000 = +10$  м. Исправленные значения  $\Delta x_{ю_{испр}} = 510 - 5 = 505$  м,  $\Delta x_{c_{испр}} = 500 - 5 = 495$  м. Контроль:  $505 + 495 = 1000$  м. Абсцисса точки  $v$ :  $x = 6\ 068\ 000 + 505 = 6\ 068\ 505$  м.

б) Вычисление ординаты точки  $v$ . Измеренные значения:  $\Delta y_z = v_z v = 550$  м,  $\Delta y_B = v_B v = 440$  м. Ошибка  $f_y = 550 + 440 - 1000 = -10$  м. Исправленные значения:  $\Delta y_{z_{испр}} = 550 + 6 = 556$  м,  $\Delta y_{B_{испр}} = 440 + 4 = 444$  м. Контроль:  $556 + 444 = 1000$  м. Ордината точки  $v$ :  $y = 3\ 700\ 000 + 556 = 3\ 700\ 556$  м.

### Задание I.6

#### Ориентирование

I. Задача: освоить способы ориентирования на местности.

II. Литература: *Гиршберг М. А. Ч. I. М., Недра, 1967, § 20—26.*

III. Пособия и принадлежности: а) при работе на местности: лист топографической карты, компас, визирная линейка, плотная папка, карандаш ТМ; б) при лабораторных занятиях; лист учебной карты, ориентир-буссоль.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ориентирование линий местности;
- 2) определение ориентирующих углов;
- 3) ориентирование по карте.

1. *Ориентирование линий местности.* На карте и на местности направление линии может быть определено: дирекционным углом  $\alpha$ ; истинным азимутом  $A$  и магнитным азимутом  $A_M$ .

Переход от дирекционного угла к истинному и магнитному азимутам производится по формулам

$$A = \alpha + \gamma; A_M = A - \delta = \alpha - \Pi; \alpha = A_M + \Pi, \quad (1.4)$$

где  $\gamma$  — зональное сближение меридианов,  $\delta$  — магнитное склонение,  $\Pi = \delta - \gamma$  — поправка направления.

Сближение меридианов в центре листа карты по отношению к осевому меридиану зоны называется зональным сближением листа карты. Вычисляется оно по формуле

$$\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi_{\text{ср}}, \quad (1.5)$$

где  $\Delta\lambda$  — разность долгот среднего меридиана карты и осевого меридиана зоны;  $\varphi_{\text{ср}}$  — широта средней параллели.

**Пример.** Определить сближение меридианов для листа карты, номенклатура которого была определена в задании 1.4 (см. рис. 9, з).

Восточная долгота листа  $71^\circ 15'$ , западная  $71^\circ 11' 15''$ , долгота среднего меридиана  $\lambda_{\text{ср}} = 71^\circ 13'$ .

Северная широта карты  $50^\circ 25'$ , южная  $50^\circ 22' 30''$ , средняя  $\varphi_{\text{ср}} = 50^\circ 24'$ . Долгота осевого меридиана 12-й зоны  $\lambda_0 = 6^\circ \cdot 12 - 3^\circ = 69^\circ$   $\Delta\lambda = 71^\circ 13' - 69^\circ = +2^\circ 13'$ ;  $\gamma = +2^\circ 13' \sin 50^\circ 24' = +133' \cdot 0,770 = 102' = +1^\circ 42'$ .

Склонение магнитной стрелки определяется при съемке. Оно, как и сближение меридианов, указывается под южной стороной рамки карты.

Сведения о магнитном склонении и годовом его изменении можно получить на ближайшей метеорологической станции. Годовое изменение следует учитывать в слу-

чае, если прошло значительное время после определения склонения.

2. *Определение ориентирующих углов.* Дирекционный угол измеряется на карте транспортиром. Истинный и магнитный азимуты вычисляются по формулам (1.4). При этом следует иметь в виду, что  $\delta$ ,  $\gamma$  и  $\Pi$  могут быть величинами и положительными и отрицательными. Сближение меридианов и магнитное склонение положительные, когда северные направления линий сетки и магнитного меридиана отклонены к востоку (восточные) от северного направления истинного меридиана, отрицательные — когда к западу (западные).

Пример. Измерить дирекционные углы и вычислить истинные и магнитные азимуты восточного и юго-восточного направлений грунтовых дорог в месте их пересечения (2236)\*, в котором находится указатель дорог (рис. 12).

Дирекционный угол направления северной дороги  $\alpha_c$  измеряется транспортиром в точке пересечения дороги с линией сетки 37;  $\alpha_c = 100,2^\circ$ . Угол южной дороги  $\alpha_{ю}$  измеряется в точке пересечения ее с линией 36;  $\alpha_{ю} = 156,4^\circ$ .

Сближение меридианов и магнитное склонение показаны на схеме (рис. 13):  $\gamma = -40'$ ,  $\delta = +11^\circ 20'$ ,  $\Pi = +12'$ .

Пользуясь формулами (1.4), получим

$$\begin{aligned} A_c &= 100,2^\circ + (-0,7^\circ) = 99,5^\circ; & A_m &= 99,5^\circ - 11,3^\circ = 100,2^\circ - \\ &- 12^\circ = 88,2^\circ & A_{ю} &= 156,4^\circ + (-0,7^\circ) = 155,7^\circ; & A_m &= 155,7^\circ - \\ &- 11,3^\circ = 156,4^\circ - 12^\circ = 144,4^\circ. \end{aligned}$$

3. *Ориентирование по карте.* На местности ориентирование по карте сводится к ориентированию самой карты, т. е. приданию ей такого положения, при котором направления на карте были бы параллельны соответствующим направлениям на местности.

Ориентировать карту можно по местным предметам и по компасу.

При ориентировании карты по местным предметам могут быть два случая: а) когда наблюдатель находится

---

\* Сокращенные координаты юго-западной вершины квадрата сетки.

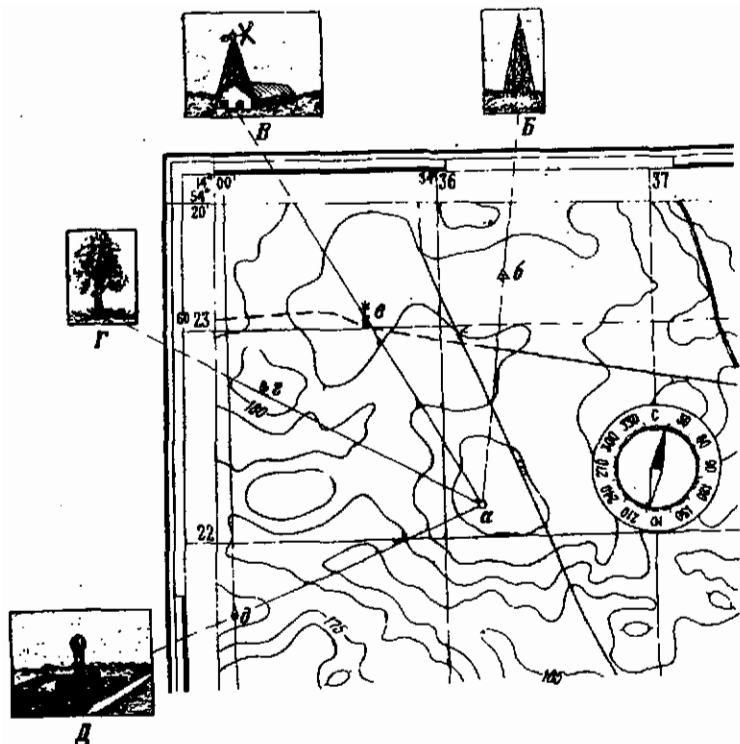


Рис. 12. Ориентирование листа  
топографической карты

*Сближение  
меридианов*

*Склонение  
магнитной стрелки*

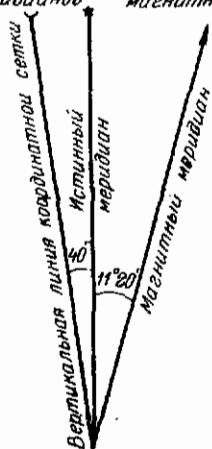


Рис. 13. Схема расположения  
начальных направлений

у изображенного на карте объекта и б) когда точки, в которой производится ориентирование, на карте нет.

Пример. Ориентировать карту на геодезическом пункте Б (на карте б) (см. рис. 12), с которого видны: отдельное дерево Г(г) и водонапорная башня Д(д). Находясь на пункте, придают листу карты горизонтальное положение и вращают его до тех пор, пока направления бг и бд на карте не окажутся параллельными направлениям БГ и БД на местности.

В точке с указателем дорог (2236) карту можно ориентировать по направлениям дорог. Вторые направления — контрольные.

Если же лист карты приходится ориентировать в точке, не изображенной на карте, но с этой точки видны 3—4 нанесенные на карту ориентира, то положение точки определяется способом А. П. Болотова. Пример такого случая иллюстрируется на рис. 12: здесь положение точки а определено по ориентирам Б, В, Г и Д. По направлениям на эти объекты и ориентирован лист карты.

При ориентировании листа карты с помощью компаса нулевой диаметр градуированного его кольца прикладывают либо к вертикальной линии координатной сетки, либо к ближайшей (восточной или западной) стороне рамки листа. В первом случае лист карты поворачивают до тех пор, пока по северному концу стрелки не будет сделан отсчет, равный поправке П. На рис. 12 приведен случай, когда нулевой диаметр кольца компаса приложен к вертикальной линии (37) координатной сетки, а поправка П равна  $+12^\circ$ . При прикладывании нулевого диаметра к восточной или западной стороне рамки листа карты, т. е. к географическому меридиану, учитывается лишь склонение магнитной стрелки  $\delta$ .

Во время лабораторных занятий производится тренировочное условное ориентирование листа карты с помощью ориентир-буссоли в предположении, что студенты, выполняющие задание, находятся на местности, изображенной на листе учебной карты. Задание индивидуализируется тем, что каждый студент выполняет ориентирование листа карты в указанной ему точке, пользуясь заданными ему значениями склонения магнитной стрелки и сближения меридианов.

На лабораторных занятиях решаются также задачи по определению зонального сближения меридианов, дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов.



## Задание 1.7

### Изображение рельефа на топографических картах и решение задач по карте с горизонталями

I. Задача: научиться читать рельеф, изображенный на карте, и решать наиболее часто встречающиеся задачи.

II. Литература. *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 27—32.

III. Пособия и принадлежности: топографическая карта, чертежная бумага для построения графиков заложений, миллиметровая бумага для построения профиля, измеритель, нормальный поперечный масштаб, треугольник, линейка, карандаш 2Т-3Т.

IV. Последовательность выполнения задания.

А. Чтение рельефа, изображенного горизонталями:

- 1) определение отметок горизонталей и точек;
- 2) построение графиков заложений и определение крутизны скатов;
- 3) описание рельефа по маршруту, указанному на карте.

Б. Решение задач по карте с горизонталями:

- 1) определение видимости между точками с помощью построенного профиля;
- 2) отграничение водосборной площади (бассейна) водотока;
- 3) проведение на карте линии заданного предельного угла наклона.

V. Указания по выполнению задания.

А. *Изучение рельефа, изображенного горизонталями*

Изучение рельефа начинается с определения на карте направлений повышения и понижения местности. При этом руководствуются следующими признаками: 1) бергштрихи всегда направлены в сторону понижения; 2) основания цифр, которыми подписаны горизонтали, располагаются в направлении понижения ската; 3) к водоемам и водостокам местность понижается; 4) в одну сторону от горизонталей местность понижается, а в другую — повышается; 5) горизонтали перегибаются на водораздельных линиях хребтов и на тальвегах ложин.

1. *Определение отметок горизонталей и точек.* Зная отметку точки, можно определить отметку ближайшей к ней горизонтали. Она будет равна ближайшему (при повышении местности) и ближайшему меньшему (при по-

нижении) к отметке точки числу, кратному высоте сечения.

**Пример.** Определить отметку ближайшей горизонтали к точке  $a$  (см. рис. 4) с отметкой 153,2 м.

Местность от точки к реке понижается. Отметка ближайшей горизонтали будет 152,5, т. е. ближайшее меньшее от 153,2 число, кратное 2,5.

Отметка точки  $x$ , находящейся между горизонталями, определяется по формуле

$$H_x = H_0 \pm h_x, \quad (1.6)$$

где  $H_0$  — отметка горизонтали, ближайшей к точке  $x$ ,  $h_x$  — превышение точки  $x$  над горизонталью.

Превышение вычисляется по формуле

$$h_x = (l/a) h, \quad (1.7)$$

в которой  $l$  — расстояние от точки  $x$  до ближайшей горизонтали;  $a$  — заложение ската между соседними горизонталями;  $h$  — высота сечения рельефа.

**Пример.** Определить отметки точек  $b, c, d, e, f, g$  на карте, представленной на рис. 4.

Точка  $b$  находится в котловине, точки  $c$  и  $g$  — на седловинах. В подобных случаях отметку точки вычисляют по формуле (1.6), причём превышение принимается равным половине высоты сечения рельефа. Таким образом, отметки точек  $b, c$  и  $g$  имеют следующие значения:

$$H_b = 137,5 - 1,2 = 136,3 \text{ м};$$

$$H_c = 140,0 - 1,2 = 138,8 \text{ м};$$

$$H_g = 150,0 - 1,2 = 148,8 \text{ м}.$$

Превышение  $h_d$  точки  $d$  над ближайшей горизонталью с отметкой 135,0 м вычисляется по формуле (1.7). При этом заложение  $a$  и расстояние  $l$  измеряются по ручью,  $a$  — между точками пересечения его горизонталями с отметками 135,0 и 137,5 м ( $a=7$  см) и  $l$  — между точкой пересечения ручья горизонталью с отметкой 135,0 и точкой  $d$  ( $l=2$  см). Таким образом,  $H_d = 135,0 + (2/7) \times 2,5 = 135,7$  м.

Аналогично вычисляются отметки: точки  $e$ , расположенной на водоразделе, и точки  $f$ , находящейся на тальвеге:  $H_e = 142,5(0,6/0,7) \times 2,5 = 144,4$  м,  $H_f = 147,5(0,25/0,7) \times 2,5 = 146,6$  м.

**2. Построение графиков заложений и определение крутизны скатов.** Крутизна ската характеризуется либо

углом наклона  $\nu$ , либо уклоном, значения которых вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \nu &= 57,3^\circ (h/a); \\ \operatorname{tg} \nu &= i = h/a, \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

где  $h$  — высота сечения рельефа и  $a$  — заложение ската.

Проще и быстрее значения  $\nu$  и  $i$  определяются по графикам заложений. Строятся эти графики по заложениям  $a$ , вычисляемым по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a &= h \operatorname{ctg} \nu; \\ a &= h/i \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

в зависимости от заданных значений  $\nu$  и  $i$ .

В табл. 4 приведены значения заложений  $a$ , вычисленные для карты масштаба 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа  $h=2,5$  м.

Таблица 4

Углы наклона $\nu$	$\operatorname{ctg} \nu$	Заложения $a$ , м	Уклоны $i$	Заложения $a$ , м
$0^\circ 30'$	114,6	286	0,010	250
1	57,3	143	0,020	125
2	28,6	72	0,030	83
3	19,1	48	0,040	62
4	14,3	36	0,050	50
5	11,4	28	0,060	42
7	8,1	20	0,080	31
10	5,7	14	0,100	25

По этим данным построены графики заложений для углов наклона (рис. 14, а) и уклонов (рис. 14, б). (На рис. 14 размеры заложений уменьшены примерно в 1,5 раза.) Для построения графиков откладывают на прямой линии равные отрезки произвольной длины, на концах которых восставляют перпендикуляры. На каждом из них, пользуясь поперечным масштабом, откладывают в масштабе карты вычисленные значения заложений  $a$ . Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой линией.

С помощью построенных графиков определена крутизна скатов по линии  $st$  на карте, приведенной на рис. 4, результаты сведены в табл. 5.

3. *Описание рельефа по маршруту, указанному на карте.* На карте (см. рис. 4) маршрут проложен по линии  $KL$  и описание приведено в табл. 6.

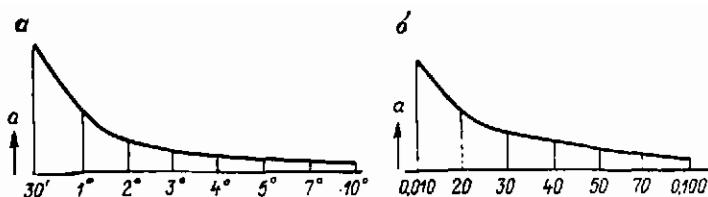


Рис. 14. Графики заложений:  
а — для углов наклона; б — для уклонов

Таблица 5

Отметка горизонтали, м	Угол наклона $\nu$	Уклон $i$
150 (точка $s$ )	4,5°	0,080
147,5	5,5	0,090
145	4,0	0,075
142,5	3,6	0,060
140	2,4	0,046
137,5 (точка $t$ )		

Таблица 6

Обозначение точки	Местонахождение точки	Направление ската
Рамка карты (точка $k$ )	На скате	Спуск
$b$	Дно котловины	Подъем
$c$	Седловина	Спуск
$d$	Ручей	Подъем
$e$	Водораздел	Спуск
$f$	Тальвег	Подъем
$g$	Седловина	Спуск
Рамка карты (точка $L$ )	На скате	

Наибольшую крутизну имеет отрезок  $xy$  между горизонталями с отметками 140,0 и 137,5 м; здесь угол наклона равен 3,5°. Наименьшая крутизна у отрезка  $ef$ , большая часть которого расположена на карте почти параллельно горизонталям.

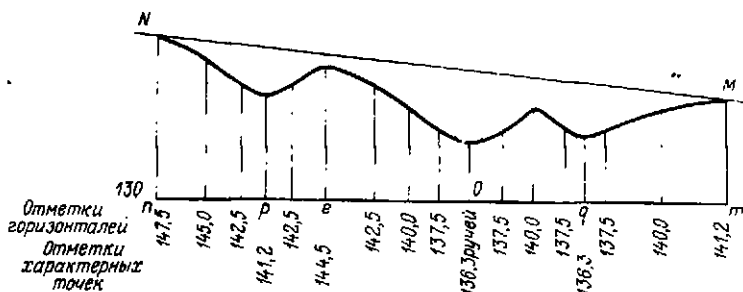


Рис. 15. Определение видимости точек при помощи профиля

### Б. Решение задач по карте с горизонталями

1. *Определение видимости между точками с помощью построенного профиля.* Прочерчивают на карте линию, по которой должен быть построен профиль: эта линия называется профильной. Затем на бумаге (лучше всего миллиметровой) проводят прямую линию, являющуюся основанием профиля, и на нее переносят с карты точки пересечения профильной линией горизонталей, водоразделов, тальвегов, седловин и вершин, выписывая их отметки. В полученных точках восставляют перпендикуляры и откладывают на них высоты в принятом вертикальном масштабе. Концы перпендикуляров соединяют плавной линией.

*Пример.* Определить видимость между точками *N* и *M* местности, проекциями которых на карте являются точки *n* и *m* (рис. 15).

Для решения (см. рис. 15) на основании профиля перенесены точки пересечения профильной линией *nm* горизонталей, имеющих отметки 147,5; 145,0; ...; 140,0 м, тальвегов (точки *p* и *q*), водораздела (точки *e*) и ручья (точка *o*). Кроме того, нанесена точка *m* с отметкой 141,2 м. Отметки всех точек выписаны на профильной линии.

В обозначенных на основании профиля точках восставлены перпендикуляры, на которых в вертикальном масштабе 1 : 500 отложены отметки точек. Для того чтобы чертеж был компактнее, все отметки уменьшены на 130 м. Концы перпендикуляров соединены плавной линией, после чего проведена прямая *NM*. Так как она нигде не пересекает профиль, то видимость между точками *N* и *M* имеется.

2. *Ограничение водосборной площади (бассейна) водотока.* Граница водосборной площади проходит по водораздельным линиям хребтов (ими являются нормали к горизонталям в точках их перегиба на хребтах), через вершины и седловины.

Пример. На карте, изображенной на рис. 4, ограничить пунктирной линией водосборную площадь для плотины *ги*.

Граница сначала идет от точки *г* перпендикулярно к горизонталям с отметками 142,5; 145,0 и 147,5 м; затем она совпадает с водораздельной линией хребта, проходит через вершину, обозначенную полугоризонталью, через седловину с точкой *г*, по водораздельной линии хребта, идущей к вершине с точкой 153,2, и, наконец, по водораздельной линии, спускающейся к точке *и*.

3. *Проведение на карте линии заданного предельного угла наклона.* Задать линию предельного угла наклона это значит обозначить на карте направление, по которому расстояния между горизонталями равны заложению  $a_{\text{пред}}$ , соответствующему заданному предельному углу наклона  $v_{\text{пред}}$ , либо больше (но не меньше) этого заложения. В точках поворота проводимой линии следует избегать острых углов.

Предельное заложение вычисляют по формуле

$$a_{\text{пред}} = h \operatorname{ctg} v_{\text{пред}} = h (57,3^\circ / v_{\text{пред}}^\circ). \quad (\text{I. 10})$$

Проще всего задача решается с помощью графика заложений для углов наклона (см. рис. 14, а).

Из нескольких возможных вариантов решения задачи предпочтение отдается тому, при котором общая длина линии меньше.

Пример. Между точками *а* и *т* на карте (см. рис. 4) провести линию с предельным углом наклона, равным  $1,5^\circ$ .

Прежде всего легким нажимом карандаша проводим на карте прямую линию *ат*. Взяв в раствор измерителя по графику заложений для углов наклона заложение  $a_{\text{пред}}$ , соответствующее  $v_{\text{пред}} = 1,5^\circ$ , и последовательно прикладывая его к отрезкам 1—2, 2—3' ..., 6'—7' и 9'—10', убеждаемся, что лишь отрезки 1—2 и 9'—10' больше  $a_{\text{пред}}$ . Поэтому искомая линия заданной предельной крутизны не может совпадать с прямой *ат* на всем ее протяжении. Чтобы убедиться в том, что отрезок *а—1* имеет крутизну, не большую  $1,5^\circ$ , вычисляем значение угла

наклона  $\nu_1$  этого отрезка в зависимости от измеренной длины  $l_1$  его, оказавшейся равной 68 м, и разности  $h_1$  высот точек  $a$  и  $1$   $h_1 = 153,2 - 152,7 = 0,7$  м,  $\nu_1 = 57,3^\circ (0,7/68) \approx 0,6^\circ$ . Так как  $\nu_1 < \nu_{\text{пред}}$ , то отрезок  $a-1$  можно считать началом искомой линии. Поскольку отрезок  $1-2$  длиннее, чем  $a_{\text{пред}}$ , то его можно принять за следующую часть искомой линии. Для нахождения дальнейших точек этой линии поступаем так. Из точки 2 раствором измерителя, равным  $a_{\text{пред}}$ , засекаем горизонталь 147,5 м, получая точку 3; из нее засекаем горизонталь 145,0 м в точке 4 и т. д. вплоть до точки 7. Последнюю соединяем прямой линией с точкой  $m$ , так как углы наклона отрезков 7—8 и 8—9 не превосходят  $1,5^\circ$ , то задача решена.

## ГЛАВА II ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

---

### Задание II.1

#### Определение площади графическим способом

I. Задача: определить площадь фигуры по результатам измерений на плане (карте) и при помощи палетки.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 113, 121, 123.

III. Пособия и принадлежности: план (карта), линейка, треугольник, карандаш 2Т-3Т, циркуль-измеритель, нормальный поперечный масштаб, микрокалькулятор, палетка.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) определение площади многоугольника;

2) определение площади заданной на плане (карте) фигуры при помощи палетки.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Определение площади многоугольника.* Площадь многоугольника определяется путем деления его на треугольники или четырехугольники с измерением их элементов по плану (карте). Если участок, площадь которого должна быть вычислена, представляет собой многоугольник, то прежде всего разбивают его на треугольники, проводя стороны их остро отточенным карандашом без сильного нажима (рис. 16). Затем, пользуясь измерителем и нормальным поперечным масштабом, измеряют на плане линейные элементы (сторону, высоту), необходимые для вычисления площади каждой фигуры по формулам геометрии. Для контроля следует площадь фигуры вычислять вторично по иным измеренным элементам.

Расхождение между обоими значениями ее площади не должно превосходить

$$\Delta = 1,4 \text{ м} \sqrt{a^2 + h^2}, \quad (\text{II.1})$$

где  $a$  — основание и  $h$  — высота треугольника. При удовлетворении этого условия за окончательное значение площади принимают среднее арифметическое.



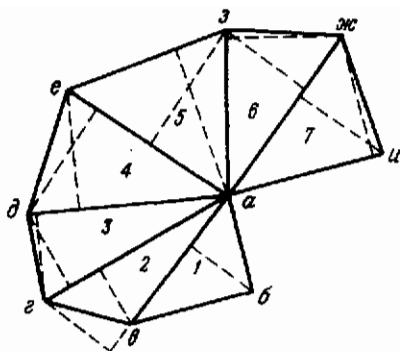


Рис. 16. Разбивка фигуры на трапеции

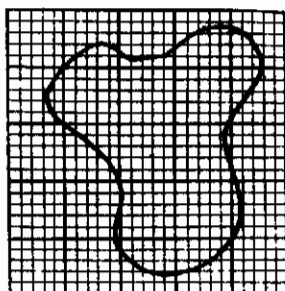


Рис. 17. Измерение площади палеткой

Общая площадь участка определяется суммированием площадей отдельных фигур.

Пример. Определить площадь участка *абв...жи* (см. рис. 16), снятого с карты масштаба 1 : 10 000.

Заданную фигуру делим на треугольники 1, 2, 3, ..., 7 и в каждом из них измеряем основание *a* и высоту *h*, записывая результаты в табл. 7. В эту же таблицу заносим результаты вычислений.

Высоты треугольников на рис. 16 показаны пунктирными линиями. Высота треугольника *абв* относительно стороны *аб* совпадает со стороной *бв*.

2. *Определение площади заданной на плане (карте) фигуры при помощи палетки.* Если участок имеет криволинейные очертания, то деление его на простейшие геометрические фигуры производят так, чтобы стороны их, совпадающие с границей участка, практически можно было считать прямолинейными.

Более быстро площадь такого участка определяется при помощи палетки, один из образцов которой представлен на рис. 17.

Такая палетка состоит из сетки малых квадратов  $2 \times 2$  мм, нанесенной на прозрачную основу (бумажная калька, плексиглас, целлулоид). Малые квадраты образуют большие квадраты размерами  $1 \times 1$  см.

Палетку накладывают на фигуру, площадь которой должна быть определена (см. рис. 17), и подсчитывают число больших и полных малых квадратов, закрываю-

Номер треу- гольника	Результаты измерений			Результаты вычислений		
	Основание <i>a</i> .		Высота <i>h</i> , м	2 <i>P</i> , м <sup>2</sup>	2 <i>P</i> <sub>сред.</sub> м <sup>2</sup>	<i>P</i> , га
	обозна- чение	м				
1	<i>ab</i>	174	226	39 324	39 534	1,98
	<i>av</i>	288	138	39 744		
	<i>av</i>	288	144	41 472		
2	<i>ag</i>	374	110	41 140	41 306	2,06
	<i>ag</i>	374	148	55 352		
3	<i>ad</i>	356	156	55 536	55 444	2,77
	<i>ad</i>	356	210	74 760		
4	<i>ae</i>	338	222	75 036	74 898	3,74
	<i>ae</i>	338	244	82 472		
5	<i>az</i>	292	282	82 344	82 408	4,12
	<i>az</i>	292	206	60 152		
6	<i>aj</i>	346	174	60 204	60 178	3,01
	<i>aj</i>	346	182	62 972		
7	<i>am</i>	280	224	62 720	62 846	3,14
						Σ=20,82 га

щих эту фигуру. Затем суммируют неполные малые квадраты, определяемые с округлением до четверти квадрата у границы участка, сводя их в целые квадраты. Площадь фигуры равна произведению цены деления палетки на полученную сумму делений.

Измерение повторяется при ином положении палетки относительно измеряемой фигуры.

Расхождение между двумя определениями площади фигуры не должно быть больше 1:50 измеренной площади. При удовлетворении этого условия за окончательное значение площади принимают среднее арифметическое из обоих определений.

Пример. При помощи палетки определить площадь фигуры, снятой с карты масштаба 1:10 000 (см. рис. 17).

Прежде всего определяем цену наименьшего ( $2 \times 2$  мм) деления палетки: для карты масштаба 1:10 000 она равна  $20 \times 20 \text{ м} = 400 \text{ м}^2 = 0,04 \text{ га}$ .

Соответственно цена деления сантиметрового квадрата палетки равна  $100 \times 100 \text{ м} = 10\,000 \text{ м}^2 = 1,00 \text{ га}$ .

Результаты подсчета числа квадратов палетки, содержащихся в заданной фигуре, таковы: число больших квадратов 7, что соответствует площади  $P_1 = 7,00 \text{ га}$ ; число полных малых квадратов палетки за пределами больших квадратов 61, что соответствует площади  $P_2 = 0,04 \text{ га} \times 61 = 2,44 \text{ га}$ ; число полных малых квадратов, соответствующее неполным малым квадратам у контура фигуры, 22, что соответствует площади  $P_3 = 0,04 \text{ га} \times 22 = 0,88 \text{ га}$ .

Таким образом, общая площадь фигуры  $P = P_1 + P_2 + P_3 = 10,32 \text{ га}$ .

## Задание II.2

### Определение площади планиметром

I. Задача: определить цену деления планиметра и измерить им площадь участка.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 114—120.

III. Инструменты и принадлежности: полярный планиметр, лист топографической карты (либо координатная сетка, нанесенная на жесткую основу), тетрадь для записей.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) определение цены деления планиметра;
- 2) измерение планиметром площади участка.

V. Указания по выполнению задания.

Полярный планиметр (рис. 18, а) состоит из полюсного 1 и обводного 6 рычагов, соединяемых во время работы шарниром. На конце рычага 1 находится полюс 2 с иглой, втыкаемой в бумагу после установки планиметра. На одном конце обводного рычага расположен счетный механизм (рис. 18, б), опирающийся на реборду (ободок) счетного колеса 8, а на другом — обводной шпиль 5. Удерживая планиметр за ручку 3, обводят шпилем контур участка, площадь которого хотят измерить. При помощи гайки длину штифта 4 регулируют с таким расчетом, чтобы острие шпиля находилось вблизи от поверхности бумаги, но не царапало ее.

Счетный механизм состоит из счетного колеса 9, имеющего 100 делений, верньера 10 с десятью делениями,

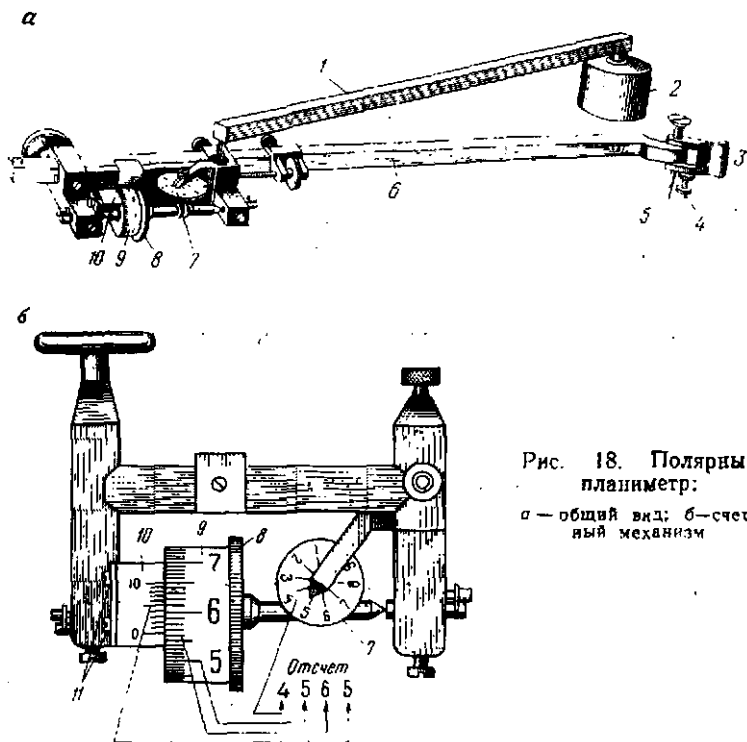


Рис. 18. Полярный  
планиметр:

а — общий вид; б — счет-  
ный механизм

позволяющими брать отсчеты до 0,1 деления колеса. Таким образом, одно деление счетного механизма планиметра равно  $1 : 1000$  окружности колеса. Полные обороты колеса учитываются по циферблату 7 и выражаются четырехзначным числом (на рис. 18, б показан оборот, равный 4565).

До начала измерения площади планиметром необходимо:

- а) убедиться в плавности вращения счетного колеса;
- б) при помощи винтов 11 установить счетное колесо и верньер на расстоянии, равном толщине тонкой бумаги;
- в) отрегулировать опорный штифт 4;
- г) выбрать положение полюса так, чтобы при обводе рычаги планиметра не составляли углов меньших  $30^\circ$  и больших  $150^\circ$  и чтобы при обводе счетное колесо не сходило с бумаги.

$$M:10000 \quad 10000P = 100200.$$

Начальную точку на контуре обводимой фигуры выбирают так, чтобы при установке над нею острия обводного шпилья угол между рычагами приближался к прямому: в этом случае небольшое перемещение шпилья не вызовет изменения отсчета по счетному колесу.

Значение площади  $P$ , измеренной полярным планиметром, вычисляется по одной из формул: при положении полюса вне фигуры

$$P = C(m_2 - m_1); \quad (II.2)$$

при положении полюса внутри фигуры

$$P = C(m_2 - m_1 + q). \quad (II.3)$$

В этих формулах:  $C$  — цена деления планиметра;  $m_1$  и  $m_2$  — отсчеты по счетному механизму в начале и в конце обвода фигуры;  $q$  — постоянное число планиметра.

Настоящее задание рассчитано на измерение площадей планиметром с установкой полюса вне обводимой фигуры.

1. *Определение цены деления планиметра.* Из формулы (II.2) получаем

$$C = P/(m_2 - m_1). \quad (II.4)$$

Для определения цены деления планиметра  $C$  проще всего измерить площадь квадрата координатной сетки. Измерение производится двумя приемами с двукратным обводом в полуприемах. Полуприем составляет обвод при положении счетного механизма по одну сторону от линии: шпиль — полюс.

Устанавливают шпиль в начальной точке при положении счетного механизма справа (слева) и делают отсчет  $m_1$ ; обводят фигуру в направлении движения часовой стрелки и в конце обвода делают отсчет  $m_2$ . Каждая разность  $m_2 - m_1$  и  $m_3 - m_2$  дает площадь квадрата в делениях планиметра. Расхождение в двух определениях может быть в пределах четырех делений. При больших расхождениях обвод повторяют (продолжают) и неверный отсчет отбрасывают.

После этого счетный механизм переводят в положение слева (справа) и делают два обвода фигуры так же, как и при предыдущем положении счетного механизма.

За значение площади, измеренной одним полуприемом, принимают среднее из двух разностей отсчетов, а измеренной полным приемом среднее из результатов, полученных в каждом полуприеме.

Расхождение между значениями площади, полученными каждым полуприемом, больше 1 : 250 их среднего значения, указывает на несоблюдение в планиметре основного условия: *плоскость ободка счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага.*

В таком случае каждую площадь следует измерять при двух положениях счетного механизма планиметра и из полученных результатов брать среднее.

Таблица 8

Длина обводного рычага 130,0 см. Площадь квадрата  $P=100$  га

Прием	Отсчет $m_1$ $m_2$ $m_3$	Разность $m_2 - m_1$ $m_3 - m_1$	Среднее из разностей $\frac{m_2 - m_1}{2}$	Среднее из полу- приемов	Цена деления $C, га$
1	Счетный механизм справа			1314	0,07607
	7857				
	6545	1312	1314		
	5230	1315			
	Счетный механизм слева				
	6603	1316	1315		
5287	1314				
3973					
2	Счетный механизм справа			1316	0,07599
	3513				
	2196	1317	1316		
	0882	1314			
	Счетный механизм слева				
	2985	1317	1317		
1668	1317				
0351					

Среднее 0,07603

По формуле (II.4) вычисляют цену деления планиметра, где  $m_2 - m_1$  — среднее значение разностей отсчетов, полученных при обводе квадрата полным приемом. Цену деления планиметра вычисляют с сохранением четырех значащих цифр.

Во втором приеме определение цены деления производят при изменении положения полюса. За окончательное значение цены деления берут среднее из двух приемов.

Пример записей и вычислений при определении цены деления планиметра содержится в табл. 8.

2. Измерение планиметром площади участка. Лабораторная работа по измерению площади участка состоит в измерении фигур, полученных делением квадрата кривыми линиями на три части. Площадь каждой части измеряют одним полуприемом (в случае соблюдения основно-

Таблица 9

Участок	Отсчет $m_1$ $m_2$ $m_1$	Разность $m_2 - m_1$ $m_3 - m_1$	Среднее из разностей $\frac{m_2 - m_1}{2}$	Измеренная площадь $P_{изм} = C \frac{m_2 - m_1}{2}$ га	Поправки, га	Исправленная площадь, $P$ га
1	6619	533	532	40,45	+0,10	40,55
	6086	531				
	5555					
2	8177	462	461	35,05	+0,09	35,14
	7715	460				
	7255					
3	9447	318	319	24,25	+0,06	24,31
	9129	320				
	8809					
Практическая $\Sigma = 99,75$					+0,25	100,00
Теоретическая $\Sigma = 100,00$					$f_p = \frac{0,25}{P} = \frac{1}{400}$	
Невязка $f_p = -0,25$						

го условия). Результаты измерения записывают в журнал по форме, приведенной в табл. 9.

Разность суммы измеренных площадей участков и известной площади всего квадрата представляет собой невязку  $f_p$ , которая не должна превышать 1 : 250 площади квадрата. Допустимую невязку распределяют с обратным знаком пропорционально площадям участков.

### Задание II.3

#### Вычисление площади полигона аналитически

I. Задача: вычислить площадь полигона по координатам его вершин.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, с. 122.

III. Пособия и принадлежности: микрокалькулятор, ведомость координат.

IV. Указания по выполнению задания.

Вычисления ведут по формулам Гаусса:

$$2P = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i-1} - y_{i+1}), \quad (\text{II.5})$$

$$2P = \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}), \quad (\text{II.6})$$

в которых  $n$  — число вершин полигона;  $i$  — номер вершины, возрастающий против хода часовой стрелки.

До начала вычислений значения координат округляют до десятых долей метра, а при площади полигона, большей 200 га, — до целых метров.

Разность координат вычисляют с заключительным контролем:

$$\sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_{i-1}) = 0, \quad (\text{II.7})$$

$$\sum_{i=1}^n (y_{i-1} - y_{i+1}) = 0. \quad (\text{II.8})$$

Произведения  $x_i(y_{i-1} - y_{i+1})$  и  $y_i(x_{i+1} - x_{i-1})$  целесообразно округлять до целых единиц. При вычислении можно отдельные произведения не записывать, так как суммы их получаются на счетчике результатов путем накопления.



Таблица 10

Вершина	$x$	$y$	$y_{i-1} - y_{i+1}$	$x_{i+1} - x_{i-1}$	$x_i \times (y_{i-1} - y_{i+1}), \text{ м}^2$	$y_i \times (x_{i+1} - x_{i-1}), \text{ м}^2$
1	2	3	4	5	6	7
1	+ 46,7	-227,1	+209,2	-237,1	+ 9 770	+53 843
2	- 98,6	-101,2	-153,1	-309,8	+15 098	+31 351
3	-263,1	- 74,0	-270,4	+6,6	+71 124	-489
4	- 92,0	+169,2	-182,0	+401,6	+16 738	+67 946
5	+138,5	+108,0	+396,3	+138,7	+54 887	+14 979
		Сумма	0,0	0,0	+167 617	+167 630

$$P=83\ 800 \text{ м}^2=8,38 \text{ г}$$

Пример. Вычислить площадь полигона по координатам его вершин.

Прежде всего выписываем из ведомости вычисления координат значения абсцисс и ординат, округляя их до десятых долей метра (графы 2 и 3 табл. 10). Затем вычисляем разности ординат ( $y_{i-1} - y_{i+1}$ ) и записываем их в графу 4. Их сумма должна быть равна нулю (контроль). Таким же образом находим разности абсцисс ( $x_{i+1} - x_{i-1}$ ), записывая их в графу 5.

Вычисленные произведения  $x_i (y_{i-1} - y_{i+1})$  и  $y_i (x_{i+1} - x_{i-1})$  записываем с округлением до целых квадратных метров в графы 6 и 7, где записи отдельных произведений сделаны ввиду отсутствия навыка у студентов.

Получение практически одинаковых сумм произведений свидетельствует о правильности вычислений. Окончательное значение площади выражаем в гектарах с округлением до 0,01.

### ГЛАВА III

## ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

---

Измерение горизонтальных и вертикальных углов является одним из главных видов комплекса геодезических измерений, выполняемых при создании государственных астрономо-геодезических сетей, а также при построении геодезических сетей сгущения, специальных геодезических сетей, съемочных геодезических сетей.

Измерение углов широко применяется при топографических съемках, при перенесении в натуру (на местность) проектов инженерных сооружений. В различных геодезических построениях возникает необходимость выполнять эти измерения с различной точностью в пределах  $0,4—60''$ : высокоточные  $—0,4—1,5''$ ; точные  $—2—10''$ ; технической точности  $—15—30''$ . Это достигается применением высокоточных, точных и технической точности теодолитов. Целью настоящей главы является изучение устройства технических теодолитов Т30 и Т15 и способов измерения ими горизонтальных и вертикальных углов. В результате проработки заданий студент должен: 1) представлять устройство основных частей современных оптических теодолитов Т30 и Т15 и познакомиться с ранее применявшимися теодолитами ТТ-50 и ТТ-5; 2) производить исследования (испытания) важнейших характеристик, поверку и юстировку геометрических условий теодолита и 3) производить измерение горизонтальных и вертикальных углов.

### Задание III.1

#### Устройство технических теодолитов

I. Задача: изучить устройство теодолитов Т30 и Т15.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII.

*Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 22.

III. Последовательность выполнения задания:

1) общий осмотр теодолитов и изучение правил обращения с ними;

- 2) изучение устройства технических теодолитов;
- а) общая схема теодолитов;
- б) оптический теодолит Т30;
- в) оптический теодолит Т15;
- г) теодолиты — ТТ-50 и ТТ-5.

#### IV. Указания по выполнению задания.

1. *Общий осмотр теодолитов и изучение правил обращения с ними.* Для выполнения задания необходимо получить технические теодолиты Т30, Т15, которые следует установить и закрепить станковым винтом на подготовленных штативах или на кронштейнах. Прежде чем вынуть теодолит из упаковочного ящика или металлического футляра, следует детально ознакомиться с укладкой и закреплением его в ящике. При переноске теодолита без ящика его необходимо держать за подставку и не допускать толчков и больших наклонов. Изучая теодолит по рисункам и описанию, следует найти положение каждой части прибора и испытать в действии. Установив теодолит на штатив или кронштейн, умеренно закрепляют его станковым винтом так, чтобы подъемные винты вращались без усилий. Вращение верхней части теодолита вокруг основной оси и зрительной трубы вокруг ее оси должно быть плавным, не тугим и без заеданий. Все закрепительные винты надо закреплять без излишних усилий. При поворотах верхней части теодолита следует брать руками за алидадную часть у места расположения закрепительного винта. Запрещается поворачивать верхнюю часть теодолита, взявшись рукой за трубу. Нельзя допускать прикосновения пальцев рук к оптическим деталям зрительной трубы и отсчетного микроскопа. Следует обратить внимание на исправность уровней, наводящих и закрепительных устройств.

Вращая верхнюю часть теодолита при открепленной алидаде, необходимо проследить за взаимным положением краев лимба и шкал микроскопов; они должны прилегать друг к другу. Аналогичный осмотр взаимного положения лимба и шкал вертикального круга производится плавным вращением трубы вокруг ее оси.

Изучение устройства теодолитов завершается описанием состояния прибора и действия его основных частей.

Пример. Осмотр полученного со склада теодолита Т15 № 11396 показал, что:

- 1) футляр прибора исправен и снабжен всеми необходимыми принадлежностями;

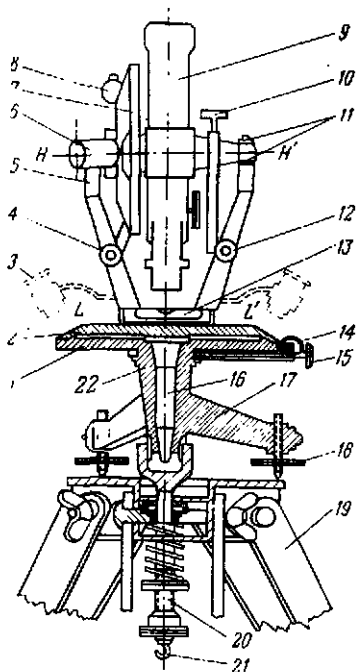


Рис. 19. Схема устройства теодолита

2) запасные части и принадлежности, уложенные в футляр, соответствуют их перечню;

3) ножки, головка, барашки, становой винт штатива исправны;

4) уровни имеют нормальную длину пузырька. Исправительные винты исправны;

5) подъемные винты установочного устройства имеют небольшое качание, винты закрепительных устройств, алидады, лимба, зрительной трубы надежно закрепляют эти узлы;

6) наводящие устройства обеспечивают плавное движение трубы, алидады и лимба; вращение алидады, лимба, зрительной трубы плавное;

7) лимбы чисты, их деления отчетливо видны, прилегание шкал к кругам нормальное;

8) оптические детали зрительной трубы просветлены, движение фокусирующего устройства трубы удовлетворительное, штрихи сетки нитей видны отчетливо;

9) буссоль исправна.

После устранения качания устройства подъемного винта теодолит принят для последующих его исследований и поверок.

Принял студент I курса Максимов И. М.

2. Изучение устройства технических теодолитов.

а) Общая схема прибора. У теодолита имеются основные взаимосвязанные части (рис. 19): горизонтальный круг 1, несущий круговую шкалу — лимб; алидада горизонтального круга 2 с осью 16, лупой для отсчетного устройства 3, цилиндрическим уровнем 13, наводящим 14 и закрепительным 15 винтами; колонка

5 с цапфами 11 для оси вращения 6 зрительной трубы 9, имеющей закрепительный 10 и наводящий 12 винты трубы; вертикальный круг 7 с установочным устройством и цилиндрическим уровнем 8 алидады вертикального круга; подставка 17 теодолита с подъемными винтами 18 и втулкой 22 для оси 16.

Перед измерением углов теодолит, укрепляемый на головке штатива 19 становым винтом 20, устанавливается при помощи подъемных винтов 18 и уровня 13 так, чтобы ось вращения алидады 16 или вертикальная ось теодолита, являющаяся основной осью прибора, заняла отвесное положение. Это действие называется горизонтированием теодолита. Одновременно перемещением подставки 17 теодолита по головке штатива центрируют основную ось теодолита над вершиной измеряемого угла. Для центрирования применяют нитяный отвес, прикрепляемый к крючку 21 станового винта. Теодолит Т30 позволяет выполнить центрирование при помощи зрительной трубы, установленной параллельно отвесной линии. Теодолит Т15 для этой цели снабжен оптическим центриром.

В соответствии с принципом измерения углов в теодолите должны быть удовлетворены следующие геометрические требования:

1) основная ось теодолита должна быть перпендикулярна к плоскости лимба горизонтального круга и совпадать с его центром;

2) визирная ось, проходящая через перекрестие основных штрихов сетки нитей и заднюю главную точку объектива зрительной трубы, должна быть перпендикулярна к оси  $NN'$  вращения трубы (см. рис. 19);

3) ось вращения  $NN'$  зрительной трубы или горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна к основной оси прибора и к плоскости вертикального круга; ось вращения  $NN'$  должна также совпадать с центром лимба вертикального круга;

4) ось цилиндрического уровня 13 должна быть перпендикулярна к основной оси прибора.

б) Оптический теодолит Т30 является повторительным. Внешний вид его представлен на рис. 20, а вертикальный разрез — на рис. 21 (на обоих рисунках нумерация единая).

Подставка 4 теодолита с тремя подъемными винтами 2 при помощи пластинчатой пружины 3 скреплена с кру-

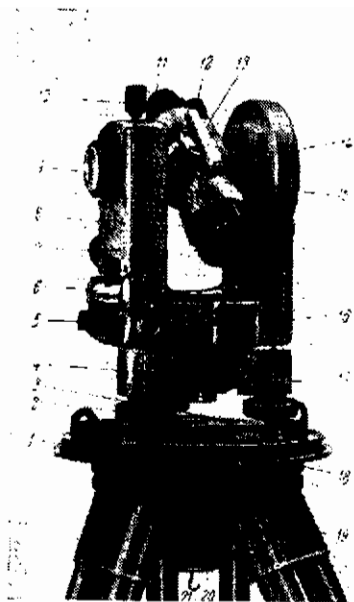


Рис. 20. Оптический теодолит Т30

глым основанием 1, являющимся дном упаковочного футляра. Этим основанием теодолит устанавливают на головку 18 штатива 19 и закрепляют станковым винтом 20, снабженным крючком 21 для подвешивания нитяного отвеса. При измерениях металлические ножки штатива зажимаются в шарнирах виштами, расположенными под головкой.

С подставкой жестко скреплена втулка 43 осевой цилиндрической повторительной системы, включающей; а) механическую ось лимба в виде баксы 45, с которой при помощи оправы 40 соединен стеклянный горизонтальный лимб 41, и б) по-

лую ось 46, связанную с алидадой 16. Закрепительные винты 17 лимба и 5 алидады обеспечивают как совместное, так и раздельное вращение этих частей теодолита, что позволяет измерять углы способами приемов и повторений. Наводящие винты 44 лимба и 48 алидады (см. рис. 30) предназначены для точного наведения трубы при измерениях.

Полая ось 46 алидады даст возможность использовать зрительную трубу для центрирования прибора над точкой. Так как в теодолите Т30 применена односторонняя отсчетная система, изготовление осей и центрирование лимба ведется с обязательным соблюдением условия, по которому ось вращения лимба и его центр делений должны точно совпадать с основной осью прибора.

На корпусе алидады 16 (см. рис. 21) установлен цилиндрический уровень 6, с помощью которого основная ось  $ZZ_1$  прибора подъемными винтами приводится в отвесное положение. Так как алидада вертикального круга не имеет уровня, то ось цилиндрического уровня располо-

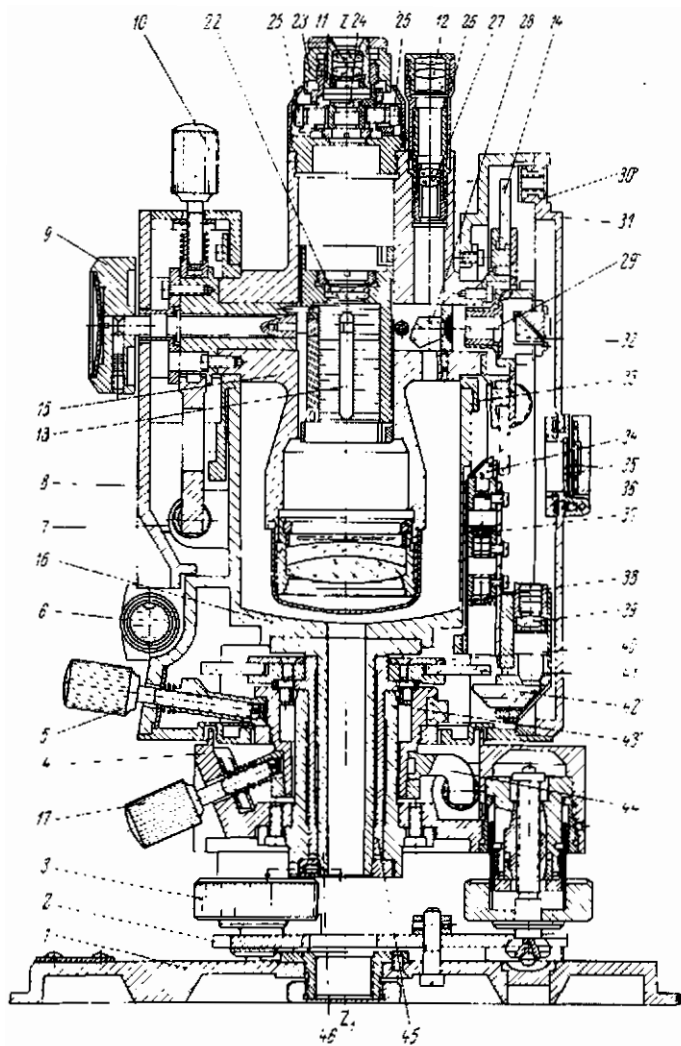


Рис. 21. Разрез теодолита Т30

жена параллельно коллимационной плоскости. Уровень снабжен исправительными винтами. Цена деления уровня равна 45". Внутри колонок 8 укреплены лагера-втулки 33, в которых вращается своими цапфами корпус 15 зрительной трубы. К корпусу трубы прикреплен вертикальный круг 14. Высота колонок обеспечивает свободный поворот трубы вокруг оси вращения. Вместе с трубой вращается вертикальный круг и отсчетный микроскоп 12. При ввинченном положении закрепительного винта 10 вращение зрительной трубы осуществляют наводящим винтом 7. Установка зрительной трубы по наблюдаемому предмету производится вращением головки 9 кремальеры, перемещающей фокусирующую систему линз 22. Установка сетки нитей трубы 24 по глазу наблюдателя осуществляется вращением диоптрийного кольца 23 окуляра 11. Как объектив, так и окуляр зрительной трубы закреплены в ее корпусе 15. Перемещения сетки нитей осуществляют при помощи юстировочных винтов 25, закрываемых защитным колпачком.

Одноканальная оптическая система (34, 37, 38, 42, 39, 32, 29, 28, 27, 12) для отсчитывания по горизонтальному 41 и вертикальному 14 кругам расположена в колонке в полой оси корпуса зрительной трубы. Устройство этой системы подробнее рассматривается в задании III.2.

На стеклянные лимбы горизонтального и вертикального кругов диаметром 70 мм нанесены 10' деления с цифровой каждого градуса. Основные детали и узлы теодолита защищены от попадания пыли и капель воды. Оптика просветленная. Для наблюдения целей, расположенных под углом наклона, большим 45°, применяются окулярные насадки зрительной трубы и отсчетного штрихового микроскопа. При установке на зрительной трубе цилиндрического уровня с ценой деления, равной 20", теодолит используется для производства геометрического нивелирования. Для измерения магнитных азимутов на боковой крышке 31 колонки теодолита в пазу 30 крепится съемная буссоль. Для изготовления деталей теодолита применены легкие и прочные алюминиевые сплавы. Зрительная труба имеет увеличение, равное 20<sup>x</sup>. Она снабжена двумя оптическими визирами (на рис. 20 и 21 виден один визир 13).

Масса теодолита 2 кг. В случае необходимости к теодолиту поставляется дальномерный комплект ДН-10 (см. задание IV.9).



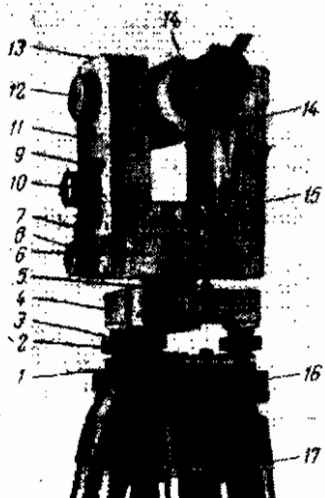


Рис. 22. Теодолит Т15 на штативе

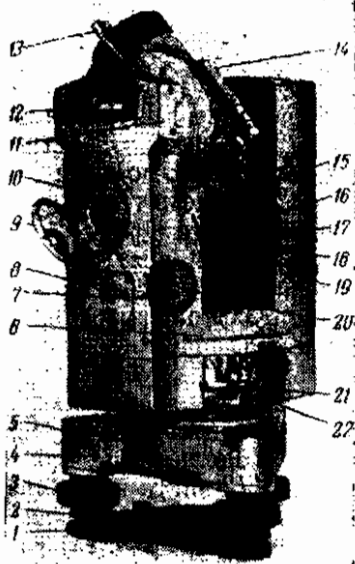


Рис. 23. Теодолит Т15

в) Оптический теодолит Т15. Внешний вид оптического теодолита Т15 представлен на рис. 22 и 23. Конструкция этого теодолита отличается простотой отсчетной системы, обеспечивающей повышение производительности труда геодезиста. Теодолит Т15 является повторительным.

В настоящее время на базе теодолита Т15 разработан и изготовлен теодолит Т15К, который за счет применения при вертикальном круге компенсатора углов наклона обеспечивает еще большую производительность труда за счет сокращения операции по установке перед каждым отсчетом пузырька уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункт.

Зрительная труба теодолита Т15К в отличие от зрительных труб других геодезических приборов дает прямое изображение предметов.

Металлическое основание 1 (см. рис. 22 и 23), скрепленное с пластинчатой пружиной 2, упруго соединяющей

через подъемные винты 3 корпус 4 с основанием, в целом образует нижнюю отделяемую часть теодолита — подставку. Для отделения вращающейся части теодолита от подставки необходимо опустить закрепительный винт 5. Основание, скрепленное с пластинчатой пружиной, имеет резьбовое отверстие для прикрепления подставки к штативу при помощи станového винта. Отделяемая от подставки часть теодолита имеет закрытую конструкцию, в корпусе 6 (см. рис. 22) которой закреплены устройства вертикальной повторительной осевой системы горизонтального круга и алидады, а также лагеры осевой системы зрительной трубы, оптические детали отсчетной системы и механические детали закрепительных и наводящих устройств. Следует заметить, что головки 7, 9 и 8, 10 закрепительных и наводящих устройств горизонтального круга и зрительной трубы выведены на крышку 11 колонки теодолита. На этой стороне колонки расположена головка 12 винта кремальеры, фокусирующей линзы зрительной трубы. На противоположной колонке размещены головка 7 (см. рис. 23) установочного устройства уровня алидады вертикального круга, крышка 8 над отверстием для регулировки деталей отсчетной системы, зеркало 9 для освещения отсчетной системы через световое отверстие 10. В верхней части этой колонки размещены иллюминатор 12 на уровне алидады вертикального круга, зеркало 13 для наблюдения за положением пузырька уровня, крышка 11, закрывающая отверстие для доступа к исправительным винтам при приведении места нуля к отсчету 0°. Зрительная труба теодолита переводится через зенит обоими концами. Для приближенной наводки на визирную цель труба снабжена двумя визирами 14 (см. рис. 22, 23). Окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа 17 (см. рис. 23) обеспечены диоптрийными кольцами 16 и 18, вращением которых устанавливают по глазу изображение сетки нитей зрительной трубы и отсчетных шкал микроскопа. Кроме того, окулярная часть зрительной трубы имеет колпачок 15, защищающий исправительные винты сетки нитей.

Цилиндрический уровень 20 алидады горизонтального круга расположен внутри корпуса 6 и закрыт стеклом. Установка его после проверок осуществляется юстировочным винтом 19. Скрепление горизонтального круга с алидадой для совместного их вращения осуществляется нажатием клавиши 21 повторительного устройства. На-

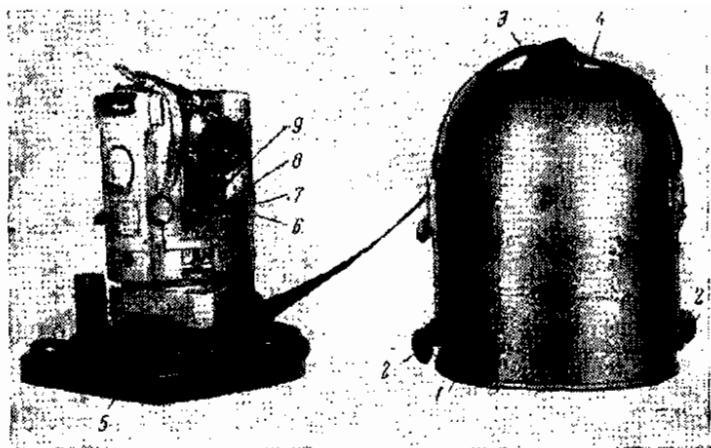


Рис. 24. Упаковка теодолита Т15

жатнем фиксатора 22 того же устройства достигается разъединение горизонтального круга и алидады, поэтому при дальнейшем вращении алидады лимб горизонтального круга сохраняет неподвижное положение. На верхнюю часть колонки 13 (см. рис. 22) может быть установлена буссоль, а на зрительную трубу (после снятия одного визира 14) — цилиндрический уровень. Наружный диаметр корпуса зрительной трубы позволяет со стороны объектива закрепить дальномерную насадку ДНР-5. На колонке (см. рис. 23) заметна крышка 8, закрывающая отверстие для доступа к оптическим и механическим деталям отсчетной системы. Теодолит Т15 (см. рис. 22) снабжен оптическим центриром, окуляр 15 которого закреплен в корпусе 6 теодолита, а объектив — в полый оси алидады горизонтального круга. На рис. 22 изображен теодолит, установленный на головке 16 штатива, к которому прикреплен становым винтом 17. Теодолит укладывается в металлическом футляре, состоящем из двух основных частей: колпака 1 и основания 5 (рис. 24), при этом их скрепление выполняется двумя рычажными замками 2. Для переноски упакованного в футляре теодолита в руке или за плечами имеются ремни 3, 4. Укрепление теодолита на основании 5 осуществляется рычажным пружинным захватом 6 путем введения штифта 7 в углуб-



Рис. 25. Открепление теодолита Т15

ление 8 пружины 9. Для открепления теодолита от основания необходимо заложить пальцы обеих рук (рис. 25) за рычаг и, нажав большими пальцами на пружину 9 (см. рис. 24), освободить рычаг из зацепления с пружиной.

г) Теодолиты ТТ-50 и ТТ-5.

Согласно ГОСТу 10529-79 «Теодолиты. Типы и основные параметры. Технические требования», теодолиты типа ТТ-50 и ТТ-5 не выпускаются производством, но они еще могут использоваться с дальномерными комплектами (см. задание IV.9), поэтому дается краткое описание этих теодолитов.

Теодолиты ТТ-50 (рис. 26) и ТТ-5 (рис. 27) относятся к типу 30-секундных повторительных теодолитов. Имеются также теодолиты модификации ТТ-5, ТП — теодолит проектировочный и ТН — теодолит-нивелир.

Теодолиты ТТ-50 и ТТ-5 имеют много сходных частей. В теодолите ТТ-5 для изготовления основных частей применены легкие, но высокопрочные алюминиевые сплавы. Поэтому при почти одинаковых габаритах ТТ-5 на 40 % легче теодолита ТТ-50.

Теодолит ТТ-50 (см. рис. 26) имеет подставку 3 с тремя подъемными винтами 2, опирающимися на металлическую пластину 1, с которой скреплена плоская пружина 28, имеющая втулку 27 с резьбой для станového винта. При опущенном станovém винте подставку теодолита можно перемещать по головке штатива в пределах имеющегося отверстия. Подставка имеет втулку, в которую вставляют цилиндрический корпус наружной втулки осевой системы теодолита и закрепляют его винтом 26. В корпус наружной втулки входит полая коническая ось лимба, а в последнюю — коническая ось алидады. Алидада и лимб имеют закрепительные 5, 25 и наводящие 4, 24 винты, которыми регулируется совместное и раздельное вращение этих частей теодолита. Лимб и алидада горизонтального и вертикального кругов закрыты кожухами 6 и 13, в каждом из которых имеются по два окна 7, 15 с иллюминаторами 8, 16 и лупами 9, 14 для отсчитывания по кругам при помощи двух верньеров, закрепленных на алидадных кругах. Деления лимбов обоих кругов теодолита ТТ-50 нанесены через 20' и оцифрованы через 10° по ходу часовой стрелки. Лимбы кругов теодолита ТТ-5 разделены через

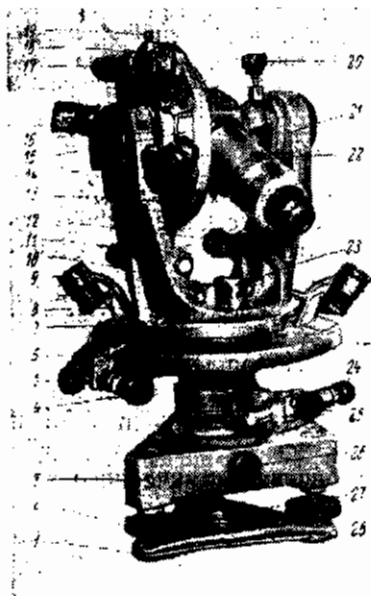


Рис. 26. Теодолит ТТ-50

Рис. 27. Теодолит ТТ-5

10' и оцифрованы через 5°. На алидадном круге теодолитов укреплены цилиндрические уровни 23 и колонки-подставки 10 с лагерами-втулками для оси вращения зрительной трубы 21. Зрительная труба теодолита ТТ-50 переводится через зенит только окулярным концом. Внутренняя фокусировка трубы осуществляется при помощи кольца кремальеры 22. С осью вращения зрительной трубы прочно скреплен лимб вертикального круга. В кожухе алидады вертикального круга имеется посадочное место для крепления цилиндрического уровня 17, пузырек которого приводится на середину наводящим винтом 11. Уровень снабжен исправительными винтами 18. После приближенного наведения зрительной трубы на цель ее ось вращения закрепляют винтом 20; точную наводку трубы на цель в вертикальной плоскости осуществляют наводящим винтом 12. Буссоль к теодолиту ТТ-50 крепится на кожухе вертикального круга при помощи держателя с отверстием, в которое входит штифт 19 с шаровой головкой (см. рис. 26).

Так как теодолит ТТ-5 принципиально не отличается от теодолита ТТ-50, то на рис. 27 приведен только его внешний вид.

Главное отличие теодолита ТТП от основной модели ТТ-5 состоит в том, что ось вращения зрительной трубы снабжена юстировочными винтами для регулировки своего наклона и накладным уровнем. При помощи накладного уровня ось вращения зрительной трубы устанавливается в горизонтальном положении более точно, чем в теодолите ТТ-5.

Теодолит-нивелир ТН в отличие от теодолита ТТ-5 имеет на зрительной трубе постоянно установленный уровень с ценой деления  $\tau=20''$ , а зрительная труба более надежно скрепляется со своей подставкой. Поэтому теодолит ТН применяется при геометрическом нивелировании.

### Задание III.2

#### Отсчетные устройства технических теодолитов

I. Задача: изучить виды отсчетных устройств теодолитов ТТ-50, ТТ-5, Т30 и Т15, усвоить производство отсчетов по кругам технических теодолитов.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII.

*Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 19.

III. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение отсчетных устройств теодолитов ТТ-50 и ТТ-5;
- 2) изучение отсчетного устройства технического теодолита Т30;
- 3) изучение отсчетного устройства технического теодолита Т15.

IV. Указания по выполнению задания.

1. *Изучение отсчетных устройств теодолитов ТТ-50 и ТТ-5.* Отсчет по каждому из кругов в теодолитах ТТ-50 и ТТ-5 производится по двум прямым верньерам, шкалы которых вместе с делениями лимбов рассматриваются при помощи луп 9 и 14 (см. рис. 26). У теодолита ТТ-50 эти лупы можно перемещать в пределах шкалы верньера, а у теодолита ТТ-5, шкалы верньеров которого короче подобных шкал теодолита ТТ-50, лупы жестко скреплены с корпусом алидады. Для отсчитывания по верньеру при помощи лупы последнюю необходимо установить по глазу (отфокусировать) так, чтобы совпадающие штрихи шкал были отчетливо видны. Подвижную лупу следует передвинуть в положение, при котором совпадающие штрихи располагаются в середине ее поля зрения. При отсчитывании шкалы верньера и лимба должны быть равномерно освещены. Нулевые штрихи (или указатели) обоих верньеров устанавливаются на одном диаметре круга.

Характеристикой верньера является его точность  $t$ , представляющая собой разность между ценой деления  $\lambda$  лимба и ценой деления  $\mu_1$  верньера. Она вычисляется по формуле

$$t = \lambda - \mu_1 = \lambda / (n + 1). \quad (III.1)$$

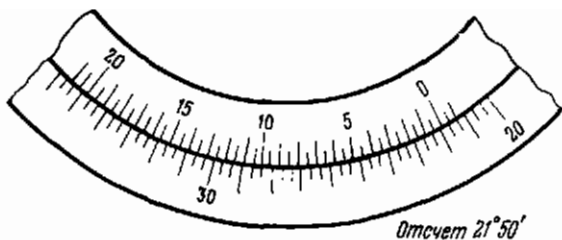


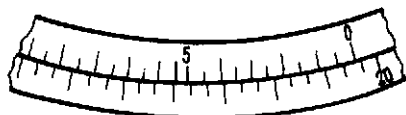
Рис. 28. Верньер теодолита ТТ-50

где  $n+1$  — число делений на верньере между крайними оцифрованными штрихами.

У теодолита ТТ-50, шкалы лимба и верньера которого схематически представлены на рис. 28, точность верньера найдем следующим путем. По шкале лимба определим, что цена его деления равна  $\lambda = 20'$ , а число делений на шкале верньера равно 40. Поэтому, применяя формулу (III.1), найдем, что точность верньера равна  $30''$ .

У теодолита ТТ-5 цена деления лимба равна  $10'$ , а число делений на шкале верньера равно 20, откуда по той же формуле (III.1) найдем, что точность верньера также равна  $30''$ . Точность верньера определяет величину предельной ошибки отсчитывания.

Отсчеты при помощи верньера производят в следующем порядке. Рассматривая деления верньера и лимба, замечают, что нулевой штрих верньера (указатель верньера) (см. рис. 28) занимает положение, соответствующее отсчету  $21^{\circ}40'$  и некоторой доле интервала между штрихами  $21^{\circ}40'$  и  $22^{\circ}00'$ . Эту долю деления определяют при помощи шкалы верньера. Для этой цели рассматривают штрихи шкалы верньера и определяют тот ее штрих, который наиболее точно совпадает со штрихом лимба. Таким штрихом в данном примере является двадцатый, подписанный цифрой 10. Поэтому величина указанной доли интервала равна  $30'' \times 20 = 600'' = 10'$ . Чтобы каждый раз такой расчет не производить, оцифровка шкалы верньера выполнена в минутах. Поэтому значение совпадающего штриха верньера является величиной доли деления, равной  $10'$ . Полный отсчет по лимбу равен  $21^{\circ}40' + 10' = 21^{\circ}50'$ . При определении на верньере номера штриха, совпадающего со штрихом лимба, полезно



$$\begin{array}{r} 20^{\circ} 25,5' \\ 20^{\circ} 26,0' \\ \hline 20^{\circ} 25,8' \end{array}$$

Рис. 29. Отсчет по верньеру

уточнить оценку этого совпадения по положению смежных штрихов. Симметричное расположение смежных штрихов (см. рис. 28) верньера и лимба относительно совпадающего штриха укажет на правильность установленного совпадения штрихов. В случае, если ни один из штрихов шкалы верньера не совпадает со штрихом лимба, то за отсчет принимают среднее арифметическое из двух отсчетов, выполненных по двум штрихам, расположенным наиболее близко (и симметрично) к штрихам лимба (рис. 29).

При изучении отсчетного устройства теодолитов ТТ-50 и ТТ-5 следует: 1) определить точность верньеров горизонтального и вертикального кругов полученного экземпляра прибора, делая в рабочей тетради зарисовку всей шкалы верньера и соответствующей части лимба; 2) сделать отсчеты по обоим верньерам горизонтального круга на различных частях его, иллюстрируя их зарисовки в рабочей тетради, подобными рис. 29.

2. Изучение отсчетного устройства технического теодолита Т30. Отсчетное устройство теодолита Т30 представляет собой одноканальную оптическую систему, позволяющую произвести односторонние отсчеты по обоим кругам, изображения которых видны в поле зрения штрихового микроскопа 12 (рис. 30). Нумерация позиций рис. 30 общая с рис. 20 и 21. Освещение лимбов 14 и 41 производится при помощи откидного зеркала 36, поворотами которого направляют лучи света на защитное стекло 35, являющееся началом светового канала. Затем световые лучи проходят через стеклянный диск 14 вертикального круга и призмой 34 направляются на объективы 37, 38 и на стеклянный диск 41 горизонтального круга. После прохождения через призму 42 лучи смещаются и направляются на объектив 39 и на призму 32. Отразившись от гипотенузной грани призмы 32, лучи проходят через плосковыпуклую линзу 29, пентапризму 28 и объектив 27. Система линз 37, 38, 29, 27 и призм 34, 42, 32, 28 в плоскости изображений позволяет постро-



ить изображения штрихов делений вертикального круга 14, горизонтального круга 41 и индекса (штриха), нанесенного на плоскости линзы 29. Эти изображения рассматривают при помощи окуляра 12 микроскопа, установка которого по глазу наблюдателя производится вращением кольца 26 (см. рис. 21).

В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 31) видны: оцифрованные штрихи целых градусов, штрихи десятиминутных интервалов, штрихи отсчетного индекса и обозначения вертикального В и горизонтального Г кругов. Отсчет по горизонтальному кругу равен  $70^{\circ}05'$ , а по вертикальному  $358^{\circ}48'$ . Десятые доли наименьшего деления кругов, равные в приведенных отсчетах 0,5 и 0,8 деления, оцениваются на глаз с наибольшей ошибкой, равной 0,1 деления, что соответствует  $1'$ .

При изучении отсчетного устройства теодолита Т30 следует внимательно рассмотреть рис. 21 и 30 и воспроизвести в рабочей тетради схему, приведенную на стр. 118 книги М. А. Гиршберга. После этого осветить при помощи откидного зеркала 36 (см. рис. 21) поле зрения отсчетного микроскопа и отфокусировать его так, чтобы четко стали видны штрихи и оцифровка лимба. Затем произвести отсчеты по обоим кругам и сделать в рабочей тетради зарисовку поля зрения отсчетного микроскопа по образцу рис. 31.

3. Изучение отсчетного устройства технического теодолита Т15. Отсчетная система теодолита Т15 конструктивно повторяет одностороннюю отсчетную, одноканальную систему теодолита Т30. Лучи света от зеркала 1 через иллюминатор 2 (рис. 32, а) попадают на лимб вер-

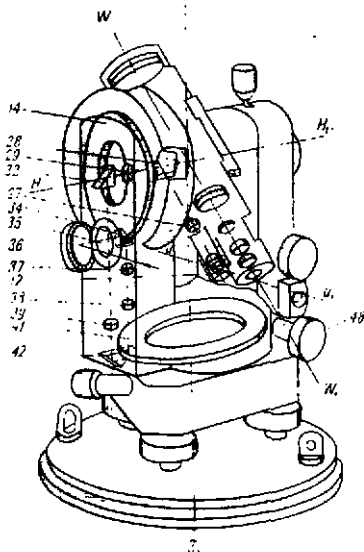


Рис. 30. Оптические системы отсчетного устройства и зрительной трубы теодолита Т30

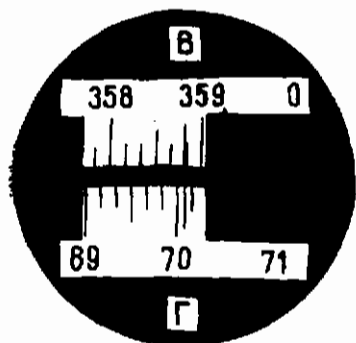


Рис. 31. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30

ставлены линзами, куда лучи света направляются призмой 13.

Оптическая схема зрительной трубы состоит из трехлинзового объектива 16, фокусирующей линзы 17, склеенной из двух линз, сетки нитей 18 и окуляра 19.

В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 32, б) видны изображения оцифрованных штрихов обоих лимбов и изображения штрихов отсчетных шкал микроскопа. В верхнем окне поля зрения микроскопа, обозначенном буквой В, видны деления вертикального круга, а в нижнем окне, обозначенном буквой Г, деления горизонтального круга.

Отсчетные шкалы имеют по 60 минутных оцифрованных интервалов и по два дополнительных. Это позволяет производить отсчеты по шкалам с ошибкой, примерно равной  $0,1'$ . На рис. 32, б отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам соответственно равны  $174^{\circ}55,0'$  и  $2^{\circ}05,2'$ .

В моделях Т15К отсчитывание по вертикальному кругу видоизменено. Изучающие отсчетные устройства теодолита Т15 воспроизводят в рабочей тетради: оптическую схему (см. рис. 32, а), поле зрения отсчетного микроскопа (см. рис. 32, б) и записывают отсчеты по обоим кругам.

Техническая характеристика отсчетной системы: увеличение микроскопа  $72\times$ , диаметры горизонтального и вертикального лимбов 76 и 72 мм.

тикального круга 3, штрихи которого призмой 4 и линзами 5, 6 объектива проецируются на плоскость лимба горизонтального круга 7. Далее изображения штрихов обоих лимбов призмой 8, линзами 9, 10 и призмой 11 проецируются на плоскость коллектива 12, где нанесены шкалы и диафрагма. Наблюдают их при помощи микроскопа, объектив 14 и окуляр 15 которого пред-

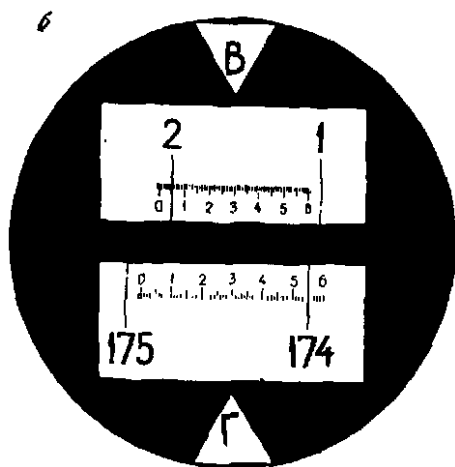
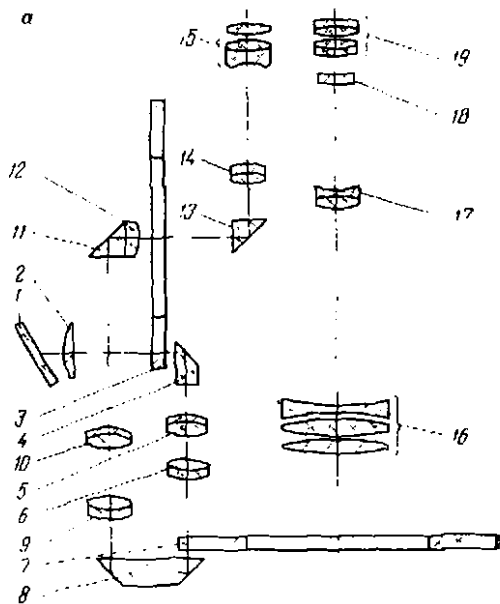


Рис. 32. Отсчетные устройства теодолита Т15:  
 а — оптическая схема; б — поле зрения отсчетного  
 микроскопа

**Устройство зрительной трубы технического теодолита и ее исследование**

I. Задача: изучить устройство и применение зрительной трубы технического теодолита.

II. Литература: 1) *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII.

2) *Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 21.

III. Последовательность выполнения задания:

1) изучение устройства зрительных труб теодолитов Т30 и Т15;

2) установка зрительной трубы для наблюдения;

3) наведение зрительной трубы на предмет;

4) исследование зрительной трубы технического теодолита:

а) исследование оптических качеств трубы;

б) определение увеличения трубы;

в) определение угла поля зрения трубы.

IV. Указания по выполнению задания.

1. *Изучение устройства зрительных труб теодолитов Т30 и Т15.* Зрительная труба теодолита Т30 представляет собой телескопическую систему с внутренним фокусированием. Труба состоит из объектива, фокусирующей линзы, сетки нитей и окуляра. Устройство зрительной трубы технического теодолита показано на рис. 21. Сложный объектив ее составлен из двух линз — положительной и отрицательной, собранных в общей оправе, закрепляемой в металлическом корпусе 15 трубы. Фокусирующая линза 22 также состоит из двух линз, установленных в общей оправе, перемещаемой внутри трубы при помощи зубчатой рейки, трубки и головки установочного приспособления 9, вращаемого по мере необходимости наблюдателем. Сетка нитей, нанесенная на стеклянной пластинке 24, установленной в оправе, закреплена при помощи четырех юстировочных винтов 25. Сетку нитей и изображение на ней наблюдаемого предмета рассматривают при помощи окуляра 11, продольное перемещение линз которого осуществляется при помощи диоптрийного кольца 23. Исправительные винты 25 сетки нитей закрыты защитным колпачком. Объектив трубы в нерабочем положении закрывают защитным колпачком.

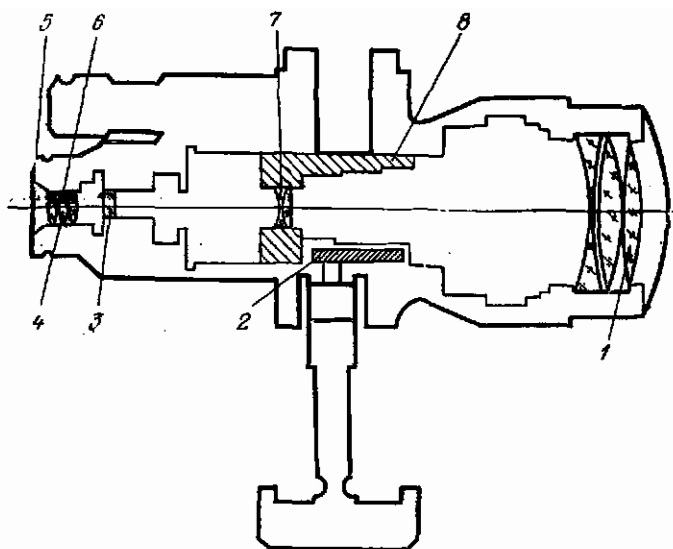


Рис. 33. Зрительная труба теодолита Т15

Зрительная труба теодолита Т30 имеет следующие основные параметры:

увеличение — $20\times$	
диаметр входного отверстия объектива, мм . . . . .	29
длина зрительной трубы, мм . . . . .	137
фокусное расстояние объектива, мм . . . . .	150

Длина зрительной трубы теодолита Т30 меньше эквивалентного фокусного расстояния ее объектива. Это обусловлено применением в зрительной трубе телескопического объектива, составленного из положительной системы двух линз, заключенных в общую оправу, и отрицательной фокусирующей системы двух линз 22.

Телескопический объектив зрительной трубы дает действительное, обратное и уменьшенное изображение наблюдаемого предмета, которое можно получить в плоскости сетки нитей. Окуляр 11 (см. рис. 21), как и лупа, дает мнимое увеличенное и прямое изображение предмета. Оптическая схема зрительной трубы теодолита Т15 включает трехлинзовый несклеенный объектив 1 (рис. 33) и 16

(см. рис. 32, а); двухкомпонентную склеенную фокусирующую линзу 7 (см. рис. 33) и 17 (см. рис. 32, а); плоскопараллельную пластинку с сеткой нитей 3 (см. рис. 33) и 18 (см. рис. 32, а) и четырехлинзовый симметричный окуляр 4 (см. рис. 33) и 19 (см. рис. 32, а). Линзовые компоненты строго центрированы и помещены в литом корпусе в зрительной трубе. Перемещение оправы 8 фокусирующей линзы осуществляется при помощи зубчатой рейки и шестеренки, вращаемой осью 2, кремальера 12 (см. рис. 22) которой вынесена за колонку теодолита. Исправительные винты сетки нитей так же, как и в трубе теодолита Т30 защищены колпачком 6. Колпачком защищается и объектив зрительной трубы. Приближенная наводка зрительной трубы на визирную цель производится при помощи одного из двух оптических визиров, укрепляемых на обеих сторонах корпуса трубы. Установка окуляра по глазу наблюдателя выполняется вращением диоптрийного кольца 5. Зрительная труба теодолита Т15 имеет увеличение  $25\times$ , диаметр выходного зрачка 1,4 мм. Пределы фокусирования от 1,2 м до  $\infty$ .

2. *Установка зрительной трубы для наблюдений.* Для точного наведения зрительной трубы на предметы при измерении углов необходимо выполнить такие перемещения фокусирующей линзы 22 и окуляра 11 (см. рис. 23), при которых наблюдатель отчетливо видит сетку нитей и изображение предмета. Чтобы отчетливо видеть сетку нитей, направляют зрительную трубу на освещенный светлый предмет (небо, стена, лист бумаги и т. п.), затем, вращая диоптрийное кольцо 23, замечают и выбирают наиболее отчетливое и ясное изображение сетки нитей. Эта установка трубы «по глазу» данного наблюдателя делается один раз на все время наблюдения. Для нормального глаза эта установка соответствует совпадению плоскости сетки нитей с передним фокусом окуляра. Для близорукого или дальнозоркого глаза окуляр может перемещаться в пределах  $\pm 5$  диоптрий.

После установки зрительной трубы по глазу наводят трубу на наблюдаемый предмет и, вращая головку 9 кремальеры (см. рис. 21), перемещают фокусирующую линзу 22 внутри корпуса трубы до появления в поле зрения отчетливого изображения предмета. Эта установка трубы «по предмету» соответствует совмещению изображения предмета, построенного телеобъективом, с плоскостью сетки нитей. Для разноудаленных предметов тре-

буется изменять фокусировку трубы. При недостаточно тщательной установке зрительной трубы по предмету возникает так называемый параллакс сетки нитей, проявляющийся в кажущемся смещении изображения предмета относительно сетки нитей при перемещениях глаза наблюдателя относительно окуляра. Устраняется параллакс повторной тщательной установкой зрительной трубы по предмету.

3. *Наведение зрительной трубы на предмет.* Приближенное наведение зрительной трубы на предмет выполняется вращением трубы и алидады, закрепительные винты которых предварительно отпускаются, а необходимое направление определяется наблюдателем либо глазом поверх трубы, либо при помощи оптического визира, в поле зрения которого видно светлое перекрестие и перекрестие, совмещаемое с изображением предмета. После появления изображения предмета в поле зрения трубы вращение замедляют и прекращают его при приближении центра сетки нитей к изображению предмета. Затянув закрепительные винты трубы и алидады, проверяют установку трубы по предмету и, вращая наводящие винты на ввинчивание, точно совмещают перекрестие сетки нитей с изображением предмета. Наведя трубу на предмет, вращением головки кремальеры фокусирующей линзы устанавливают наилучшую видимость предмета. Перемещая глаз перед окуляром и не обнаруживая параллакса сетки нитей, убеждаются в правильности выполненной установки трубы по предмету. После этого, действуя наводящими винтами трубы и алидады, точно совмещают перекрестие сетки нитей с изображением наблюдаемой точки предмета.

4. *Исследование зрительной трубы технического теодолита.*

а) Исследование оптических качеств трубы. Зрительные трубы технических теодолитов должны давать четкие, достаточно яркие, неокрашенные и подобные рассматриваемому предмету изображения. Целью исследования зрительной трубы является определение ее оптических качеств и технических характеристик. Полные исследования зрительной трубы и ее компонентов выполняют в специальных оптических лабораториях. В полевых условиях выполняют упрощенные исследования. Качество изображений, даваемых зрительной трубой, можно оценить при рассмотрении этой

трубой различных правильных геометрических фигур (треугольник, квадрат, круг, прямоугольник), вычерченных на белом листе бумаги и залитых тушью. Если изображения фигур будут подобными, отчетливыми, окрашенными в черный цвет и лишь по краям изображений будет заметен легкий голубовато-фиолетовый оттенок, то это укажет на отсутствие хроматической и сферической аберраций.

Качество оптики зрительной трубы может быть оценено и путем наведения на звезды. При хорошем изготовлении и надлежащей сборке оптики зрительной трубы изображение звезды будет иметь вид правильного светлого кружка (или точки), а при изменении фокусировки трубы расплывающееся изображение звезды увеличивается в диаметре, но положение центра и форма кружка сохраняются. Если имеется зрительная труба хорошего качества, то полезно сравнить с ней исследуемую трубу полученного технического теодолита. Для этой цели устанавливают рядом эти две трубы и последовательно рассматривают ими одни и те же предметы, сравнивая при этом яркость и четкость изображений наблюдаемых обими трубами предметов.

б) Определение увеличения трубы. Важной характеристикой каждой зрительной трубы является ее видимое увеличение, равное

$$\Gamma = \alpha/\beta, \quad (\text{III.2})$$

где  $\alpha$  — угол, под которым видно изображение предмета в зрительной трубе;  $\beta$  — угол, под которым виден тот же предмет невооруженным глазом.

В зрительной трубе видимое увеличение равно

$$\Gamma = f_{\text{об}}/f_{\text{ок}} \quad (\text{III.3})$$

или

$$\Gamma = D/D'. \quad (\text{III.4})$$

В этих выражениях  $f_{\text{об}}$  — фокусное расстояние эквивалентной линзы объектива;  $f_{\text{ок}}$  — фокусное расстояние окуляра;  $D$  — диаметр входного отверстия объектива и  $D'$  — диаметр выходного зрачка трубы.

Согласно техническим требованиям стандарта, для оптического теодолита Т30 видимое угловое увеличение зрительной трубы должно быть не менее  $18\times$ , а увеличение трубы теодолита Т15— $25\times$ .

Для определения видимого увеличения трубы находят отношение  $\alpha/\beta$  при помощи шашечной рейки, а отно-



шение  $D/D'$  — измерением диаметров:  $D$  — входного отверстия объектива и  $D'$  — выходного зрачка трубы. В первом случае устанавливают рейку в 15—20 м от теодолита и смотрят на нее одновременно одним глазом непосредственно, а вторым — через трубу. Такое наблюдение рейки позволяет определить, сколько делений, видимых невооруженным глазом, соответствует изображению одного деления той же рейки, видимого в зрительной трубе. Для контроля такое определение повторяют. При втором определении целесообразно сравнить число делений рейки, которому соответствует группа из 3 или 5 делений, видимых через зрительную трубу. Для большей надежности это определение выполняют и в третий раз.

Результаты наблюдений записывают в таблицу (табл. 11).

Таблица 11

Номер определения	Число делений рейки, наблюдаемых		Увеличение $\Gamma = n_1/n_2$
	через трубу $n_1$	без трубы $n_2$	
1	1	24	24
2	3	76	25
3	5	123	25
			Среднее 25*

Если для определения увеличения трубы используют отношение  $D/D'$ , то в этом случае измеряют внутренний диаметр  $D$  оправы объектива и диаметр зрачка  $D'$  выхода. Внутренний диаметр оправы объектива измеряют при помощи масштабной линейки с точностью до 0,2 мм. Диаметр выходного зрачка измеряют при помощи циркуля и линейки или диаметра: трубу фокусируют на бесконечно удаленный предмет, а затем, направив ее объективом в сторону светлого фона, за окуляром устанавливают экран из кальки или из папиросной бумаги, на котором перемещением окуляра получают отчетливое изображение светового отверстия (объектива в виде светлого кружка). Измерив несколько (2—3) раз диаметр  $D'$  этого кружка, циркулем по поперечному масштабу определяют значение  $D'$ . Удобнее измерять диа-

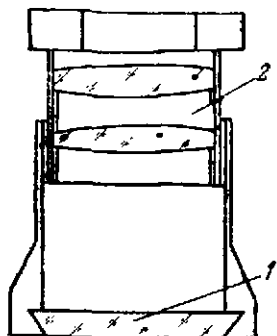


Рис. 34. Измерительная лупа

метр выходного зрачка при помощи диаметра, представляющего собой (рис. 34) лупу 2 со шкалой 1, цена деления которой равна 0,1 мм. Установив лупу так, чтобы деления шкалы были отчетливо видны, прикладывают ее к окуляру и перемещают вдоль первой внутренней трубки лупы до появления в плоскости шкалы изображения светлого кружка — выходного зрачка. Диаметр этого зрачка измеряют при помощи шкалы, при этом отсчеты по шкале производят с округлением до 0,02 мм. Результаты измерений диаметров выходного и входного

зрачков записывают в таблицу, в которой производят и вычисление увеличения зрительной трубы (табл. 12).

Таблица 12

Наблюдение	Диаметры зрачков		Увеличение $\Gamma = D/D'$
	входного $D$ , мм	выходного $D'$ , мм	
1	36,0	1,50	24,0
2	36,0	1,46	24,7
3	35,0	1,44	24,8
			Среднее 24,5*

в) Определение угла поля зрения трубы. Угол  $2W$ , характеризующий поле зрения трубы, определяют либо непосредственным измерением, либо с помощью рейки.

1. Для непосредственного измерения угла  $2W$  поля зрения трубы теодолита наводят сначала правый, а затем левый край поля зрения на какую-либо точку или на вежу, производят при этих наведениях отсчеты по горизонтальному кругу. Разность отсчетов представляет собой значение угла  $2W$ . Например, при наведении правого края поля зрения отсчет по горизонтальному кругу оказался равным  $n_{\text{пр}} = 211^{\circ}43'$ , а при наведении левого,

равным  $n_2 = 210^\circ 13'$ . В этом случае  $2W = n_{пр} - n_2 = 211^\circ 43' - 210^\circ 13' = 1^\circ 30'$ .

2. Определяя угол  $2W$  с помощью рейки, наводят трубу на рейку, установленную на расстоянии  $S$  от теодолита, которое измерено, считают число делений  $n$ , изображения которых видны в пределах всего поля зрения трубы. Угол  $2W$  вычисляют по формуле

$$2W = 57,3^\circ (n/S). \quad (III.5)$$

Пример определения угла  $2W$  по рейке приведен в табл. 13.

Таблица 13

Наблюдение	Число делений рейки $n$ , видимых в поле зрения, см	Расстояние до рейки $S$ , см	$2W = 57,3^\circ (n/S)$
1	53	2000	1,5°
2	79	3000	1,5

Выполнение задания сопровождается ведением рабочей тетради, в которой должно содержаться: 1) составленный самостоятельно эскиз устройства зрительной трубы технического теодолита; 2) зарисовка поля зрения трубы при наведении ее на цель с указанием положения сетки нитей и изображения цели; 3) описание результатов исследования оптических качеств трубы; 4) числовые данные, полученные при определении увеличения и угла поля зрения трубы: они оформляются по образцу табл. 11—13.

### Задание III.4

#### Исследования и поверки технических теодолитов

I. Задача: изучить условия, которым должен удовлетворять теодолит, их влияние на результаты измерения горизонтального угла, произвести поверки и юстировку теодолита.

II. Литература: Гиршберг М. А. Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII.

Баканова В. В. Геодезия, М. Недра, 1980, § 23, 24.

III. Последовательность выполнения задания:

I) изучение основных условий, которым должен удовлетворять технический теодолит;

2) приближенное исследование правильности делений лимба, верньера и шкалы микроскопа;

3) исследование эксцентриситета алидады технических теодолитов: а) ТТ-50 и ТТ-5, б) ТЗ0;

4) проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга к основной оси теодолита;

5) проверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы;

6) проверка перпендикулярности оси вращения трубы к основной оси теодолита;

7) проверка положения сетки нитей.

IV. Указания по выполнению задания.

1. *Изучение основных условий, которым должен удовлетворять технический теодолит.* Изучая устройство технического теодолита, можно заметить, что это сложный оптико-механический прибор. О некоторых механико-технологических и геометрических условиях, которым должен удовлетворять теодолит, говорилось в задании III.1.

Основными механико-технологическими условиями при изготовлении теодолита являются: свободное, плавное и правильное перемещение всех подвижных частей прибора; жесткость и прочность конструкции, обеспечивающей постоянство взаимного расположения его рабочих частей; надежность и устойчивость прибора при полевой эксплуатации; герметичность конструкции; обеспечение заданных габаритов и массы инструмента при соблюдении его форм и удобств в расположении рабочих частей; обеспечение заданных параметров оптических систем теодолита (зрительной трубы, счетной системы); точное и тонкое разделение и нанесение штрихов лимбов, шкал, индексов, сеток нитей; высокоточное изготовление и сборка осевых систем; высококачественное изготовление уровней, применение просветленной оптики.

Геометрические условия, которым должно удовлетворять взаимное расположение частей теодолита, вытекают из того, что для непосредственного измерения теодолитом горизонтального угла плоскость делений лимба должна быть горизонтальной, коллимационная плоскость зрительной трубы — вертикальной, а центр лимба должен быть установлен на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла. Геометрическими условиями, которым должен отвечать теодолит, являются:

1) основная ось  $ZZ_1$  теодолита должна проходить через центр круга делений лимба (рис. 35), т. е. должен отсутствовать эксцентриситет алидады;

2) ось цилиндрического уровня  $UU_1$ , алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к основной оси теодолита;

3) плоскость делений лимба должна быть перпендикулярна к основной оси теодолита;

4) визирная ось  $WW_1$  должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы  $HH_1$ ;

5) ось вращения  $HH_1$  зрительной трубы должна быть перпендикулярна к основной оси теодолита  $ZZ_1$ ;

6) вертикальная нить сетки нитей должна находиться в коллимационной плоскости трубы.

Дополнительные геометрические условия вытекают из теории измерения вертикальных углов.

Для выяснения соответствия теодолита заданным условиям выполняют его исследования в лабораторных и полевых условиях. В отношении геометрических условий производят поверку каждого из них. Нарушение условий 2—6 может быть устранено с помощью соответствующих исправительных винтов.

2. *Приближенное исследование правильности делений лимба, верньера и шкалы микроскопа.* Длина дуги верньера, представленного на рис. 28, между конечными оцифрованными штрихами 0 и  $20^\circ$  равна:

$$\lambda n = 20' \cdot 39 = 19' 30'' \cdot 40 = 780'' = 13^\circ.$$

$$\lambda n = \lambda_1 (n + 1). \quad (\text{III. 6})$$

Здесь  $\lambda$  — цена деления лимба, равная  $20'$ ;  $\lambda_1$  — цена деления верньера, равная  $20' (39/40) = 19' 30''$ ;  $n$  — число делений лимба, соответствующее длине дуги верньера.

Совместив нулевой штрих верньера с каким-либо штрихом лимба, замечают совпадение последнего штри-

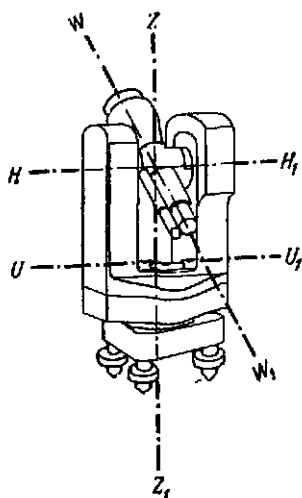


Рис. 35. Схема расположения осей в теодолите

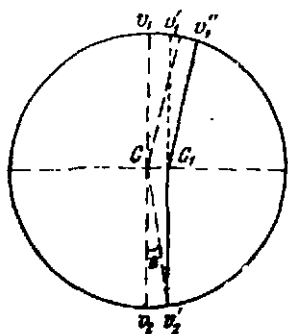


Рис. 36. Влияние эксцентриситета алидады на отсчет по лимбу

ха верньера со штрихом лимба, отстоящим на  $13^\circ$ . Выполняя подобные наблюдения при последовательных совмещениях нулевого штриха верньера со штрихами  $0, 90, 180, 270^\circ$  лимба, можно обнаружить несовпадение, превышающее  $\pm 10''$ , если штрихи верньера хорошо прилегают к плоскости лимба. Одинаковое несовпадение последнего штриха верньера при всех совмещениях индекса со штрихами  $0, 90, 180, 270^\circ$  лимба укажет на ошибку в длине дуги верньера, называемую реном.

Рен отсчетной системы теодолита Т15 определяют на установках горизонтального круга  $\varphi$ , соответствующих  $0, 60, 120, 180, 240, 300^\circ$  в прямом ходе и на установках  $30, 90, 150, 210, 270, 330^\circ$  в обратном ходе. Приближенные определения рена шкалы микроскопа теодолита Т15 выполняют путем точного совмещения нулевого штриха шкалы с одним из указанных штрихов лимба ( $0, 60^\circ, \dots$ ) и производства точного отсчета  $a_i'$  по шкале микроскопа штрихом ( $1^\circ$ ). Для каждой установки лимба вычисляют разность  $60' - a_i'$  и находят среднее значение из этих разностей. Это и будет среднее значение рена горизонтального круга. Более точные исследования ошибок делений лимбов теодолитов с верньерами и теодолитов Т15 и Т30 требуют иных, более совершенных методов, не рассматриваемых в настоящем пособии.

**3. Исследование эксцентриситета алидады технических теодолитов (геометрическое условие 1).**

а) Теодолиты ТТ-50 и ТТ-5. Центр круга делений лимба должен совпадать с основной осью теодолита. Если это условие не выполнено, алидада имеет эксцентриситет. Пусть  $C$  — центр круга делений лимба, а через точку  $C_1$  проходит основная ось теодолита (рис. 36). Наличие эксцентриситета  $CC_1 = e$  вызывает в отсчете, произведенном по лимбу одним отсчетным устройством, ошибку  $e$ , наибольшее значение которой будет для случая, когда  $CC_1 \perp v_1 v_2$ .

Рассмотрим порядок определения влияния эксцентриситета алидады на отсчеты по лимбу при наличии двух верньеров, расположение которых может быть либо на прямой  $v'_1, v'_2$ , либо на ломаной линии  $v'_1 C_1 v'_2$ , проходящей через основную ось в точке  $C_1$ . Если два отсчетных устройства расположены на линии  $v'_1, v'_2$ , то разность отсчетов, сделанных по второму и первому верньерам, равна

$$n_2 - n_1 = 180^\circ - 2\varepsilon. \quad (III.7)$$

Для выявления влияния эксцентриситета алидады на отсчет по лимбу производят отсчеты по двум верньерам

Таблица 14

Установка первого верньера	Отсчеты по верньерам		Разность отсчетов II-I ±180°
	I	II	
0°	00° 30'	01° 00'	+06° 30'
45	04 00	05 00	+01 00
90	02 30	04 00	+01 30
135	06 30	07 30	+01 00
225	04 00	04 00	+00 30
270	06 30	06 30	00 00
315	01 00	01 00	+00 30

при установках первого из них либо на отсчетах 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, ..., 330°, либо на отсчетах 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315°.

Результаты наблюдений записывают и их обработку выполняют в ведомости, приведенной в табл. 14.

Колебания разностей отсчетов свыше удвоенной точности верньеров указывают на то, что ось вращения алидады не проходит через центр делений лимба. Более детальное изучение эксцентриситета алидады выходит за рамки программы настоящего пособия. Напомним, что в среднем из отсчетов, взятых по обоим верньерам, влияние эксцентриситета исключается.

б) Теодолиты Т30 и Т15. Оптические теодолиты Т30 и Т15 имеют одностороннее отсчетное устройство. Определение влияния эксцентриситета алидады на отсчет по шкаловому микроскопу выполняют так. Выбирают хорошо видимую четкую цель или устанавливают в 20—40 м от теодолита визирную марку. После установки прибора совмещают индекс отсчетного микроскопа с

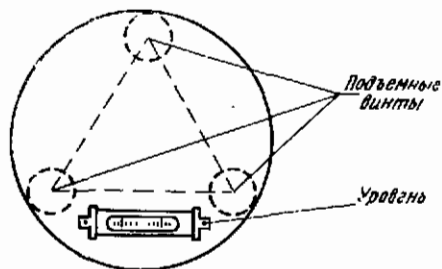


Рис. 37. Проверка уровня на алидаде горизонтального круга

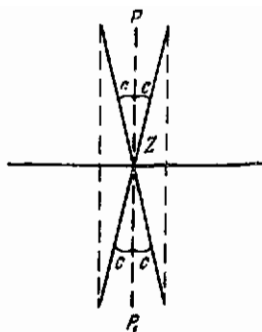


Рис. 38. Определение коллимационной ошибки

нулевым штрихом лимба и вращением лимба наводят трубу на цель. Сделав отсчет при круге право П, переводят зрительную трубу через зенит, вращением алидады наводят трубу на ту же цель и делают отсчет по лимбу при круге лево Л. Затем производят следующие действия. При круге право, вращением алидады при неподвижном лимбе совмещают индекс отсчетного микроскопа со штрихом лимба  $90^\circ$  и в этом положении теодолита по направлению зрительной трубы устанавливают визирную марку, на которую измеряют направление при двух положениях трубы: круг право П и круг лево Л. Подобные установки визирной марки и измерения направлений на них делают при установках индекса отсчетного микроскопа на штрихи лимба  $180$  и  $270^\circ$ . Результаты измерений записывают в табл. 15. Для более подробных исследований влияния эксцентриситета на ошибку отсчета по лимбу теодолита Т15 наблюдения визирных марок ведут при установках  $0, 45, 90, 135, 180, 215, 270, 315^\circ$ . Результаты наблюдений записывают в табл. 15.

Колебания разностей  $d = Л - П$  происходят от неточности отсчетного устройства теодолита, от влияния изменяющегося эксцентриситета алидады и коллимационной ошибки (см. пункт 5 настоящего задания) на отсчеты. Поэтому, если колебания разностей у Т30 не превосходят  $1'$ , то следует считать, что влияние эксцентриситета алидады не обнаруживается.

Определить влияние эксцентриситета алидады на отсчеты в теодолите Т30 можно и без перестановки визир-



Номер установки	Отсчеты по горизонтальному кругу		Разности $d = \text{I} - \text{II} - 180^\circ$	Влияние эксцентриситета алидады $e_i = d_i - d_{\text{ср}}$
	II	I		
1	0' 21'	180' 20'	-1'	-0,5'
2	90 15	270 14	-1	-0,5
3	180 07	0 07	0	+0,5
4	270 12	90 12	0	+0,5

$$d_{\text{ср}} = \frac{2'}{4} = -0,5'$$

Примечание. Постоянная часть разностей  $d$ , равная  $d_{\text{ср}} = \frac{\sum d}{n}$ , обусловлена двойной коллимационной ошибкой, а переменная, равная  $e_i = d_i - d_{\text{ср}}$ , обусловлена действием эксцентриситета алидады теодолита.

ной марки. В этом случае на визирную цель наводят при двух положениях вертикального круга с последовательной установкой алидады на отсчеты, близкие к 0, 90, 180 и 270°. Перед каждой новой установкой алидады подставку теодолита вместе с закрепленным лимбом поворачивают приблизительно на 90°, предварительно ослабив становой винт.

4. Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга к основной оси теодолита (геометрическое условие 2). При измерении горизонтального угла основная ось  $ZZ_1$  теодолита должна быть установлена в отвесном положении (см. рис. 35), а ось вращения трубы должна быть горизонтирована. Такая установка оси  $ZZ_1$  осуществляется при помощи подъемных винтов и уровня на алидаде горизонтального круга. При этом необходимо, чтобы ось  $UU_1$  цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга была перпендикулярна к основной оси теодолита.

Проверка этого условия выполняется в следующем порядке: а) вращением алидады устанавливают проверяемый уровень по направлению, приближенно параллельному линии, проходящей через два подъемных винта (рис. 37); б) вращая эти два винта в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня на середину ампулы (в нуль-пункт); в) сделав отсчет  $N$  по лимбу, поворачивают алидаду на 180°. Если пузырек поверяе-

мого уровня отклонится от нуль-пункта, то с помощью исправительных винтов уровня перемещают пузырек по направлению к нуль-пункту на половину отклонения: тем самым ось цилиндрического уровня будет приведена в положение, перпендикулярное к оси вращения прибора.

Для приведения оси вращения теодолита в отвесное положение перемещают пузырек уровня точно в нуль-пункт, пользуясь теми подъемными винтами, по направлению которых установлен уровень. После этого проверку повторяют, повернув алидаду на  $180^\circ$ , пузырек уровня должен оставаться в нуль-пункте, либо отклоняться от него не более чем на одно деление. Если этого не произошло, то опять перемещают пузырек уровня на половину отклонения с помощью исправительных винтов и устанавливают его в нуль-пункте вращением подъемных винтов.

Исправленным уровнем пользуются для горизонтирования теодолита. Для этого устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов, вращая их в разные стороны, приводят пузырек в нуль-пункт, после чего вращением алидады устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта, которым приводят пузырек в нуль-пункт. Теодолит считается горизонтированным удовлетворительно, если при любом положении уровня относительно подъемных винтов пузырек его отклоняется от нуль-пункта не больше, чем на одно деление.

Если после установки теодолита с помощью исправленного уровня обнаруживается отклонение пузырька второго уровня от нуль-пункта, то оно устраняется перемещением пузырька в нуль-пункт с помощью исправительных винтов.

5. *Проверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы* (геометрическое условие 4). При соблюдении этого условия визирная ось  $WW_1$  при вращении трубы образует коллимационную плоскость  $PP_1$  (рис. 38).

Если данное условие не выполнено, то визирная ось при вращении трубы образует с плоскостью  $PP_1$  угол  $\epsilon$ , который называется коллимационной ошибкой.

У теодолитов с верньерами (ТТ-50 и ТТ-5) определение коллимационной ошибки выполняют в такой последовательности: а) ставят теодолит на штатив или на площадку кронштейна (в лаборатории) и горизонтиру-

ют его; б) при круге право наводят трубу перекрестием сетки на четко видимую точку, расположенную на высоте прибора. Если для этой цели выбирать точку, расположенную на значительном удалении, то при таком выборе эта точка всегда будет близка к горизонту инструмента, а зрительная труба при этой проверке будет занимать примерно горизонтальное положение; в) производят отсчеты по обоим верньерам; при этом по первому верньеру отсчитывают градусы, минуты и доли минуты, а по второму — лишь минуты и доли минуты; г) переводят трубу через зенит и, отпустив закрепительный винт алидады, вращением ее вновь наводят трубу при круге лево на ту же точку; д) производят отсчеты по верньерам. Затем вычисляют средние значения  $\Pi$  и  $\Lambda$  из отсчетов по обоим верньерам при первом и втором наведениях на точку и коллимационную ошибку

$$C = (\Lambda - \Pi \pm 180^\circ) / 2. \quad (\text{III.8})$$

Описанные действия по определению коллимационной ошибки не имеют необходимого контроля, так как из выполненных наблюдений получено лишь одно значение коллимационной ошибки. Для контроля наблюдение выполняют второй раз на других частях лимба. Все эти записи отсчетов производят в журнале (табл. 16).

Для исправления коллимационной ошибки вычисляют среднее из отсчетов при двух положениях круга во втором приеме, например:

$$E = (\Pi + \Lambda \pm 180^\circ) / 2 = (45^\circ 37' + 225^\circ 40' + 180^\circ) / 2 = 225^\circ 38' 30'',$$

которое свободно от коллимационной ошибки и, устанавливая алидаду так, чтобы среднее из отсчетов по двум верньерам было равно вычисленному значению  $E$ . Так как при наведении трубы на точку отчет был равен  $225^\circ 40'$ , то после установки алидады на отчет  $225^\circ 38' 30''$  перекрестие сетки нитей сойдет с наблюдаемой точкой на величину  $C$ , равную  $1' 30''$ . Слегка ослабив верхний исправительный винт, вращают боковые винты сетки нитей, передвигая ее до совмещения перекрестия сетки с изображением наблюдаемой точки. После этого сетку нитей закрепляют исправительными винтами и вновь повторяют проверку.

В теодолитах Т30 и Т15 с односторонней отсчетной системой на отсчеты по лимбу влияют коллимационная ошибка и эксцентриситет горизонтального круга. Поэтому определение коллимационной ошибки в этом прибо-

До исправления

I	1° 25' 30"	25' 30"	1' 25' 30"	181° 29' 00"	29' 00"	181° 29' 00"	-3' 30"	-1' 45"
II	1° 45' 37" 00	37 00	45 37 00	225 40 00	40 00	225 40 00	+3 00	+1 30
I	45 37 30	37 30	45 37 30	225 38 00	38 00	225 38 00	+0 30	+0 15
II	90 11 00	11 00	90 11 00	270 11 30	12 00	270 11 45	+0 45	+0 22

После исправления

ре следует выполнять либо совместно с определением влияния эксцентриситета алидады на отсчеты по лимбу, либо самостоятельно путем наблюдения двух точек. В первом случае постоянная часть колебаний разностей отсчетов при двойных наведениях (Л, П) на четыре точки, равномерно расположенные вокруг исследуемого прибора, определит величину двойной коллимационной ошибки, а переменная часть — величину влияния эксцентриситета алидады на отсчет.

В табл. 15 разности  $d$  обусловлены ошибками отсчетов, влияниями коллимационной ошибки и эксцентриситета алидады.

Постоянная часть разностей  $d_{ср} = -0,5'$  выражает влияние коллимационной ошибки. Эта величина меньше точности отсчетного штрихового микроскопа теодолита Т30, поэтому следует считать, что в примере, приведенном в табл. 15, коллимационная ошибка весьма мала и никакой юстировки (исправления положения визирной оси трубы) не требуется.

Самостоятельное определение коллимационной ошибки в теодолитах Т30 и Т15 следует выпол-

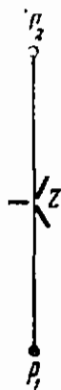


Рис. 39. Определение коллимационной ошибки в теодолите Т30

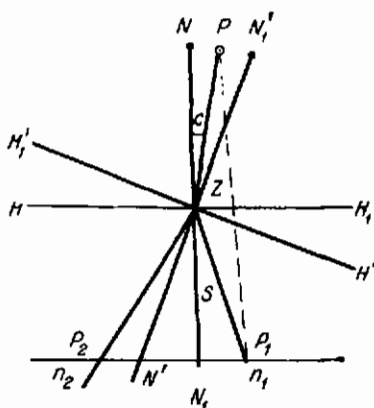


Рис. 40. Определение коллимационной ошибки по рейке

нять, пользуясь двумя точками  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 39), расположенными в одном створе с теодолитом, но по разные от него стороны. Визирование на каждую точку производят при двух положениях (справа и слева) вертикального круга. Записи и вычисления ведут по образцу, приведенному в табл. 17.

Таблица 17

Номер точки	Отсчеты по вертикальному кругу		Разности $L - \Pi - 180^\circ = 2C$
	$\Pi$	$L$	
До исправления			
$P_1$	$0^\circ 22'$	$180^\circ 20'$	$-2'$
$P_2$	$180 \ 23$	$0 \ 20$	$-3$
После исправления			
$P_2$	$180 \ 22$	$0 \ 21$	$-1$
$P_1$	$0 \ 20$	$180 \ 21$	$+1$

Для исправления (юстировки) коллимационной ошибки, равной  $C = -3'/2 = -1,5'$ , определяют среднее значение  $E$  отсчета при визировании на точку  $P_2$

$$E = (\Pi + L + 180^\circ) / 2 = (180^\circ 23' + 0^\circ 20' + 180^\circ) / 2 = 0^\circ 21,5'$$

и наводящим винтом алидады устанавливают отсчетный индекс микроскопа на этот отсчет. Затем исправитель-

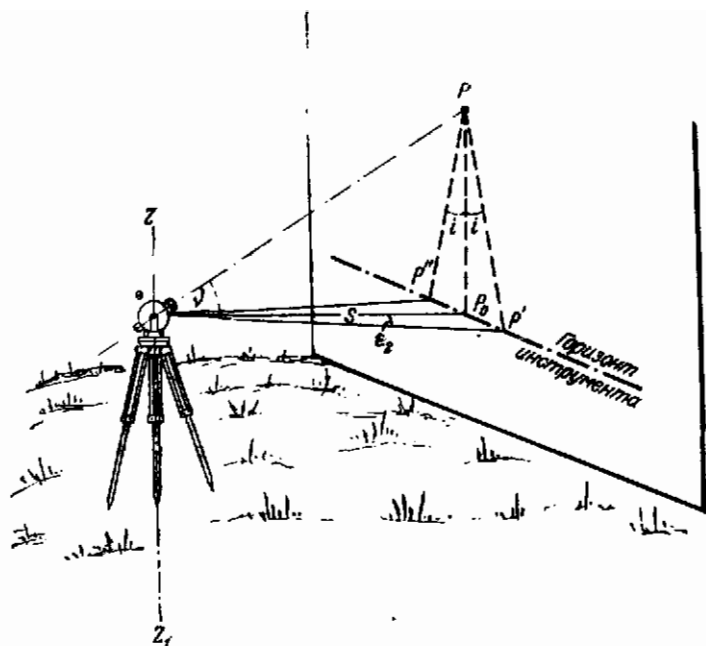


Рис. 41. Проверка перпендикулярности осей вращения зрительной трубы и теодолита

ными винтами оправы сетки нитей совмещают перекрестие сетки с изображением точки  $P_2$ .

Для независимых и более точных определений коллимационной ошибки  $C$  у теодолита ТЗ0 можно воспользоваться вспомогательной шкалой (нивелирной рейкой, стальной линейкой и т.п.). В этом случае необходимо выполнить следующие установки и наблюдения.

На горизонтальном участке местности выбирают две точки  $P$  и  $P_1$ . В середине створа  $PP_1$  (рис. 40) устанавливают теодолит  $Z$ . Пусть визирная ось  $ZP$  составляет с нормалью  $NN_1$  к оси вращения трубы  $NN_1$  угол  $C$ . Установив на точке  $P$  марку и расположив в точке  $P_1$  рейку или линейку перпендикулярно к створу  $PP_1$ , визируют на марку  $P$ . Переведя трубу через зенит, производят по вертикальной нити сетки зрительной трубы отсчет  $n_1$  на горизонтальной рейке или линейке. Затем вращением алиады снова визируют на марку  $P$ . При этом

наведении ось вращения зрительной трубы займет положение  $H_1'N_1'$ , а нормаль к ней — положение  $N_1'N_1$ . Вновь персведя трубу через зенит, делают по рейке отсчет  $n_2$ . Так как разность отсчетов  $n_2 - n_1$  обусловлена действием четырехкратной коллимационной ошибки  $C$ , то

$$n_2 - n_1 = 4C \cdot S / \rho'',$$

откуда

$$C'' = \frac{n_2 - n_1}{4S} \rho'', \quad (\text{III.9})$$

где  $S$  — расстояние  $ZP_1$  от прибора до рейки, определяемое по нитяному дальномеру;  $\rho$  — радиан.

Рекомендуется при каждом наведении на марку  $P$  делать отсчеты  $\Pi$  и  $\Lambda$  по лимбу. Если влияние эксцентриситета алидады на отсчеты по лимбу незначительно, то коллимационная ошибка вычисляется как полуразность этих отсчетов по формуле (III.7).

Сравнивая значения коллимационной ошибки, вычисленные по формулам (III.7) и (III.8), судят о точности определения  $C$ . Для теодолита ТЗ0 расхождение значений  $C$  не должны превышать  $2'$ . При  $S \leq 30$  м следует применять шкалы линейки с ценой деления 1 мм. При больших расстояниях можно применить шашечную нивелирную рейку с ценой деления 1 см.

При определении коллимационной ошибки необходимо убедиться, останется ли она постоянной при визировании на различно удаленные визирные цели. Для этого выбирают или устанавливают примерно на высоте горизонта инструмента 3—4 визирные цели, удаленные от теодолита на различные расстояния, например 2, 5, 10 и 200 м. Затем при круге право и лево последовательно визируют на каждую цель и производят отсчеты по горизонтальному кругу. Разности отсчетов  $\Lambda - \Pi$  при визировании на каждую цель должны отличаться в пределах двойной точности отсчетного устройства. Постоянство разностей отсчетов  $\Lambda - \Pi$  укажет на правильность хода фокусирующей линзы. Большие колебания разностей укажут на непостоянство положения визирной оси трубы при изменении фокусировки. Исправлять ход фокусирующей линзы можно только в оптико-механической мастерской. Исследование хода фокусирующей линзы в вертикальной плоскости будет рассмотрено при изучении вертикального круга (задание III.7).

6. Проверка перпендикулярности оси вращения трубы к основной оси теодолита (геометрическое условие 5). Ось  $HH_1$  вращения зрительной трубы (см. рис. 35) должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита  $ZZ_1$ . Если это условие выполнено, то проецирующая коллимационная плоскость горизонтированного прибора — вертикальна, что необходимо для непосредственного измерения горизонтального угла.

Для проверки выполнения этого условия теодолит устанавливают на расстоянии 20—40 м от здания, на стене которого (рис. 41) выбирают высоко расположенную точку  $P$ . После горизонтирования прибора наводят зрительную трубу на эту точку, а затем, наклоняя трубу до примерно горизонтального положения, отмечают на стене проекцию перекрестия сетки нитей. Переведя трубу через зенит, снова визируют на ту же точку  $P$  и намечают на стене вторую проекцию перекрестия нитей. Если намеченные на стене точки не совпадают, то ось вращения трубы наклонена и условие  $HH_1 \perp ZZ_1$  не выполняется. Теодолиты Т15 и Т30 не имеют устройств для исправления наклона оси  $HH_1$ , так как выполнение условия перпендикулярности ее к  $ZZ_1$  гарантирует завод-изготовитель. Величину горизонтального отрезка  $P'P''$  между двумя проекциями точки  $P$  следует определить для того, чтобы вычислить величину угла наклона  $i$  оси вращения  $HH_1$  зрительной трубы

$$i = \varepsilon_2 \operatorname{ctg} v, \quad (\text{III.10})$$

где  $\varepsilon_2$  — горизонтальный угол между направлениями  $ZP_0$  и  $ZP'$ , значение которого может быть измерено непосредственно теодолитом при последовательном визировании на точки  $P'$ ,  $P_0$  и  $P''$  с производством отсчетов  $N_1$ ,  $N_0$  и  $N_2$  по лимбу,  $N_1 - N_0 = N_0 - N_2 = \varepsilon_2$ .  $v$  — угол наклона линии  $ZP$ .

Значение угла  $i$  можно вычислить по формуле

$$i = \frac{P_0P'}{S} \rho'' \operatorname{ctg} v, \quad (\text{III.11})$$

в которой  $P_0P'$  — половина расстояния между проекциями  $P'$  и  $P''$  точки  $P$ ;  $S = ZP_0$  — непосредственно измеренное расстояние от прибора до точки  $P_0$ ;  $\rho''$  — радиан.

Пример. Вычислить значение угла  $i$ , если  $S = 24,3$  м,  $P'P_0 = 0,003$  м,  $v = 20^\circ$ .

По формуле (III.11) находим  $i' = 0,003/24,3 \times 3438' \times \times 2,75 = 1,2'$ .



Так как средняя точка  $P_0$  отрезка  $P'P''$  расположена на одной вертикальной линии, проходящей через проецируемую точку, то в среднем из отсчетов по лимбу, взятых после наведения на точку при двух кругах, влияние наклона оси вращения трубы исключается.

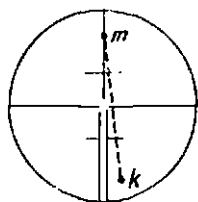


Рис. 42. Проверка положения сетки нитей в зрительной трубе теодолита

7. *Проверка положения сетки нитей* (геометрическое условие б). Одна из нитей сетки должна находиться в коллимационной плоскости трубы. Для проверки положения нитей сетки горизонтируют теодолит и наводят зрительную трубу на хорошо видимую точку. Если при вращении трубы вокруг ее оси изображение точки  $m$  будет перемещаться по нити (рис. 42), то сетка установлена верно. Если же при вращении трубы изображение точки будет сходиться с нити по линии  $mk$ , то необходимо оправу сетки нитей поставить в правильное положение. Для этого предварительно отпускают винты, скрепляющие оправу сетки нитей с корпусом трубы.

Выполнение задания сопровождается ведением рабочей тетради, в которой зарисовывают схему нормального расположения осей и плоскостей в теодолите; записывают краткую формулировку каждого условия, результаты проверок в виде таблиц, составляемых по образцу табл. 14—17 настоящего задания (проверки иллюстрируются соответствующими схематическими чертежами); описание порядка исправления обнаруженных нарушений условий.

### Задание III.5

#### Измерение горизонтальных углов техническим теодолитом

I. Задача: изучить процесс измерения одиночного горизонтального угла способом приемов и нескольких углов на одном пункте — способом круговых приемов.

II. Литература: 1) *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII. 2) *Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 25.

III. Последовательность выполнения задания:

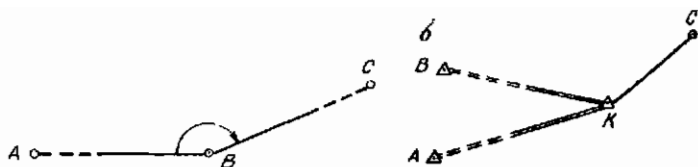


Рис. 43. Измерение угла:

*a* — способом приемов; *b* — способом круговых приемов

- 1) установка теодолита на пункте: центрирование и горизонтирование прибора;
- 2) установка визирных целей на пунктах;
- 3) измерение горизонтального угла способом приемов;
- 4) измерение горизонтальных углов способом круговых приемов;
- 5) анализ точности измерения горизонтального угла техническим теодолитом.

#### IV. Указания по выполнению задания.

1. *Установка теодолита на пункте: центрирование и горизонтирование прибора.* Для измерения горизонтального угла  $ABC$  (рис. 43, *a*) теодолит необходимо установить в вершине угла — на пункте  $B$  так, чтобы основная ось прибора была отвесна и проходила через вершину  $B$  измеряемого угла. Для этого на пункте  $B$  предварительно устанавливают штатив с таким расчетом, чтобы его головка заняла горизонтальное положение, а центр отверстия головки совпал с вертикалью, проходящей через центр пункта  $B$ .

Устанавливают штатив над вершиной угла при помощи отвеса, который опускают на нити через отверстие в головке штатива или со станового винта до центра пункта. Необходимые перемещения штатива осуществляют в зависимости от их величины либо утапливанием ножек штатива в грунт, либо перестановкой штатива и последующим утапливанием его ножек (при этом горизонтальность головки штатива определяют глазомерно). Центрировать головку раздвижного штатива над вершиной угла можно также изменением длины ножек штатива. Этой особенностью раздвижного штатива удобно пользоваться для небольших, но необходимых перемещений головки штатива.

После центрирования штатива на его головке закрепляют станковым винтом теодолит и, пользуясь подъемными винтами и уровнем на алидаде горизонтального круга, горизонтируют прибор (см. задание III.4). Затем нитяным отвесом, подвешенным на крючке станкового винта, проверяют положение основной оси вращения теодолита относительно центра знака *B*.

Если необходимо переместить теодолит в том или ином направлении, ослабляют становой винт и передвигают его по верхней поверхности головки штатива до установления отвеса над центром знака. После этого снова проверяют по уровню теодолит. Если центрировка окажется нарушенной, то ее подправляют перемещением теодолита на головке штатива. Таким образом, центрирование и горизонтирование прибора выполняют несколькими последовательными приближениями.

2. *Установка визирных целей на пунктах.* Центры пунктов *A*, *B*, *C* (см. рис. 43, *a*) располагаются почти вровень с поверхностью земли, непосредственно из точки *B* нельзя увидеть центры пунктов *A* и *C*. Поэтому при измерении углов устанавливают на пунктах *A* и *C* визирные цели (вехи, мерные шпильки, рейки и марки). Вехи и мерные шпильки ставят острием на центр знака и удерживают их в отвесном положении. Рейку устанавливают так, чтобы середина ее основания совпадала с центром пункта, а сама рейка занимала вертикальное положение. Визирную марку, закрепленную на головке штатива, центрируют над знаком нитяным отвесом так же, как и теодолит. Чем короче стороны измеряемого угла, тем более тщательным должно быть центрирование визирных целей над центрами пунктов.

3. *Измерение горизонтального угла способом приемов.* Закончив установку прибора на пункте *B* и визирных целей на пунктах *A* и *C* (см. рис. 43, *a*), наводят зрительную трубу на цель *A* и тщательно устанавливают ее по глазу и по предмету. После этого приступают к измерению угла, которое может быть выполнено как при произвольном положении лимба, так и при предварительной его установке в такое положение, при котором отсчет по лимбу при наведении на точку *A* окажется близким к нулевому значению.

При произвольно закрепленном положении лимба, отпустив закрепительный винт алидады, наводят зрительную трубу на визирную цель *A*: приближенно — при

помощи оптических или диоптрийных визиров, расположенных на корпусе трубы, и точно — визирной осью зрительной трубы. Для точного наведения перекрестия нитей на визирный знак пользуются наводящими винтами алидады и зрительной трубы. После точного наведения трубы на визирную цель *A* производят отсчет по шкаловому микроскопу (например,  $320^{\circ}01,5'$ ). Отсчеты записывают в полевой журнал установленной формы (табл. 18).

Таблица 18

Журнал измерения углов теодолитом Т15

Наименование точек		Отсчеты по шкаловому микроскопу		Среднее значение угла из полуприсмов
стояния	визирования	Л	П	
<i>B</i>	<i>A</i>	$320^{\circ} 01,5'$	$140^{\circ} 01,5'$	$169^{\circ} 11,5'$
	<i>C</i>	$129 13,0$	$309 13,0$	
Значение угла		$169 11,5$	$169 11,5$	

Затем при том же закрепленном положении лимба, освободив закрепительный винт алидады, вращением последней по ходу часовой стрелки визируют на предмет *C* и производят отсчет ( $129^{\circ}13,0'$ ), который также записывают в полевой журнал. Выполненные действия составляют первый полуприсмов измерения горизонтального угла *ABC*, величина которого определяется как разность отсчетов.

Для определения значения левого угла *ABC* следует: из отсчета ( $129^{\circ}13,0'$ ), полученного при визировании на точку *C* (см. рис. 43, а), вычесть отсчет ( $320^{\circ}01,5'$ ), полученный при визировании на точку *A*. Поскольку уменьшасмос меньше вычитаемого, то к первому необходимо прибавить  $360^{\circ}$ . В нашем примере значение угла *ABC* найдем после выполнения следующих двух действий:

- 1)  $129^{\circ} 13,0' - 360^{\circ} = 489^{\circ} 13,0'$ ;
- 2)  $489^{\circ} 13,0' - 320^{\circ} 01,5' = 169^{\circ} 11,5'$ .

Первое из этих действий обычно выполняется в уме.

С целью обеспечения контроля измерения угла и для повышения точности выполняют второй полуприсмов. Перед началом переводят трубу через зенит и при том же положении лимба, отпустив закрепительный винт алидады, визируют на точку *A*. Сделав отсчет ( $140^{\circ}01,5'$ )

по горизонтальному кругу и записав его в журнал, отпускают закрепительный винт алидады, вращая ее в направлении движения часовой стрелки, визируют на точку *C* и производят отсчет ( $309^{\circ}13,0'$ ) по горизонтальному кругу и записывают в журнал. На этом заканчивается второй полуприем измерения угла. Два полуприема составляют один прием. Если расхождение между вычисленными значениями угла, измеренного первым и вторым полуприемами, не превышает удвоенной точности отсчетного микроскопа, то вычисляют окончательное значение угла, измеренного одним приемом, равное среднему арифметическому из результатов измерения в полуприемах.

Если же значения угла, полученные в первом и во втором полуприемах, отличаются друг от друга больше, чем на двойную точность отсчетных устройств, то следует проверить устойчивость штатива, достаточно ли затянут становой винт и хорошо ли закреплена верхняя часть теодолита в гнезде подставки. После этого измерение угла повторяется.

Для удобства вычислений измерения угла начинают на начальных штрихах лимба. Для этого в первом полуприеме вращением алидады совмещают нулевой штрих шкалового микроскопа (или индекс штрихового микроскопа) со штрихом нулевого деления на лимбе, а затем, закрепив алидаду и отпустив закрепительный винт лимба, наводят трубу на точку *A* и производят отсчет по горизонтальному кругу ( $0^{\circ}01'$ ). Затем записывают его в журнал (табл. 19). (Для точного наведения на точку *A* в этом случае пользуются наводящим винтом лимба.) Затем, отпустив закрепительный винт алидады, приближенно наводят трубу на пункт *C*, закрепляют алидаду и после точного наведения трубы производят отсчет ( $169^{\circ}13'$ ) по лимбу.

Таблица 19

Журнал измерения углов теодолитом Т30

Наименование точек		Отсчеты по штриховому микрометру		
стояния	визирования	П	Л	Среднее
В	А	$0^{\circ} 01'$	$180^{\circ} 02'$	$0^{\circ} 01,5'$
	С	169 13	349 13	169 13
Значение угла		169 12	169 11	169 11,5

Журнал измерения углов способом круговых приемов  
теодолитом Т30

Наименование точек		Отсчеты по горизонтальному кругу		Среднее из отсчетов	Приведенные направления
стояния	визирования	П	Л		
К	А	00° 03'	180° 02'	00° 03' 0 02,5	00° 00'
	В	59 37	239 37	59 37	59 34
	С	124 19	304 20	124 19,5	124 16,5
	А	00 04	180 03	00 3,5	00 00

Значение угла  $ABC$  вычисляется в уме, как разность второго и первого отсчетов. В примере, приведенном в табл. 19, оно равно  $169^{\circ}13' - 0^{\circ}01' = 169^{\circ}12'$ .

Во втором полуприеме трубу переводят через зенит и производят отсчеты при наведениях трубы на точки  $A$  и  $C$ .

Табл. 19 представляет собой форму журнала измерения угла описанным способом.

4. *Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов.* В практике угловых измерений имеют место случаи, когда при одной точке необходимо измерить не один угол, а несколько. Например, такие случаи возникают при привязке теодолитных или тахеометрических ходов к пунктам опорной геодезической сети (рис. 43, б). В этих случаях для измерения горизонтальных углов  $AKB$ ,  $BKC$ ,  $AKC$  применяют способ круговых приемов. Сущность этого способа состоит в следующем. Установив над точкой  $K$  технический теодолит Т15 или Т30, а на точках  $A$ ,  $B$ ,  $C$  визирные цели, совмещают нулевой штрих отсчетного устройства теодолита со штрихом нулевого деления лимба и, отпустив закрепительный винт последнего, наводят трубу на начальный пункт  $A$ . Произведя отсчет ( $0^{\circ}03'$ ; табл. 20), отпускают закрепительный винт алидады и движением ее по ходу часовой стрелки наводят на визирную цель пункта  $B$ . Сделав отсчет ( $59^{\circ}37'$ ) по горизонтальному кругу, движением алидады в направлении движения часовой стрелки наводят трубу на визирную цель точки  $C$  и делают отсчет

по горизонтальному кругу ( $124^{\circ}19'$ ). Затем, продолжая вращение алидады в направлении движения часовой стрелки, снова наводят трубу на визирную цель начального пункта  $A$  и производят отсчет ( $0^{\circ}02'$ ) по горизонтальному кругу. На этом заканчивается первый полуприем наблюдений. Все отсчеты записывают в журнал образца, приведенного в табл. 20. После этого переводят трубу через зенит и движением алидады против хода часовой стрелки последовательно наводят зрительную трубу на визирные цели, установленные на пунктах  $A$ ,  $C$  и  $B$ , заканчивая это движение повторным наведением на начальный пункт  $A$ . При наведении на каждый пункт делают отсчеты ( $180^{\circ}03'$ ,  $304^{\circ}20'$ ,  $239^{\circ}37'$  и  $180^{\circ}02'$ ) и записывают в журнал (см. табл. 20). Выполненные операции составляют один прием измерения углов указанным способом. Вычислив средние значения отсчетов, находят среднее из средних значений отсчетов ( $0^{\circ}03'$ ), соответствующее наведению на начальный пункт  $A$ . Это среднее вычитают из средних отсчетов, сделанных при визировании на пункты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , получая приведенные направления, представляющие собой значения углов:  $AKB - 59^{\circ}34'$  и  $AKC - 124^{\circ}16,5'$ . Значение угла  $BKC$  равно разности приведенных направлений  $124^{\circ}16,5' - 59^{\circ}34' = 64^{\circ}42,5'$ .

Для повышения надежности измерения горизонтальных углов техническими теодолитами увеличивают число приемов измерения, изменяя положение лимба между приемами на величину, равную  $180^{\circ}/n$ , где  $n$  — число приемов. Применяя технические теодолиты, не следует делать число приемов свыше двух-трех. При двух приемах отсчет при визировании на начальный пункт  $A$  во втором приеме должен быть близок к  $90^{\circ}$ . Дополнительным контролем правильности измерения углов способом круговых приемов является постоянство двойной коллимационной ошибки:  $2C = L - П$ . Колебание величины  $2C$  в пределах удвоенной точности отсчетного устройства теодолита указывает на правильность исполненных угловых измерений. В примере, приведенном в табл. 20, точность отсчетного устройства теодолита равна  $1'$ . Колебание  $2C$  в пределах  $2'$  допустимо.

5. *Анализ точности измерений горизонтального угла техническим теодолитом.* Точность измерения горизонтального угла зависит от технических характеристик применяемого теодолита, качества изготовления и тща-

тельности его юстировки, точности центрирования прибора и визирных целей, физиологических возможностей глаза наблюдателя и состояния внешней среды (запыленность и неравномерный нагрев атмосферы, близость визирного луча к предметам ситуации и к поверхности земли). В связи с этим измерение угла сопровождается ошибками: инструментальными, собственного измерения угла, визирования и отсчитывания, центрирования прибора, центрирования визирных целей (ошибки редукции) и обусловленные внешней средой.

Инструментальные ошибки, зависящие от типа теодолита, качества его изготовления и юстировки (ошибки делений лимба и шкал микроскопов, эксцентриситет лимба и алиады, коллимационная ошибка, неперпендикулярность осей вращения трубы и теодолита, неперпендикулярность плоскости делений лимба и оси уровня при алиаде горизонтального круга к оси прибора) в современных теодолитах не превышают ошибки измерения угла, установленной ГОСТом для типов теодолитов. Их влияние может быть уменьшено соответствующей методикой измерения углов.

Влияние эксцентриситета алиады на отсчеты по лимбу исключается в среднем из отсчетов по двум верньерам, а в теодолитах Т30 и Т15 с односторонним отсчетным устройством — в среднем из отсчетов при наведении на визирную цель при двух положениях вертикального круга (круг справа и круг слева).

Влияние коллимационной ошибки и неперпендикулярности осей вращения трубы и теодолита на измеренный угол исключается из значения угла, измеренного при круге справа и круге слева. Влияние этих источников ошибок не компенсируется, если горизонтальный угол измеряется при одном положении вертикального круга, и если стороны этого угла имеют различную длину и различные углы наклона. Поэтому в процессе исследования и юстировки прибора необходимо провести тщательную проверку хода фокусирующей линзы и добиться, чтобы коллимационная ошибка не превышала точности отсчетных устройств и чтобы смещения пузырька уровня при поворотах алиады не превышали половины деления уровня. Измерение горизонтального угла с различной длиной сторон и с различными углами наклона следует выполнять тщательно горизонтированным, защищенным от действия солнечных лучей прибором.



Влияние ошибок деления лимба на ошибку измерения угла ослабляется, если отсчеты в полуприемах производят на разных частях лимба.

Значение предельной ошибки визирования  $\Delta_{\text{пред.виз}}$ , которая зависит от увеличения и качества изготовления зрительной трубы, от разрешающей способности глаза наблюдателя, колеблющейся в широких пределах (в среднем равной  $60''$ ), и от внешних условий, обычно принимается равным

$$\Delta_{\text{пред.виз}} = 60'' / \Gamma, \quad (\text{III.12})$$

где  $\Gamma$  — увеличение зрительной трубы в кратях.

Для технических теодолитов Т15, Т30, у которых  $\Gamma = 20-25\times$ , эта ошибка не превышает  $3''$ .

Ошибка отсчитывания зависит от типа отсчетного устройства в техническом теодолите (шкаловый и штриховой микроскопы) и от физиологических возможностей глаза. В приборах этого типа она является наиболее значительной: например, для теодолита Т30 ее предельное значение может быть принято равным  $1'$ , а для теодолита Т15  $0,2'$ . Уменьшение влияния ошибки отсчитывания на результат измерения угла достигается многократным его измерением.

Указанные ошибки в основном зависят от технических характеристик теодолита и недостатков в качестве его изготовления и юстировки. Суммарное значение всех этих ошибок характеризует тип данного теодолита. Для определения суммарной ошибки необходимо в лабораторных условиях установить теодолит и наметить две визирные цели. Измерив угол десятью приемами и вычислив среднее значение из 10 приемов, найдем (по отклонениям значения угла из каждого приема от среднего) среднюю квадратическую величину суммарной ошибки, обусловленной всеми инструментальными ошибками. Для теодолита Т30 эта суммарная ошибка, согласно ГОСТа, не должна превосходить  $30''$ , а для теодолита Т15— $15''$ .

Ошибки центрирования теодолита, визирных целей также оказывают заметное влияние на результат измерения угла. Предельные величины ошибок центрирования  $\Delta_{\text{ц}}$  и редукции  $\Delta_{\text{р}}$  могут быть найдены из выражений:

$$\Delta_{\text{ц}} = \frac{2e_{\text{ц}}}{S} \rho'', \quad (\text{III.13})$$

$$\Delta_{\text{р}} = \frac{2e_{\text{р}}}{S} \rho'', \quad (\text{III.14})$$

где  $\epsilon_c$  и  $\epsilon_p$  — линейные элементы центрирования и редукации;  $S$  — средняя длина стороны угла;  $\rho''$  — радиан.

При  $e = 10$  мм и  $S = 200$  м найдем, что каждая из этих предельных ошибок равна  $20''$ .

Для уменьшения действия ошибок центрирования и редукации на результат измерения угла необходимо повышать точность установки теодолита и визирных целей. С этой целью можно между полуприемами измерений угла повторно центрировать прибор.

Влияние внешних условий на результат измерения угла обусловлено тем, что визирный луч, проходя в запыленных, неравномерно и непрерывно перемещающихся слоях атмосферы, подвержен колебаниям, искривлению. Изображения предмета, видимые в зрительной трубе, представляются колеблющимися, расплывчатыми и отклоненными от их действительного положения. Эти отклонения могут быть особенно заметными ( $10$ — $15''$ ), если визирный луч проходит вблизи нагретых солнцем зданий или скал. При измерениях углов техническими теодолитами целесообразно выбирать пункты с таким расчетом, чтобы визирный луч не проходил вблизи нагреваемых солнцем предметов или искусственно (дымовые промышленные трубы), а угловые измерения проводить в утренние или вечерние часы, когда изображения спокойны.

Исследованиями установлено, что точность измерения горизонтального угла одним приемом техническими теодолитами Т15 и Т30 характеризуется значениями средних квадратических ошибок, соответственно равными  $15$  и  $30''$ . Из этого заключаем, что предельные расхождения результатов измерения углов в полуприемах теодолитами Т15 и Т30 не должны превосходить  $1'$ .

Задание выполняется как в лабораторных, так и в полевых условиях. В обоих случаях в рабочей тетради каждого исполнителя должно содержаться: описание способа центрирования теодолита и визирных целей, изложение порядка измерения угла с указанием полученных результатов, возможных причин расхождений между результатами и мер, принятых для повышения точности измерений.

Описание иллюстрируется схемами и таблицами по типу приведенных в настоящем задании.

### Задание III.6

#### Измерение вертикальных углов техническим теодолитом

I. Задача: изучить устройство вертикального круга, освоить его исследования и измерение угла наклона.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, главы VII и VIII.

*Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 28.

III. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение устройства вертикального круга;
- 2) исследование и поверки вертикального круга технического теодолита;
- 3) измерение угла наклона теодолитами ТТ-50 и ТТ-5;

- 4) измерение угла наклона теодолитами ТЗ0 и Т15;

- 5) анализ точности измерения вертикальных углов.

IV. Указания по выполнению задания.

1. *Изучение устройства вертикального круга.* Технические теодолиты предназначены для измерения не только горизонтальных углов, но и углов наклона  $\nu$ , т. е. вертикальных углов между направлением линии визирования и горизонтальной плоскостью. Измерение углов наклона производится с помощью вертикального круга.

Вертикальный круг технических теодолитов разделен полностью с оцифровкой от 0 до  $360^\circ$  по ходу часовой стрелки у ТТ-50 и ТТ-5 и против хода часовой стрелки у ТЗ0 и Т15. Диаметр лимба 0,180° должен располагаться параллельно визирной оси трубы, вместе с которой круг вращается. Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы и при положении пузырька уровня вертикального круга в нуль-пункте (место нуля МО вертикального круга) должен равняться нулю.

Система вертикального круга теодолитов ТТ-50 и ТТ-5 (рис. 44) состоит из собственного вертикального круга с лимбом 1 и алида-

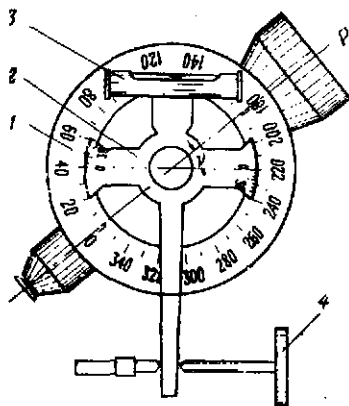


Рис. 44. Вертикальный круг теодолита ТТ-50

ды 2 с цилиндрическим уровнем 3. До отсчитывания по вертикальному кругу пузырек уровня 3 приводят в нуль-пункт с помощью наводящего винта 4, после чего отсчитывают градусы, минуты и их доли по верньеру, расположенному вблизи окуляра трубы, и минуты с их долями — по второму верньеру.

Измерение углов наклона  $v$  чаще всего производят при двух положениях (круг справа и круг слева) вертикального круга, и значения их вычисляют по формулам:

$$v = (\Pi - \text{Л})/2, \quad (\text{III.15})$$

$$v = \Pi - \text{МО}, \quad (\text{III.16})$$

$$v = \text{МО} - \text{Л}, \quad (\text{III.17})$$

где  $\Pi$  и  $\text{Л}$  — средние из отсчетов по верньерам при круге справа и слева,

$$\text{МО} = (\Pi + \text{Л})/2, \quad (\text{III.18})$$

$\text{МО}$  — место нуля вертикального круга.

Отсчеты  $\Pi$  и  $\text{Л}$ , меньшие  $90^\circ$ , предварительно перед вычислением  $v$  и  $\text{МО}$ , по формулам (III.15), (III.16), (III.17), (III.18) изменяют путем прибавления к ним  $360^\circ$ .

При измерении углов наклона теодолитом Т30 перед отсчитыванием по вертикальному кругу необходимо подъемными винтами привести в нуль-пункт пузырек уровня на алидаде горизонтального круга.

В теодолитах Т30 и Т15 деления вертикального круга подписаны против движения часовой стрелки и отсчитывание производится по одной стороне круга; формулы для вычисления значений  $v$  и  $\text{МО}$  имеют вид:

$$v = (\text{Л} - \Pi - 180^\circ)/2, \quad (\text{III.19})$$

$$v = \text{МО} - \Pi - 180^\circ, \quad (\text{III.20})$$

$$v = \text{Л} - \text{МО}, \quad (\text{III.21})$$

$$\text{МО} = (\Pi + \text{Л} \pm 180^\circ)/2. \quad (\text{III.22})$$

При вычислении по этим формулам надо к значениям  $\Pi$ ,  $\text{Л}$  и  $\text{МО}$ , меньшим  $90^\circ$ , прибавлять  $360^\circ$ .

2. *Исследование и проверки вертикального круга технического теодолита.*

а) Определение точности верньеров алидады вертикального круга и исследование влияния эксцентриситета алидады вертикального круга выполняют в теодолитах

ТТ-50 и ТТ-5 так же, как и аналогичные, определения при исследованиях горизонтального круга (см. задание 11.19). Что касается исследования влияния эксцентриситета вертикального круга теодолитов Т15 и Т30, то в обычных условиях его можно не выполнять, так как исследование требует высокоточного измерения долей делений вертикального круга и долей деления шкалы микроскопа Т15.

а) Определение значения места нуля вертикального круга и приведение его к нулю. Как вытекает из формул (III.18) и (III.22), для определения значения места нуля необходимо измерить один и тот же угол наклона  $\nu$  при круге справа и слева (см. п. 3 и 4 задания). Записи отсчетов и вычисления МО и  $\nu$  ведут в журнале, форма которого приведена в табл. 21.

Для примера вычислим МО и  $\nu$ , пользуясь данными табл. 21 до исправления МО:

а) теодолит ТТ-50:  $МО = 1/2 (4^{\circ}22'45'' + 360^{\circ} + +355^{\circ}30'15'') = 359^{\circ}56'30''$ ,  $\nu = 1/2 (4^{\circ}22'45'' + 360^{\circ} -$

Таблица 21

Наблюде- ние точки	Положе- ние круга	Отсчеты по верньерам			Место нуля МО	Угол наклона $\nu$
		I	II	Среднее		

До исправления

1	П	4° 22' 30"	23° 00'	4° 22' 45"	359° 56' 30"	+4° 26' 15''*
	Л	355 30 00	30 00	355 30 15		
2	П	4 35	—	—	0 05	+4° 30'***
	Л	175 35	—	—		
3	П	3 25,5	—	—	0 03	+3° 22,5'***
	Л	176 40,5	—	—		

После исправления

1	П	4 26 30	26 30	4 26 30	360 00 22 = =00 00 22	+4° 26' 08''*
	Л	355 34 0	34 30	355 34 15		
2	Л	4 30	—	—	360 00,5	+4° 29,5'***
	П	175 31	—	—		
3	Л	3 22 6	—	—	360 00,4	+3° 22,0'***
	П	176 38 8	—	—		

\* Теодолит ТТ-50.  
\*\* Теодолит Т30.  
\*\*\* Теодолит Т15.

$$-355^{\circ}30'15'' = +4^{\circ}26'15'', \quad v = 359^{\circ}56'30'' - 355^{\circ}30'15'' = \\ = +4^{\circ}26'15'';$$

$$6) \text{ теодолит Т30: } MO = 1/2 (175^{\circ}35' + 180^{\circ} + 4^{\circ}35' + \\ + 360^{\circ}) = 0^{\circ}05', \quad v = 1/2 (4^{\circ}35' + 360^{\circ} - 175^{\circ}35' - 180^{\circ}) = \\ = +4^{\circ}30'; \quad v = 0^{\circ}05' + 360^{\circ} - 175^{\circ}35' - 180^{\circ} = +4^{\circ}30'; \quad v = \\ = +4^{\circ}35' - 0^{\circ}05' = +4^{\circ}30'.$$

Главным условием, которому должен удовлетворять вертикальный круг, является постоянство места нуля. В этом надо убедиться, измерив несколько различных углов наклона: вычисленные значения  $MO$  не должны отличаться друг от друга больше, чем на удвоенную точность отсчитывания по вертикальному кругу. При больших колебаниях  $MO$  прибор следует направить в ремонт. В верньерных приборах нарушения постоянства  $MO$  чаще всего происходят от слабого прикрепления уровня к алидаде и от слабого прикрепления вертикального круга к оси вращения трубы. Иногда причинами колебания  $MO$  являются: ослабление пружины наводящего винта алидады вертикального круга, тугой ход втулки алидады и трение между алидадой и вертикальным кругом.

Для удобства вычисления угла наклона место нуля обычно приводят к значению, близкому к  $0^{\circ}$ . Обычно для этого в теодолитах Т15, ТТ-50 и ТТ-5 применяют один из следующих способов.

1) Определив по результатам измерения нескольких углов наклона значения  $MO$  и убедившись в постоянстве его, приводят с помощью наводящего винта пузырек уровня алидады вертикального круга в нуль-пункт и вращением трубы устанавливают вертикальный круг на отсчет, равный среднему значению  $MO$ . Затем вращением наводящего винта алидады вертикального круга совмещают нули верньера и лимба вертикального круга. После этого исправительными винтами уровня при алидаде вертикального круга приводят его пузырек в нуль-пункт.

2) После визирования при П и Л на точку вычисляют значение угла наклона по формулам (III.15) — (III.17) и (III.19) и, следя за тем, чтобы зрительная труба оставалась наведенной на точку, наводящим винтом алидады вертикального круга устанавливают нуль отсчетной шкалы на отсчет, равный вычисленному значению угла наклона, и юстировочными винтами уровня вертикального круга приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

После исправления места нуля выполняют повторные измерения угла наклона и вычисляют значение места нуля (см. табл. 21). Если юстировка не дала удовлетворительных результатов, то ее повторяют.

У теодолита Т30 исправление места нуля выполняют перемещением по вертикали оправы сетки нитей. Для этого визируют на одну и ту же точку при двух положениях круга и производят отсчеты по вертикальному кругу. Затем по формулам (III.19) — (III.21) вычисляют значение угла наклона и устанавливают вертикальный круг на соответствующий отсчет. Приведя подъемными винтами подставки пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт, отпускают один из боковых винтов сетки нитей и, действуя вертикальными исправительными винтами оправы сетки нитей, совмещают горизонтальную нить перекрестия сетки с изображением наблюдаемой точки. После закрепления оправы сетки нитей поверку повторяют.

Место нуля вертикального круга технических теодолитов можно определить при помощи рейки. Для этой цели устанавливают теодолит и на расстоянии 50—60 м от него рейку. Наведя приблизительно зрительную трубу на рейку, приводят в нуль-пункт пузырек уровня при алидаде вертикального круга. Затем, действуя наводящим винтом зрительной трубы, совмещают диаметр  $0—180^\circ$  вертикального круга с отсчетными индексами алидады и производят горизонтальной нитью перекрестия сетки нитей отсчет по рейке. После этого переводят трубу через зенит, снова производят отсчет по рейке при совмещении отсчетных индексов алидады со штрихами  $180—0^\circ$  на лимбе. Очевидно, что среднее из двух отсчетов по рейке будет соответствовать отсчету при горизонтальном положении зрительной трубы. Поэтому для исправления места нуля наводят горизонтальную нить перекрестия сетки нитей трубы теодолита на средний отсчет по рейке, а затем наводящим винтом алидады совмещают отсчетные индексы алидады со штрихами  $0—180^\circ$  лимба и юстировочными винтами уровня при алидаде вертикального круга приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Для контроля эту поверку выполняют вторично после первого приведения места нуля.

Этот же способ можно применить и для приведения МО в техническом теодолите Т30. Установив теодолит и рейку, убеждаются в строгом выполнении условия —

перпендикулярности оси уровня при алидаде горизонтального круга к основной оси вращения прибора. После этого наводят трубу на рейку и тщательно (при помощи одного или двух подъемных винтов) приводят пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт, а затем, действуя наводящим винтом трубы, совмещают нулевой штрих вертикального лимба с отсчетным штрихом микроскопа и делают отсчет по рейке.

После перевода трубы через зенит и наведения ее на рейку совмещают  $180^\circ$  штрих вертикального круга с отсчетным штрихом микроскопа и производят отсчет по рейке. Среднее из двух отсчетов по рейке соответствует горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы. Для установки МО вертикального круга приводят подъемными винтами в нуль-пункт пузырек уровня алидады горизонтального круга, совмещают изображения отсчетного штриха микроскопа и штриха  $180^\circ$  вертикального круга и при помощи исправительных винтов перемещают сетку нитей до получения по рейке среднего из произведенных ранее отсчетов. Часто бывает достаточно измерять углы наклона при одном положении круга. Но для этого надо быть уверенным в постоянстве места нуля вертикального круга. Если оно постоянно, то значения углов наклона линий визирования на наблюдаемые точки вычисляют по формулам (III.16), (III.17), (III.20), (III.21).

При поверках и исследованиях теодолита целесообразно одновременно с определением постоянства коллимационной ошибки (см. задание III.5) проверить постоянство места нуля при визировании на точки, удаленные от прибора на различные расстояния, например на 2, 5, 10, 200 м.

3. *Измерение угла наклона теодолитами Т15, ТТ-50 и ТТ-5* выполняют, производя следующие операции:

а) устанавливают вертикальный круг справа от трубы (считая от ее окуляра), отпускают закрепительные винты алидады и трубы и приближенно (от руки) наводят трубу на точку, угол наклона линии визирования на которую должен быть измерен. Затем закрепляют эти винты и при помощи наводящих винтов алидады и трубы осуществляют точное наведение на точку;

б) вращая наводящий винт алидады вертикального круга, приводят в нуль-пункт пузырек уровня на алидаде;



в) по отсчетному устройству вертикального круга, берут два отсчета. Среднее из отсчетов (с сохранением числа градусов, отсчитанных первоначально) представляет собой отсчет П, сделанный при круге справа.

Перечисленные действия составляют первый полу-прием измерения угла наклона.

В зависимости от отсчета П и предварительно определенного значения места нуля МО можно вычислить значение угла наклона  $\nu$  линии визирования по формуле (III.16). Однако из-за возможного изменения МО под влиянием различных причин измерение угла наклона необходимо выполнить вторым полуприемом — при круге слева. Для этого переводят трубу через зенит и выполняют те же действия, что и в первом полуприеме, получая, в конечном счете, отсчет Л при круге слева.

Измерение угла наклона полным приемом дает возможность вычислить значение  $\nu$  по формулам (III.15) — (III.17), воспользовавшись значением МО, вычисленным по формуле (III.18).

Необходимо помнить, что угол наклона имеет знак плюс, если линия визирования повышается относительно горизонта трубы, и минус при ее понижении.

Измерение углов наклона сопровождается ведением такого же журнала, как и при определении места нуля (см. табл. 21).

В зависимости от вида работ и требуемой точности углы наклона измеряют либо одним полуприемом, либо одним приемом, либо несколькими приемами.

4. *Измерение угла наклона теодолитом Т30.* В теодолите Т30 отсутствует уровень при вертикальном круге; перед отсчитыванием по последнему необходимо с помощью подъемных винтов привести в нуль-пункт пузырек уровня на алидаде горизонтального круга. Поскольку ось этого уровня расположена параллельно коллимационной плоскости трубы, то при измерении угла наклона целесообразно устанавливать теодолит так, чтобы один из подъемных винтов расположился в направлении линии визирования. Последовательность действия при измерении угла наклона теодолитом Т30 такова:

а) отпускают закрепительные винты алидады горизонтального круга и трубы и наводят последнюю от руки на точку, угол наклона линии визирования на которую должен быть измерен, после чего эти винты закрепляют;

б) вращением подъемного винта, установленного в направлении линии визирования, приводят пузырек уровня на алидаде в нуль-пункт;

в) с помощью наводящих винтов алидады и трубы точно наводят последнюю на точку;

г) убедившись в неизменном положении пузырька уровня, делают отсчет  $\Pi$  по вертикальному кругу.

Если можно ограничиться измерением угла наклона  $\nu$  одним приемом и если известно значение места нуля  $MO$ , то по формуле (III.20) вычисляют значение  $\nu$ . В противном случае переводят трубу через зенит и повторяют измерение при круге слева, получая отсчет  $\mathcal{L}$  по вертикальному кругу. После этого вычисляют по формуле (III.22) значение  $MO$  и по формулам (III.19) — (III.21) — значение  $\nu$ .

Записи результатов измерений и вычислений ведут в журнале представленной формы (табл. 21).

5. *Анализ точности измерения вертикальных углов.*

На результаты измерения вертикальных углов оказывают влияние ошибки инструментальные, личные, обусловленные физиологическими возможностями глаз наблюдателя, и ошибки, зависящие от внешних условий. Порядок величин инструментальных и личных ошибок в этом случае будет примерно таким же, как и при измерении горизонтальных углов. Влияние таких инструментальных ошибок, как эксцентриситет алидады вертикального угла, колебания места нуля, ошибки визирования и отсчетов, может быть ослаблено применением соответствующей методики наблюдений и увеличением числа приемов измерений. Влияние инструментальных и личных ошибок на точность измерения угла наклона одним приемом характеризуется такими значениями средней квадратической ошибки:  $15''$  — для теодолитов Т15, ТТ-50, Т-5;  $30''$  — для теодолита Т30.

Из ошибок, зависящих от внешней среды, заметное влияние на точность измерения угла наклона оказывает вертикальная рефракция — неодинаковое преломление луча света в неоднородных слоях атмосферы. Исследования показали, что влияние рефракции на измеряемый угол наклона зависит от длины визирного луча и высоты его над земной поверхностью, от вида подстилающей поверхности, от облачности и от других физико-географических факторов. Величина влияния земной рефракции на результат измерения угла наклона в летнее время

может достигать десятка секунд в утренние и вечерние часы. При длине визирного луча до 300 м влияние рефракции можно не учитывать.

Задание выполняется в лабораторных и в полевых (во время учебной практики) условиях. В лабораторных условиях ставят теодолит на крошштейн и обязательно закрепляют станковым винтом. Затем прибор тщательно горизонтируют и, выбрав два ственных знака, измеряют полным приемом углы наклона при визировании на эти знаки. Сходимость значений места нуля укажет на правильность измерения углов. В случае необходимости производится исправление места нуля, после чего измерение тех же углов наклона повторяется. Сходимость значений углов наклона, измеренных до и после приведения места нуля, укажет на правильность их определения, а близость к нулю значения места нуля — на правильность выполненных действий при его исправлении.

В полевых условиях углы наклона измеряются при выполнении тахеометрических работ (см. главу VI) и мензульной топографической съемки (см. главу IX).

\* \*  
\*

Измерение горизонтальных и вертикальных углов техническими теодолитами рассмотрено в двух заданиях — III.5 и III.6. Однако в практике угловых измерений, в зависимости от назначения этих измерений, выполняют последние при одних и тех же установках теодолита и визирных целей либо последовательно, когда сначала измеряют горизонтальные углы, а затем вертикальные, либо совместно, когда после наведения перекрестием сетки зрительной трубы на визирную цель отсчитывают по горизонтальному и вертикальному кругам. В съемочных сетях эти углы измеряют при двух положениях зрительной трубы, а при топографических съемках при одном положении трубы. Порядок измерения горизонтальных и вертикальных углов обычно регламентируется действующими инструкциями по топографо-геодезическим работам. Осмотр, исследование, поверки и юстировки теодолита также рассмотрены в нескольких заданиях, так как даже краткая и сокращенная приведенная программа исследований отдельных частей и устройств тео-

долитов требует много времени для изучения методов исследований и проверок. При осмотре и предварительном опробовании теодолита устанавливают качество изготовления и действия отдельных механических и оптических частей теодолита без определения количественных значений его технических характеристик.

Устанавливают: удобства переноски теодолита в футляре, укладки прибора и принадлежностей в футляр, полноту комплекта; качество внешней отделки, изображений по всему полю зрения отсчетной системы, зрительной трубы и оптического центрира; испытывают работоспособность осевых систем, обеспечивающих плавность вращения алидады, горизонтального круга, зрительной трубы, а также закрепительных, наводящих и подъемных устройств.

Исследования (испытания) теодолитов заключаются в определении числовых характеристик (параметров, см. ГОСТ 20063—74) отдельных частей (зрительной трубы, отсчетных устройств, осевых систем и др.), при этом исследование отдельной части теодолита, например зрительной трубы, включает определение нескольких характеристик: а) увеличение зрительной трубы, б) угол поля зрения, в) наименьшее расстояние визирования, г) правильность работы фокусирующей линзы, д) коэффициент нитяного дальномера, е) качество зрительной трубы по изображениям точки и геометрических фигур и др.

К исследованиям других характеристик теодолита относят определение: а) рена шкалового микроскопа теодолита Т15; б) цены деления уровня при алидаде горизонтального круга; в) увлечения лимба алидадой; г) эксцентриситета алидады горизонтального круга.

Перед началом полевых работ контролируют в теодолите сохранение геометрических условий. Правильность или нарушение геометрических условий устанавливают путем проверок теодолита. Если обнаруживают нарушение того или иного условия, то геодезист при наличии исправительных винтов сам регулирует (исправляет) неправильность в теодолите; при отсутствии исправительных винтов обнаруженное нарушение геометрического условия устраняется в мастерских. Отдельные проверки теодолита в процессе измерений выполняют ежедневно (проверка уровня при алидаде горизонтального круга, проверка коллимационной ошибки, места нуля).

Проверки теодолита выполняют в определенном по-

рядке. Первой поверкой обычно является поверка уровня при алидаде горизонтального круга, а при необходимости производят и юстировку; потом определяют коллимационную ошибку, для уменьшения которой имеются исправительные винты сетки нитей. Целесообразно перед этой поверкой или сразу после ее выполнения произвести поверку правильности положения вертикальной нити сетки и определить место нуля. По традиции производят поверку положения оси вращения зрительной трубы относительно оси вращения прибора. Практическая проработка заданий третьей главы позволит студентам не только узнать устройство технического теодолита и методы измерения им горизонтальных и вертикальных углов, но и научиться выполнять на практике осмотр, опробование, исследования и поверки технического теодолита, а также измерять углы в лабораторных и в полевых условиях.

## ГЛАВА IV

# ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

---

Необходимость измерения расстояний между точками возникает во многих случаях производства геодезических работ. В государственных геодезических сетях и в геодезических сетях стущения измеряют длины базисных сторон триангуляции, длины сторон полигонометрии и трилатерации; в геодезических съемочных сетях измеряют длины сторон теодолитных, тахеометрических и мензульных ходов, а также длины базисных сторон съемочных сетей, развиваемых методом триангуляции; при техническом нивелировании по пикетам и по квадратам производят линейные измерения. Измерение расстояний между точками выполняют при съемках элементов рельефа и предметов местности, а также при перенесении на местность проектов сооружений\*. Цель этой главы — научить студентов правильно и рационально применять геодезические приборы для измерения длин сторон в съемочных сетях и при топографических съемках местности. Ее содержанием является: изложение прямых и косвенных методов линейных измерений, описание устройства приборов и оборудования для линейных измерений, их поверок и исследований; выполнение обработки результатов линейных измерений. При прямом или непосредственном методе измерения длины стороны применяют линейные рабочие меры в виде мерных инварных или стальных проволок, землемерных лент и мерных стальных рулеток, с помощью которых путем последовательного откладывания определяют целое число метров и их долей, уложившихся в измеряемой стороне. Определение расстояний при помощи механических длиномеров, оптических нитяных дальномеров и оптических дальномеров двойного изображения, а также световых радиодальномерами относят к косвенным методам измерения расстояний. С устройством приборов для линейных измерений студенты знакомятся в лабораториях

---

\* Длины сторон при геодезических измерениях могут быть от нескольких метров до десятков километров, при относительной точности в широких пределах — от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$ , а при съемках до  $3 \cdot 10^{-3}$ .

института на лабораторных занятиях. Применение их при измерениях линий на местности осваивают в полевых условиях на летней учебной практике, организуемой с таким расчетом, чтобы каждый студент в составе бригады поочередно выполнял все операции, входящие в процесс линейных измерений.

### Задание IV.1

#### Измерение линий мерной лентой

I. Задача: изучить последовательно весь процесс непосредственного (прямого) измерения линии мерной лентой на местности до уровня самостоятельного измерения длин сторон в теодолитном ходе с требуемой точностью, характеризуемой относительной ошибкой  $(S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}}) / S \leq 1/2000$ .

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. 1. М., Недра, 1967, § 78, 79, 80.

*Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* М., Недра, 1973, с. 28–31.

*Баканова В. В., Фокин П. И.* Таблицы приращений координат. М., Недра, 1982.

III. Приборы и оборудование: мерная лента, комплект стальных шпилек, стальная рулетка, три вешки, два топора, колья, журнал, ручка, эклиметр.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) осмотр мерной ленты, ознакомление с ее устройством и с правилами ее применения;
- 2) компарирование мерных приборов;
- 3) измерение линии мерной лентой,
- 4) определение длин горизонтальных проложений линий, измеренных мерной лентой.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Осмотр мерной ленты, ознакомление с ее устройством и с правилами ее применения.* При осмотре мерной ленты необходимо установить ее заводской номер, обозначенную номинальную длину ленты в метрах и ознакомиться с закреплением ленты на кольцевой опрае. Данные, обозначенные на ленте, следует сравнить с данными ее аттестата\*. Наиболее широкое применение в

\*В настоящее время выпускают мерные ленты длиной 20, 24 и 50 м.

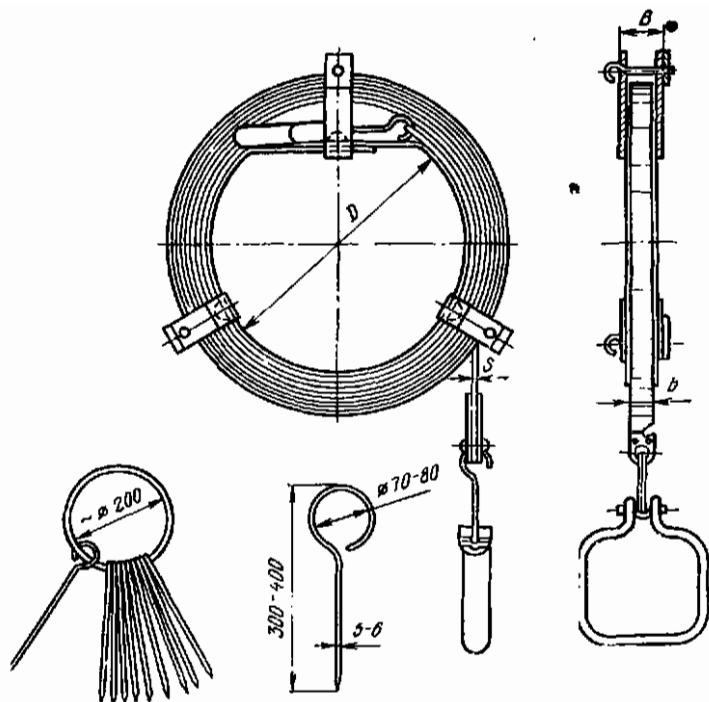


Рис. 45. Мерная лента с комплектом шпилек

практике получили мерные ленты, номинальная длина которых равна 20 м (рис. 45). Эта длина зафиксирована на наконечниках стального полотна ленты начальным и конечным штрихами, совпадающими с центрами закругления, скошенных прорезей. Дальнейший осмотр мерной ленты продолжают во время ее разворачивания и после укладки ее на площадке. Разворачивание ленты выполняют два студента, один из которых, удерживая ленту за рукоятку, медленно отступает; второй, плавно вращая кольцевую оправу ленты, следит за правильностью разворачивания ленты, не допуская образования восьмерок, петель и других скручиваний ленты. Разворачивание ленты должно быть плавным, без заедания в ограничителях кольцевой оправы; при разворачивании мерная лента должна прочно удерживаться на оправе и не проскаль-



зывать. Рукоятки, кольцевая оправа с ограничителями, стальное полотно мерной ленты не должны иметь потнутий, вмятин, трещин, острых кромок, следов коррозии. Мерные ленты должны быть цельными, прямолинейными, с равным по всей длине сечением. Помимо начального и конечного штрихов на мерной ленте отмечены десятиметровые деления в виде круглых отверстий, расположенных по всей длине ленты, полуметровые деления в виде шайб и оцифрованные метровые деления в виде пластинок, укрепленных на ленте заклепками. При осмотре комплекта стальных шпилек (11 штук) убеждаются в том, что все шпильки проходят в скошенные прорезы ленты, а концы их, достаточно заостренные, входят при вдавливании в грунт, т. е. убеждаются в том, что любой парой шпилек можно зафиксировать на местности положение конечных штрихов мерной ленты, уложенной на грунт. Для переноски все шпильки собираются на общее кольцо. Мерная лента разворачивается (снимается с кольцевой оправы) при ее осмотре перед началом измерений, а также при ее чистке и антикоррозийной смазке. Транспортировка и хранение мерной ленты осуществляются в навернутом на оправу положении. Переноску мерной ленты в процессе измерения длин линий выполняют два студента, которые, передвигаясь вдоль измеряемой линии, удерживают ленту в слегка натянутом положении. При этом нельзя допускать резких рывков и зацеплений ленты за кустарники, за траву. При кратковременных перерывах в работе ленту можно уложить на месте остановки на сухую землю в удалении от троп, дорог. Но и в этом случае следует выделить одного студента для наблюдения за сохранностью оборудования. По окончании дневных работ ленту очищают от возможных загрязнений, аккуратно свертывают на кольцевую оправу и закрепляют стопорным винтом. Шпильки надевают на кольцо и пересчитывают их. Перед сдачей ленты на склад ее полотно и всю арматуру тщательно очищают от загрязнений и от следов коррозии, смазывают антикоррозийным покрытием (например, тавотом).

2. *Компарирование мерной ленты.* Перед началом линейных измерений необходимо произвести проверку длины ленты между ее конечными штрихами или между центрами закруглений прорезей в ленте для шпилек, которыми фиксируется длина мерной ленты на местности.

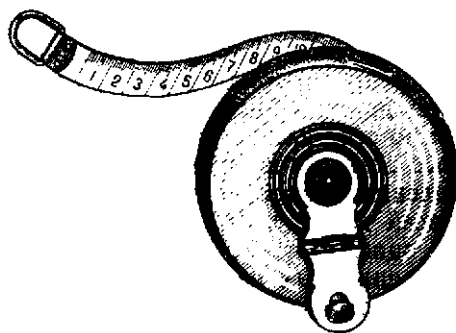


Рис. 46. Стальная мерная рулетка

Для этой цели удобно использовать полевые компараторы, устраиваемые на учебных полигонах. Простейшим видом такого компаратора могут быть два металлических знака, прочно установленные на ровной местности на расстоянии 120 м один от другого. Верх каждого знака с отмеченной точкой (сверловкой) устанавливается вровень с поверхностью земли. Длину компаратора определяют более точными подвесными приборами для линейных измерений — инварными или стальными мерными проволоками. Точное измерение длины компаратора возможно произвести также компарированными стальными рулетками (рис. 46), применяя для этой цели такие же методик и оборудование, как и при измерении длин линий мерными проволоками. Зная точную длину компаратора и измерив его длину мерной лентой, получим возможность определить действительную длину мерной ленты. Например, длина полевого компаратора  $AB$ , равная 120,037 м, измерена мерной лентой дважды, при этом каждое измерение компаратора лентой выполнялось сначала укладыванием мерной ленты при движении от  $A$  к  $B$ , а затем повторялось (контролировалось) укладыванием ленты от  $B$  к  $A$  (т. е. каждое измерение включало два измерения: в прямом и обратном направлениях). Таким образом, при измерении длины компаратора лентой были получены четыре результата: 120,01, 120,05, 120,03, 120,02 м, среднее из которых равно 120,028 м. Следовательно, в результате, полученный по измерениям компаратора лентой, следует ввести поправку  $v_k$ , равную  $v_k = 120,037 - 120,028 = +0,009$  м, а в длину ленты поправка составит величину  $1/6 = 0,009/6 = +0,0015$  м,



Рис. 47. Сравнение мерной ленты с нормальной

где  $b$  — число лент в длине компаратора. Столь малая величина поправки за компарирование в длину мерной ленты позволяет не учитывать ее при измерении этой лентой линий в теодолитных ходах. Сравнить длину мерной ленты можно с длиной компарированной ленты или рулетки. Для этой цели на полу помещения или на площадке укладывают мерную и компарированную ленты так, чтобы их начальные штрихи совпали. Расхождение конечных штрихов (рис. 47) измеряют миллиметровой линейкой. Тогда длину мерной ленты найдем следующим образом. Пусть длина компарированной ленты равна  $20 \text{ м} + 2 \text{ мм}$ , а разность между конечными штрихами компарированной и мерной лент оказалась равной  $\Delta l = 1 \text{ мм}$ . Тогда определяемая длина мерной ленты (для нашего случая, при котором  $\Delta l = -1 \text{ мм}$ ) будет равна  $L_k = 20 \text{ м} + 2 \text{ мм} - 1 \text{ мм} = 20 \text{ м} + 1 \text{ мм}$ .

Такое сравнение лент следует выполнять при одинаковом натяжении обеих лент и при температуре, близкой к температуре компарирования эталонной ленты или рулетки. Обычно температура компарирования указывается в свидетельстве о компарировании ленты. Длина новых мерных 20-метровых лент, выпускаемых нашей промышленностью, отличается от номинальной длины не более чем на  $\pm 2 \text{ мм}$ .

3. *Измерение линий мерной лентой.* Предварительно положение измеряемых линий проектируется на картах и окончательно выбирается и закрепляется на местности при рекогносцировке. Измеряемые стороны должны проходить по местам, удобным для измерения их мерной лентой, например вдоль обочин проселочных дорог, по просекам (в лесу), по межам (на поле), по тротуарам (в населенном пункте). На конечных пунктах устанавливают вехи, между которыми должна быть полная видимость. В отдельных случаях измерений в местах изменения уклонов линии потребуется установить в створе измеряемой линии  $AB$  дополнительную веху (рис. 48) в точке  $C$  и закрепить колышком, вбитым в землю. Уста-

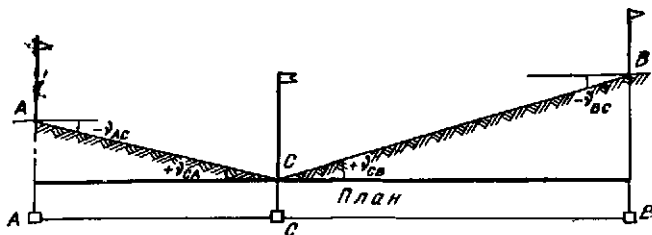


Рис. 48. Определение горизонтального проложения линии, измеренной по частям

новка вехи  $C$  в створ линии  $AB$  выполняется на глаз.

Если между точками  $A$  и  $B$  (см. рис. 48) потребуется установить несколько створных точек, то в этом случае применяют способ вешения линии «на себя». Для этого после установки вех в точках  $A$  и  $B$  один из студентов располагается в створе линии  $AB$  на ее продолжении у точки  $A$ , а второй, продвигаясь от точки  $B$  к  $A$ , устанавливает подвижную вежу по указанию первого в створе линии  $BA$ . Место каждой такой установки подвижной вехи отмечается на местности колышком. Вешение линии «от себя» менее точно и поэтому его применяют лишь тогда, когда по каким-либо причинам нельзя применить первый способ вешения.

При вешении линии замечают и устраняют некоторые небольшие препятствия, затрудняющие линейные измерения (отвести ветви кустарника, примять высокую траву-бурьян, убрать валежник и т. д.). Линию измеряют два студента. После развертывания мерной ленты первый студент берет 10 шпилек, рукоятку мерной ленты и направляется вдоль створа измеряемой линии, второй студент оставляет у себя одну шпильку и совмещает начальный штрих ленты с начальной точкой  $A$  измеряемой линии  $AB$ . Удерживая ленту в таком положении, второй студент устанавливает конец мерной ленты первого мерщика в створ линии  $AB$ . Первый студент, приподнимая ленту над землей, слегка ее встряхивает, натягивает, а затем опускает конец ленты на землю и шпилькой, вставляемой в прорезь, закрепляет ленту на местности и сообщает второму студенту об окончании укладки ленты в первом пролете командой «есть!». После этого второй студент вынимает шпильку, а первый снимает ленту со шпильки и идут, неся совместно мерную ленту вдоль

створа линии до момента, когда второй студент ~~дойдет~~ до шпильки, оставленной в земле. Второй студент в этот момент подает команду «стоп», цепляет ленту за шпильку и, удерживая конец ленты неподвижно, устанавливает начальный конец мерной ленты в створ измеряемой линии. Первый студент, встряхивая ленту и натягивая с силой  $\sim 10$  кг, опускает ее конец на землю и шпилькой фиксирует второе уложение ленты в створе измеряемой линии. Таким же образом фиксируют и все последующие уложения ленты пока не будут израсходованы все десять шпилек. Это будет свидетельствовать о том, что измерена линия в 200 м. После этого второй мерщик передает первому все десять шпилек, накопившихся в его руках, — одиннадцатая шпилька находится в земле, и в журнале измерения фиксирует передачу ~~шпилек~~ шпилек. Далее процесс измерения будет продолжаться до того момента, когда первый студент пройдет конечную точку измеряемой линии, а второй не дойдет до нее. Число шпилек в руках второго студента указывает на то, сколько было сделано целых уложений ленты после первой передачи десятка шпилек. Закрепив конец ленты за последнюю шпильку, студент удерживает ленту в этом положении, а первый студент, натянув ленту, делает отсчет против конечной точки  $B$  измеряемой линии. Это будет не полный пролет, а его часть, называемая остатком. При измерении остатка необходимо правильно определить число целых метров и дециметров. Для этого следует еще раз убедиться в том, что надписи целых метров возрастают по направлению измеряемой линии. После завершения измерения линии в прямом направлении ленту разворачивают и в целях контроля производят второе измерение, но уже передвигаясь от конечного пункта  $B$  к начальному пункту  $A$ . Длину линии, измеренной 20-метровой мерной лентой, вычисляют по формуле

$$S = (20 \text{ м} + \Delta l_{\text{к}}) n + r + \frac{\Delta l_{\text{к}}}{20} r + \Delta S_{\text{T}}, \quad (\text{IV.1})$$

где  $n$  — число уложений ленты в измеряемой линии; 20 м — номинальная длина стальной мерной ленты;  $\Delta l_{\text{к}}$  — поправка за компарирование мерной ленты;  $r$  — длина остатка;  $(\Delta l_{\text{к}}/20)$  — поправка в остаток за компарирование ленты;  $\Delta S_{\text{T}}$  — поправка в измеренную длину линии за разность температур ленты при компарировании и при измерении линии.

Эта температурная поправка равна

$$\Delta S_T = \alpha (T_{\text{ср}} - T_{\text{к}}) (20n + r), \quad (\text{IV.2})$$

где  $\alpha = 0,0000125$  — коэффициент линейного расширения стали,  $T_{\text{ср}}$  — средняя температура мерной ленты при измерении линии;  $T_{\text{к}}$  — температура мерной ленты при компарировании;  $20n + r$  — длина линии без введения поправки за компарирование.

Пусть  $n = 16$ ,  $\Delta l_{\text{к}} = +3$  мм,  $r = 11,37$  м,  $T_{\text{ср}} = 26^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{к}} = 18^\circ\text{C}$ . Тогда  $\Delta l_{\text{к}}n = +54$  мм,  $\Delta l_{\text{к}}r/20 = +2$  мм,  $\Delta S_T = = 0,0000125 \cdot 8 \cdot 331,37 = 0,033$  м. Откуда по формуле (IV.1)

$$S_{\text{пр}} = 320,00 + 0,05 + 11,37 + 0,03 = 331,45 \text{ м.}$$

Измеряя той же лентой длину линии в обратном направлении, получили

$$S_{\text{обр}} = 320,00 + 0,05 + 11,21 + 0,03 = 331,30 \text{ м.}$$

За окончательный результат измерения принимают среднее арифметическое значение из измерений, выполненных в прямом и обратном направлениях, если измерения были выполнены с точностью в пределах установленных допусков. Согласно Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 установлены следующие расхождения длин линий, измеренных в прямом и обратном направлениях — в теодолитных ходах установлено, что относительное расхождение  $(S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}})/S$  должно быть  $\leq 1/1000$ ,  $1/2000$  и  $1/3000$ . Для приведенного примера линейных измерений  $(S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}})/S = 0,16/331,4 = 1/2070 < 1/2000$  относительное расхождение не более  $1/2000$ , поэтому можно утверждать, что эти измерения по точности соответствуют линейным измерениям в теодолитных ходах. Поправку за изменение температуры следует вводить только, если разность  $T_{\text{ср}} - T_{\text{к}} \geq 8^\circ\text{C}$ . Среднее значение измеренной стороны равно

$$S_{\text{ср}} = (S_{\text{пр}} + S_{\text{обр}})/2 = (331,45 + 331,30)/2 = 331,38 \text{ м.}$$

По величине допустимого относительного расхождения двух измерений одной и той же линии можно найти допустимое расхождение двух измерений линии. Так, при длине линии 331,4 м допустимое расхождение измерений линии в прямом и обратном направлениях будет равно  $\Delta S_{\text{доп}} = 331,4/2000 = 0,17$  м. Записи линейных из-

## Журнал линейных измерений

Мерная лента № 83, номинальная длина 20 м, поправка при  $T=20^{\circ}+1,9$  мм

Измеряли В. П. Кривцов, В. К. Дадонов. Дата 24 июля 1982 г.

Наименование ленты	Число уложений динки	Остаток, м	Длина линии номинальная	Температура, °С	Углы наклона
3—4	16	12,73	332,73	27 28 30	-3° —150 м +5° —182,7 м
4—3	16	12,58	332,58	30 31 32	-4° 50' —182,6 м -3° 10' —150 м

Продолжение

Наименование линии	Поправка за компарирование, мм	Поправка за температуру, мм	Поправка за угол наклона, мм	Горизонтальное продолжение, м
3—4	+32	+35	-206 -695	331,90
4—3	+32	+45	-643 -229	331,78

## Ведомость измерения линий мерной лентой № 83

Бригада №

Наименование линии	Горизонтальное проложение намеренной линии					
	прямо	обратно	повторное	расхождение	допустимое расхождение	среднее
3—4	331,90	331,78	—	0,12	0,16	331,84

мерений следует вести в журнале линейных измерений (табл. 22), а вычисления длины измеренных линий удобно записывать в ведомостях в виде табл. 23.

На точность результатов линейных измерений, проводимых мерной лентой по земле, оказывают влияние

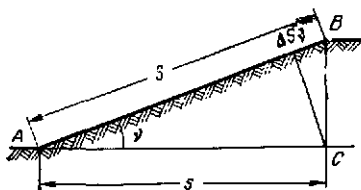


Рис. 49. Горизонтальное проложение линии

многие факторы: 1) неучитываемые при измерениях неровности местности, вызывающие провисание, изгибы и перегибы ленты, увеличивающие результат измерений; 2) ошибки в определениях наклонов местности по профилю измеряемой линии; 3) ошибки при фиксировании концов ленты на местности; 4) ошибки при укладывании ленты в створ измеряемой линии; 5) ошибки при определении температуры мерной ленты; 6) ошибки, вызываемые различным состоянием грунта (каменистый, песчаный, глинистый сухой, смоченный, болотистый, вспаханный и т. д.). Другие ошибки измерений такие, как, например ошибка компарирования, ошибка в натяжении мерной ленты, ошибка в отсчитывании остатка измеряемой линии могут быть менее существенными по сравнению с вышеуказанными. Для уменьшения влияния указанных факторов на точность измерения мерной лентой необходимо: выбирать для измерений направления по ровной открытой местности с твердым грунтом, а если необходимо очистить линию от высокой травы, убрать поваленные деревья, срыть кочки; перед фиксированием ленту встряхнуть и дать натяжение 10—12 кг; шпильку втыкать в грунт по вертикали на глубину, обеспечивающую ее прочное закрепление и неподвижность; следить за укладкой ленты в створ, не допуская при этом отклонений концов ленты от створа более 30 см; при температурах ниже  $+10^{\circ}$  и выше  $+30^{\circ}$  необходимо измерять температуру ленты и вводить соответствующую поправку; также следует вводить поправку за компарирование, если она более 2 мм; рекомендуется производить измерение линии в двух ее направлениях.

4. *Определение горизонтальных проложений длин линий, измеренных мерной лентой.* Эклиметр. Для вычисления координат точек теодолитного хода необходимо иметь горизонтальное проложение измеряемой линии, т. е. иметь проекцию этой линии на горизонтальную плоскость. Для этой цели попутно с измерением длины линии измеряется при помощи теодолита или эклиметра угол наклона линии. Тогда горизонтальное проложение



найдем по формуле

$$s = S \cos v, \quad (IV.3)$$

где  $S$  — измеренная длина линии;  $v$  — угол наклона.

Если на местности (рис. 49) измерена линия  $AB$ , то для составления плана требуется знать длину линии  $AC$ , т. е. горизонтальную проекцию (проложение) линии  $AB$ .

Вычисление горизонтальных проложений по формуле (IV.3) удобно производить при помощи таблиц приращений координат (стр. 28) располагая эти вычисления в определенном порядке (табл. 24).

Таблица 24

Длины, м	Угол наклона	$\Delta x$ , м	Поправка $\Delta S_v$ , м	Горизонтальное проложение
300	3,5°	299,44	0,56	
20		19,96	0,04*	
5		4,99	0,01	
0,7		0,70	0,0	
325,7		325,09	-0,61	325,09

\* Поправку для 20 м находим по поправке для 200 м с последующим уменьшением ее в 10 раз.

Вычисление горизонтальных проложений можно производить при помощи Таблиц поправок за наклон линий, измеренных лентой.

Поправка за наклон измеренной линии равна

$$\Delta S_v = S - s = S - S \cos v = S(1 - \cos v);$$

$$\Delta S_v = 2S \sin^2 \frac{v}{2};$$

$$s = S - \Delta S_v. \quad (IV.4)$$

Эта поправка вводится всегда со знаком минус, т. е. эту поправку всегда вычитают из длины линии, измеренной лентой. Вычисление поправки в измеренную длину выполним по таблицам приращений координат и результаты запишем в табл. 24. Нахождение горизонтальных

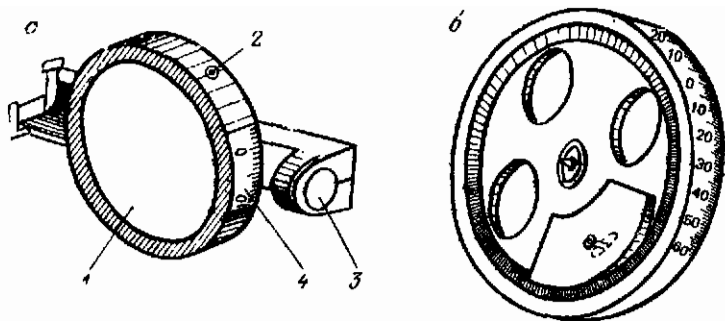


Рис 50. Эклиметр:

а — общий вид; б — подвешенный на шпильках круг эклиметра

положений по формулам (IV.3) и (IV.4) обеспечит надежный контроль правильности выполненных вычислений. Если углы наклона линии больше  $1^\circ$ , то необходимо измерять эти углы и вводить поправку в длину наклонной линии. Для измеряемой линии  $AB$ , представленной на рис. 48, потребуется измерить: длины двух ее отрезков  $AC$  и  $CB$ , а также два угла наклона  $\nu_{CA}$  и  $\nu_{CB}$ . В этом случае горизонтальное проложение  $A'B'$  линии  $AB$  (измеренной по частям) будет равно

$$A'B' = AC \cos \nu_{AC} + CB \cos \nu_{CB}. \quad (\text{IV. 5})$$

При углах наклона отрезков измеряемой линии меньше  $1,5^\circ$  поправки в измеренные отрезки за наклон не вводят. Для приближенного определения углов наклона местности по профилю измеряемой линии студенты снабжаются угломерным прибором, называемым эклиметром (рис. 50, а). Основными частями эклиметра являются: вертикальный круг 1, на внешней части которого нанесены 120 делений 4 через  $1^\circ$  с оцифровкой  $+60^\circ$ ,  $+50^\circ$ , ...,  $+10^\circ$ , ...,  $0^\circ-10^\circ$ , ...,  $-50^\circ$ ,  $-60^\circ$ ; корпус эклиметра, внутри которого на горизонтальной оси по типу маятника подвешен вертикальный круг; визирная трубка 3, жестко скрепленная с корпусом эклиметра. Под действием маятника вертикальный круг с делениями относительно отвесной линии самоустанавливается в одно и то же положение, хотя визирная ось эклиметра может быть при

этом расположена под любым углом наклона к горизонту. Если при горизонтальном положении визирной оси установить (отрегулировать) вертикальный круг так, чтобы отсчет по индексу (штриху) был равен  $0^\circ$ , то после такой регулировки (для чего имеется возможность перемещения груза маятника на круге), визируя вдоль измеряемой линии и производя отсчеты, определим угол наклона этой линии. Эклиметр имеет арретир для закрепления вертикального круга в корпусе в нерабочем положении. Освобождение круга-маятника от действия арретира выполняется нажатием кнопки 2 при измерении угла наклона. Измерение угла наклона выполняют с руки. Визирование осуществляется при помощи главного (щель) и предметного (нить) диоптров. После наведения визирной (диоптрийной) линии эклиметра на выбранную точку или линию нажимают кнопку арретирного устройства и, сохраняя совмещенное положение визирной оси с наблюдаемой точкой, ожидают, чтобы успокоился вертикальный круг, и отпускают кнопку арретира. Сделав отсчет, получают значение угла наклона. Для контроля углы наклона линий измеряют в прямом и обратном направлениях. Устройство эклиметра и метод его применения обеспечивают точность измерения угла наклона в пределах  $0,5^\circ$ . Для проверки правильности работы эклиметра на линии с углом наклона  $+5-10^\circ$  закрепляют вехами две точки и производят измерение углов наклона в прямом и обратном направлениях. При расхождениях углов наклона свыше одного градуса выполняют регулировку положения маятникового груза вертикального круга и вновь производят проверку. Эклиметр при измерениях линий мерной лентой применяется, если углы наклона не превышают  $4-5^\circ$ . При больших углах наклона следует применить вертикальный круг теодолита, так как в этом случае требуется более высокая точность измерения. Несколько повысить точность измерения эклиметром можно, если наблюдать не с руки, а с некоторого упора для руки. В работе по измерению длин сторон теодолитного хода лентой участвует весь состав бригады — два человека выбирают и закрепляют вершины углов поворота; два производят измерение длин сторон хода и один измеряет эклиметром углы наклона линии. Через каждые три измерения студенты меняются с тем, чтобы каждый член бригады ознакомился со всем комплексом работ.

### Определение расстояний нитяным дальномером

I. Задача: изучить геометрическую схему нитяного дальномера зрительной трубы геодезического прибора; выполнить определение постоянных дальномера зрительной трубы с внешним фокусированием и определить поправки расстояний, найденных дальномером зрительной трубы с внутренним фокусированием; освоить технологию определения расстояний нитяным дальномером.

II. Литература: *Гришберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, §§ 83, 84, 85, 86, 87, 88. Тахеометрические таблицы.

*Баканова В. В., Фокин П. И.* Таблицы приращений координат. М., Недра, 1982.

III. Приборы и оборудование: в зависимости от вида изучаемой съемки — теодолит со штативом, нивелир со штативом, или кипрегель с мензулой, мерная лента со шпильками, две шашечные рейки, две вехи, зонт, топор, колья, полевой журнал, логарифмическая линейка, микрокалькулятор.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение геометрической схемы зрительной трубы с внешним фокусированием нитяного дальномера;
- 2) определение параметров нитяного дальномера;
- 3) определение поправок расстояний, измеренных нитяным дальномером зрительной трубы с внутренним фокусированием;
- 4) определение горизонтальных проложений линий, измеренных нитяным дальномером;
- 5) технология измерения длин линий нитяным дальномером.

1. Изучение геометрической схемы нитяного дальномера зрительной трубы с внешним фокусированием. Сетка нитей зрительной трубы геодезических приборов (теодолитов, нивелиров, кипрегелей, тахеометров) имеет дополнительные штрихи  $m$  и  $n$  (рис. 51), называемые дальномерными штрихами, или дальномерными нитями.<sup>19</sup> Расстояние между дальномерными нитями  $P$  задается с таким расчетом, чтобы отношение фокусного расстояния объектива к расстоянию между дальномерными штрихами

$$f_{об}/P = K \quad (IV.6)$$

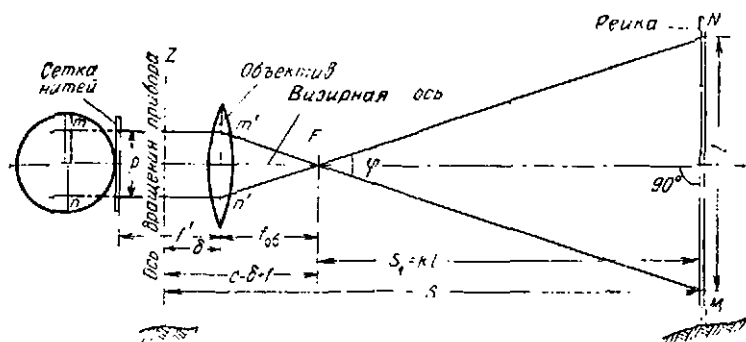


Рис. 51. Геометрическая схема нитяного дальномера

было равным  $K=100$  или  $K=200$ . Тогда определяемое расстояние  $S$  (см. рис. 51) найдем как сумму расстояний

$$S = S_1 + c; \quad S = Kl + c, \quad (IV.7)$$

$$S_1 = (f_{об}/P) l = Kl; \quad (IV.8)$$

где

$$c = f_{об} + \delta, \quad (IV.9)$$

$l$  — длина отрезка рейки, равная разности отсчетов по дальномерным штрихам.

Коэффициент дальномера  $K$  и постоянное слагаемое  $c$  указываются в паспорте прибора, но перед началом работ их следует вновь определять. Во время этих определений осваивается работа нитяного дальномера и уточняются величины параметров  $K$  и  $c$  по собственным измерениям наблюдателя.

## 2. Определение параметров нитяного дальномера.

Определение постоянного слагаемого  $c$  выполняется приближенно следующим способом. Измеряют расстояние от объектива до оси вращения прибора  $\delta$ , затем, после фокусировки зрительной трубы на удаленный предмет, измеряют расстояние от объектива до юстировочных винтов сетки нитей, равное фокусному расстоянию объектива  $f_{об}$ . Сумма  $f_{об} + \delta$  и будет равна постоянному слагаемому  $c$ . Определение коэффициента дальномера  $K$  выполняют на базисе, длину которого измеряют мерной лентой и нитяным дальномером. Применяя формулу (IV.7), найдем

$$K = (S - c)/l, \quad (IV.10)$$

где  $S$  — длина базиса, измеренного лентой.

Базис выбирают на ровной, почти горизонтальной ( $\nu < 2^\circ$ ) площадке, на которой намечают линию протяженностью 120 м. Конечные точки базиса закрепляют грунтовыми реперами, а в створе базиса при его измерении закрепляют кольями ряд промежуточных точек, удаленных от начальной на 5, 40, 60 и 100 м. После двукратного измерения длины базиса и его частей мерной лентой с относительной ошибкой не более 1 : 2000 устанавливают над начальной точкой базиса теодолит и визируют на рейку, устанавливаемую в вертикальном положении на кольях, которыми закреплены промежуточные точки базиса. При каждом визировании по рейке делают три отсчета: по верхней, средней и нижней нитям. Отсчеты производят с оценкой на глаз десятых долей сантиметровых делений рейки. Результаты отсчетов по рейке записывают в журнал определения коэффициента дальномера (табл. 25). В этом журнале записывают значение с нитяного дальномера, а также измеренные длины частей базиса. Вычисленные значения коэффициента нитяного дальномера не должны отличаться между собой более 0,4. Среднее значение коэффициента нитя-

Таблица 25

Определение коэффициента дальномера

Прибор кипрегель № 943А,  $f_{об} = 0,32$  м  $b = 0,18$  м,  $c = 0,50$  м.

Номер точки	Отсчеты по нижней, средней и верхней нитям, мм	Разность отсчетов по средней и верхней нитям, мм	Разность отсчетов по нижней и верхней нитям, мм	Измеренное расстояние $s$ , м	$S - c$ , мм	Коэффициент $K = \frac{S-c}{l}$
1	1445 1423 1400	22	45	5,00	4,50	100,0 —
3	1892 1595 1300	296	592	60,00	59,50	100,5
4	1992 1496 1000	496	992	100,00	99,50	100,3

Среднее значение  $K = 100,4$

Определение коэффициента выполняли студенты Д. И. Ямыз, К. Р. Ванин

ного дальномера, найденного из двукратных определений для всех отрезков базиса, принимают за окончательное его значение. Для повышения точности отсчитывания и для уменьшения трудоемкости обработки отсчетов одну из дальномерных нитей (например, видимую верхнюю нить) совмещают с дециметровым штрихом (рис. 52).

Тогда отсчет по верхней нити станет равным 1500 мм, по средней 1634 мм и по нижней 1767 мм. Откуда найдем, что длина отрезка рейки  $l$  равна разности отсчетов по дальномерным нитям, т. е.  $l = 1767 - 1500 = 267$  мм, а половина этого отрезка равна разности между отсчетами по средней и верхней нитям  $l/2 = 1634 - 1500 = 134$  мм. Таким образом, дополнительный отсчет по средней нити сетки служит некоторым контролем правильности произведенных отсчетов и определения разности отсчетов по дальномерным нитям.

При определении среднего значения  $K$  мы не включили его величину, вычисленную на первой точке, так как при коротком расстоянии до этой точки относительная ошибка дальномерного отрезка  $l$  по рейке с сантиметровыми шашками значительна, а поэтому ошибка определения  $K$  также окажется заметной. При определении  $K$  по коротким базисам следует выполнять отсчеты по миллиметровой шкале. По выполненным измерениям  $S$  и  $l$  можно определить не только  $K$ , но и  $c$ . Для этого напишем два уравнения типа (IV.7):

$$5,00 = 45K + c;$$

$$100,00 = 992K + c,$$

откуда

$$K = (100 - 5) \cdot 10^3 / (992 - 45) = 100,3 \text{ и } c = 5000 - 4514 = 486 \text{ мм.}$$

Одновременно с вычислением коэффициента и определением постоянного слагаемого (вместо того, чтобы размечать и изготавливать новые рейки) целесообразно для

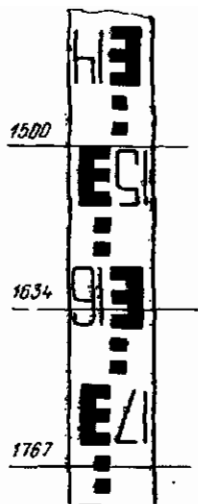


Рис. 52. Отсчет по дальномерной рейке

различных расстояний вычислить постоянные поправки  $P$  по формуле

$$P = S - 100 l, \quad (IV.11)$$

где  $S$  — измеренное лентой расстояние;  $l$  — разность отсчетов по дальномерным нитям. Эти поправки для примера, приведенного в табл. 26, к расстояниям 5, 60, 100 м соответственно равны  $+0,50$ ,  $+0,80$ ,  $+0,80$ .

3. *Определение поправок расстояний, измеренных нитяным дальномером зрительной трубы с внутренним фокусированием.* У большинства современных геодезических приборов зрительные трубы изготавливают с телеобъективом. При фокусировании на различно удаленные предметы фокусное расстояние телеобъектива изменяется, а следовательно, значение коэффициента  $K$  и слагаемого дальномера  $s$  также изменяется. Поэтому для нитяных дальномеров зрительных труб с внутренним фокусированием на базисах определяют поправки для различных расстояний, а затем эти поправки вводят в измеряемые расстояния. Поправки достаточно опреде-

Таблица 26

Журнал определения поправок нитяного дальномера  
Теодолит Т15 №

Номер определения	Длины отрезков базиса, м	Отсчеты по нижней, средней и верхней нитям, мм	Разность отсчетов по средней и верхней нитям, мм	Разность отсчетов по нижней и верхней нитям, мм	Дальномерное расстояние, м	Поправка $P$ расстояния, м
1	5,00	1449 1425 1400	24	49	4,90	+0,10
2	10,05	1500 1450 1400	50	100	10,00	-0,05
3	20,03	1601 1500 1400	101	201	20,10	-0,03
4	60,0	1800 1500 1200	300	600	60,00	0,00

Определение поправки нитяного дальномера выполняли студенты А. И. Васильев, И. П. Ананьев



лить для расстояний 5, 10, 20, 40, 60, 100, 140, 180 м, отмечаемых кольями на базисе полигона, и измерить их лентой или более точным дальномером с контролем. Для определения поправок устанавливают прибор на начальном пункте, а на закрепленных точках рейку и производят по ней отсчеты тремя нитями дальномера. Записи измеренных расстояний и отсчетов производят в журнале (табл. 26).

Вычисление поправок производят по формуле (IV.11). Определение поправок должно быть произведено по крайней мере двумя наблюдателями.

4. *Определение горизонтальных проложений линий, измеренных нитяным дальномером.* При измерении линий нитяным дальномером и дальномерной рейкой наклонное расстояние окажется равным

$$S = 100 l + P, \quad (\text{IV. 12})$$

или

$$\left. \begin{aligned} S &= Kl \cos v + c; \\ S &= Kl \cos v + P, \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV. 13})$$

а горизонтальное проложение станет равным

$$s = S \cos v; \quad s = Kl \cos^2 v + c \cos v, \quad (\text{IV. 14})$$

или

$$s = Kl \cos^2 v + P \cos v. \quad (\text{IV. 15})$$

Учитывая, что значения  $c$  и  $P$  величины сравнительно небольшие, а значение  $\cos v$  при малых углах  $v$  будет близким к  $\cos^2 v$  напишем, что

$$s = S \cos^2 v \quad (\text{IV. 16})$$

или

$$\begin{aligned} s &= (Kl + c) \cos^2 v; \\ s &= (Kl + P) \cos^2 v = S \cos^2 v \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} s &= S \cos^2 v = S - S \sin^2 v; \\ s &= S - \Delta S_v, \end{aligned} \quad (\text{IV. 17})$$

где поправка за наклон в измеренное нитяным дальномером расстояние по рейке вычисляется по формуле

$$\Delta S_v = S \sin^2 v. \quad (\text{IV. 18})$$

Величину поправки можно находить либо по ранее указанным таблицам, либо по тахеометрическим таблицам, либо при вычислении с помощью логарифмической

линейки. Измерение угла наклона  $\nu$  в этом случае выполняется при помощи теодолита, визирная ось трубы которого должна наводиться на высоту (по рейке), равную высоте прибора, установленного в начальной точке измеряемой линии. Поправку в измеряемое нитяным дальномером расстояние вводят в случае, если она окажется не менее 0,1 м, т. е. если  $S \sin^2 \nu \geq 0,1$  м. Например, при  $S=30$  м и  $\nu=2,5^\circ$ ,  $S=100$  м и  $\nu=2^\circ$ ,  $S=150$  м и  $\nu=1,5^\circ$ . Рассмотрим пример вычисления горизонтального проложения наклонной линии, измеренной нитяным дальномером с вертикальной рейкой.

**Пример.** Вычислить горизонтальное проложение  $s$  линии, измеренной нитяным дальномером с вертикальной рейкой, если  $S=120,3$  м и  $\nu=4^\circ 20'$ . Применяя «Таблицы приращений координат», найдем на стр. 197 поправку  $S \sin^2 \nu = 70$  см. Тогда  $s = S - S \sin^2 \nu = 120,3 - 0,7 = 119,6$  м. В этом случае поправку, равную 0,70 м, находим как сумму поправок на 100 м — 57 см, на 20 м — 11,4 см и на 0,3 м — 1,7 см. Эту поправку удобно вычислить при помощи логарифмической линейки. Для этого на шкале квадратов чисел корпуса линейки против числа 120,3 устанавливают левый конец движка со шкалой тригонометрических функций, затем штрих бегунка устанавливают по шкале  $\sin$  и  $\lg$  на отсчет, равный  $4^\circ 20'$ , и по шкале квадратов чисел штрихом установленного бегунка отсчитывают поправку  $S \sin^2 \nu$ , равную 0,7 м. Эта поправка всегда принимается со знаком минус. При массовых вычислениях поправок линий, измеренных нитяным дальномером, эти вычисления, выполняемые при помощи тахеометрических таблиц, логарифмической линейки, микро-ЭВМ, располагают в журналах, разграфка которых предусматривается соответствующими инструкциями.

**5. Технология измерения длин линий нитяным дальномером.** Нитяной дальномер находит широкое применение при производстве тахеометрической и мензуальной съемок, а также при всех видах геометрического нивелирования. Порядок работы на станции для каждого вида работ отдельно будет рассмотрен в соответствующих разделах. Здесь изложим последовательность собственно измерений длины линии нитяным дальномером зрительной трубы теодолита с вертикальной рейкой. До начала работ дальномер должен быть исследован, т. е. найдены коэффициент  $K$  и постоянное слагаемое  $s$ , если

применяется зрительная труба с внешним фокусированием, а для нитяного дальномера трубы с внутренним фокусированием определены его поправки для разных расстояний (см. пункты 2 и 3 настоящего задания).

Для измерения расстояния между двумя точками на одной из них устанавливают теодолит, а на другой рейку, затем рулеткой измеряют высоту прибора и наводят зрительную трубу на рейку так, чтобы средняя горизонтальная нить совпадала с отсчетом, равным высоте прибора; далее производят отсчеты по дальномерным нитям и по вертикальному кругу, пузырек алидады которого должен быть приведен в нуль-пункт. Эта последовательность наблюдений составляет один полуприем измерения расстояния между двумя точками. Для контроля выполненных измерений производят второй полуприем, переведя трубу через зенит. Вычисление длины ведут в такой последовательности: пользуясь отсчетами вертикального круга, вычисляют место нуля ( $MO$ ) и угол наклона  $\nu$ , а по разности дальномерных отсчетов, умножив ее на коэффициент дальномера и сложив с постоянной  $c$  или с поправкой  $p$ , вычисляют наклонное расстояние  $S$ , затем по углу наклона  $\nu$  и по расстоянию  $S$  вычисляют горизонтальное проложение между точками. Расхождение  $\Delta S$  расстояний, определенных в первом и во втором полуприемах, при хороших условиях работы не должно превышать

$$\Delta S/S \leq 1/400 - 1/300.$$

Для повышения точности измерения длин линий оптическими дальномерами были разработаны дальномеры двойного изображения.

### Задание IV.3

**Измерение расстояний дальномерной насадкой двойного изображения с постоянным параллактическим углом**

I. Задача: ознакомиться с типами дальномерных насадок двойного изображения с постоянным параллактическим углом и методами их применения.

II. Литература: *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 90, *Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 37, 38.

III. Геодезические приборы, оборудование и пособия: дальномерные насадки, топографический зонт, деревян-

ные-колья и топор; журналы, ручка, карандаши, пятизначные таблицы натуральных значений тригонометрических функций, микрокалькулятор, заводское описание дальномерной насадки.

#### IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение устройства дальномерных насадок и их закрепления на зрительной трубе теодолита, дальномерных реек;
- 2) установка (подготовка) дальномерного комплекта для измерения расстояния;
- 3) производство отсчетов по дальномерной рейке;
- 4) поверки, исследования и юстировка дальномерных насадок;
- 5) производство наблюдений при измерении ~~длины~~ сторон;
- 6) состав исполнителей и объемы лабораторных работ.

#### V. Указания по выполнению задания.

1. *Устройство дальномерной насадки и ее закрепление на зрительной трубе теодолита, дальномерные рейки.* В комплект каждого дальномера входят: дальномерная насадка и рейки, а также теодолит и дополнительное оборудование (противовес, приставки, подставки и др.). В соответствии с ГОСТ 22549—77 «Дальномеры двойного изображения. Общие технические условия» из дальномерных насадок с постоянным параллактическим углом выпускают ДНР-5. В производстве еще находят широкое применение насадки типа ДН-10, ДН-04 (ДД-3). Дальномерная насадка ДН-10 входит в дальномерный комплект к теодолиту Т30, а насадки ДН-04, ДНР-5 (ДНР-06) и ДД-3 могут входить в дальномерные комплекты с теодолитами Т2, Т5, Т10, Т15, ТТ-5. Дальномерная насадка ДНР-5 (ранее называвшаяся ДАР-100, ДНР-06) имеет редуцирующее устройство, позволяющее определять горизонтальное проложение измеряемой линии. Насадки ДН-04 и ДД-3 имеют одинаковое устройство, но положение их оптических деталей на корпусе зрительной трубы теодолита различно, так как ДН-04 рассчитана для работы с горизонтальной рейкой, а ДД-3 с вертикальной. Поэтому в рабочем положении главная плоскость ахроматической пары оптических клиньев дальномерной насадки ДН-04 должна быть горизонтальной, а ДД-3 — вертикальной. На рис. 53 дан общий вид насадки ДН-04 (ДД-3), которая создает параллактичес-

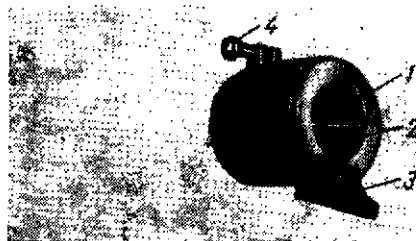


Рис. 53. Дальномерная насадка ДН-04

кий угол плоскопараллельной пластинкой 1 и ахроматическими клиньями 2, перекрывающими соответствующие половины светового отверстия насадки. При измерении углов теодолитом, на трубе которого закреплена насадка, половина светового отверстия 2, образованного оптическими клиньями, закрывается откидной крышкой 3. Закрепление насадки на посадочном месте корпуса зрительной трубы теодолита осуществляется закрепительным винтом 4. Расположение в оправе 1 ахроматической пары клиньев 2 показано на рис. 54. В этой же оправе заключена и плоскопараллельная пластинка (не показанная на чертеже). Расчетный угол между клиньями обеспечивается промежуточным полукольцом 3. Закрепление оптических деталей в оправе обеспечивается с равномерным давлением при помощи пружины 7 и гайки 6. Оправа оптических деталей крепится к корпусу насадки четырьмя винтами 5, при этом сферическая и коническая поверхности касания оправы 1 и корпуса 4 при вывинчивании одного из закрепительных винтов и завинчивании противоположного обеспечивают изменение положения клиньев. Последнее обстоятельство оказывает влияние на изменение параллактического угла дальномера двойного изображения. Поэтому закрепительные винты 5 одновременно являются исправительными при установлении коэффициента дальномера. Общий вид геодезического дальномера в виде дальномерной насадки ДН-04, закрепленной на посадочном месте корпуса зрительной трубы теодолита, представлен на рис. 55. Для обеспечения равновесия трубы на ее окулярную часть надевается противовес. Закрепление дальномерной насадки и противовеса осуществляется винтами 1, 2. При

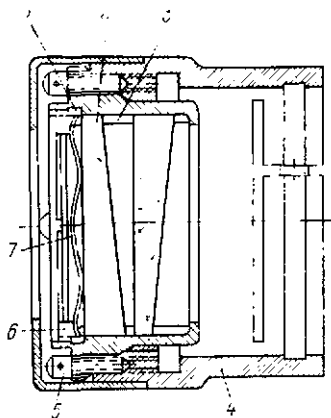


Рис. 54. Разрез дальномерной насадки ДН-04 (ДД-3)

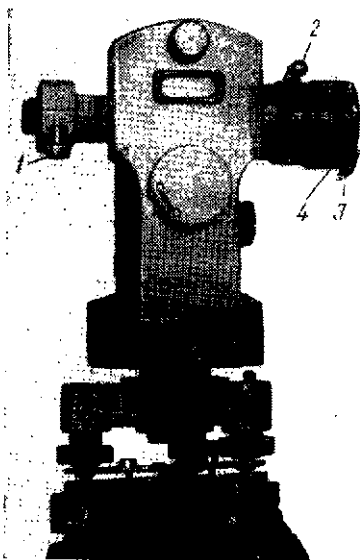


Рис. 55. Зрительная труба теодолита с дальномерной насадкой ДН-04 и противовесом

измерении расстояний откидная крышка 3 насадки должна занимать положение, указанное на рис. 55. Откидная крышка шарнирно связана с корпусом дальномерной насадки 4. В комплект дальномера ДН-04 входят две дальномерные рейки, устанавливаемые на штативах в горизонтальное положение (рис. 56). В комплект дальномера ДД-3 входят две рейки (рис. 57), устанавливаемые в отвесное положение. Рейки двусторонние с двухсантиметровой и сантиметровой шкалами. Шкалы изготовлены методом пробивки штрихов на инварных полосах, укрепляемых на обеих сторонах деревянного корпуса рейки, окрашенного в черный цвет. Горизонтальная рейка с двухсантиметровой шкалой снабжена двумя верньерами; та же рейка с сантиметровой шкалой и рейки к дальномерной насадке ДД-3 снабжены одним верньером 6. Верньеры размещены на рейках так, чтобы постоянное слагаемое дальномерных насадок, установленных на трубах теодолитов, не превышало 1 см. При измерении дальномером ДН-04 расстояний до 80 м применяют сантиметровую шкалу, при расстоянии до 125 м двухсантиметровую шкалу и второй ее верньер, величи-

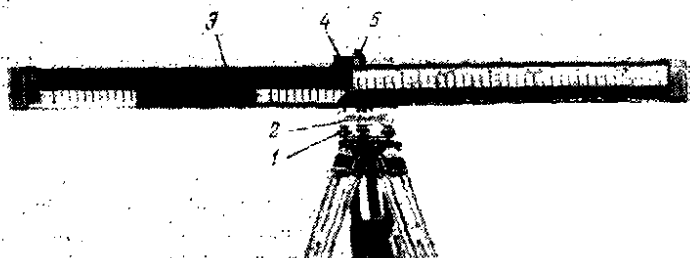


Рис. 56. Дальномерная рейка на штативе к насадке ДН-04

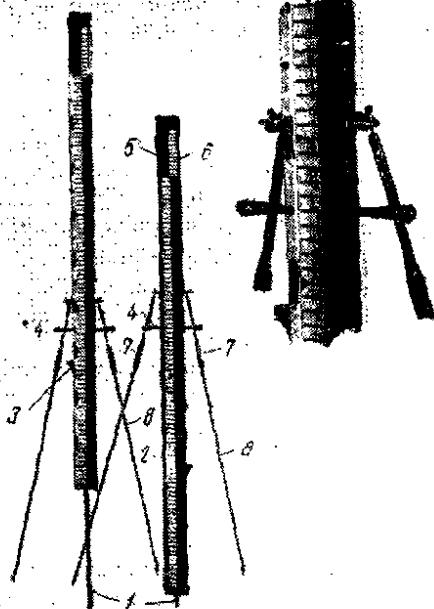


Рис. 57. Дальномерные рейки комплекта ДД-3

на смещения которого соответствует расстоянию 50 м на местности. Части инварной полосы, на которых пробиты штрихи основной шкалы и шкал верньеров, окрашивают в белый или желтый цвет, остальную часть в черный цвет. Такая система окраски обеспечивает контрастность изображения штрихов рейки и штрихов верньера, накладываемых на темный фон рейки. Рейка 3 дальномера ДН-04 (см. рис. 56) снабжена цапфой, при помощи которой она устанавливается во втулку подставки 2 и подъемными винтами 1 последней приводится в горизонтальное положение, фиксируемое уровнем 4. Перпендикулярное положение плоскостей рейки относительно визирной оси теодолита обеспечивается вращением ее вокруг оси втулки до совпадения оси оптического визира 5 рейки с направлением на дальномер. Съемные горизонтальные рейки обеспечивают применение трехштативной системы при измерении углов и линий дальномером ДН-04 в теодолитных ходах. Рейки дальномера ДД-3 (см. рис. 57) центрируют над точкой при помощи ее наконечника 1 (штырь) и устанавливают в вертикальное положение при помощи подпорок 8 и их нарезных муфт 7, вращением которых удлиняют или укорачивают подпорки. Вертикальность реек фиксируют по круглому уровню 3 (с ценой деления  $10'$ ). Проверка этого уровня производится путем установки рейки в отвесное положение при помощи нитяного отвеса, закрепляемого на откидном крючке 5 и совпадающего с острием откидного центра 2. При спокойных изображениях рейки в безветренную погоду рейку можно удерживать в вертикальном положении руками без подпорок. Для этой цели рейки снабжены двумя ручками 4. Для транспортировки дальномерная насадка и противовес укладывают в футляр, а рейки в чехлы. При надевании насадки на зрительную трубу следует повернуть насадку так, чтобы плоскость стыковки оптических клиньев и плоскопараллельной пластинки были параллельны устанавливаемой рейке. В дальномере ДН-04 эта плоскость стыковки должна быть горизонтальной, а в дальномере ДД-3 — вертикальной.

Редукционный дальномерный комплект ДНР-5 (ДНР-06) к теодолитам Т5, Т5К, Т15, Т15К включает дальномерную насадку, закрепляемую на посадочном месте корпуса зрительной трубы, противовес, устанавливаемый на окулярный конец трубы, бипризму, две рейки с чехлами и футляр для упаковки насадки и противовеса.



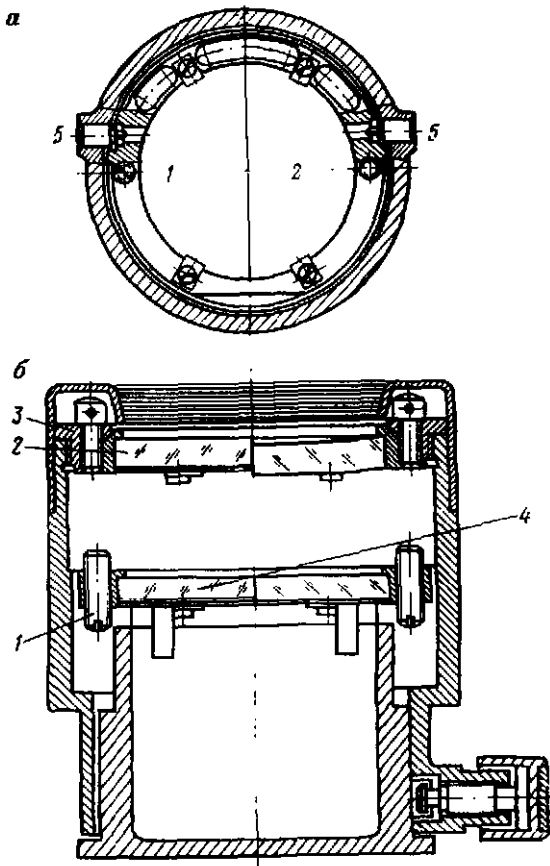


Рис. 58. Редукционная дальномерная насадка ДНР-05 (ДНР-06)

са. Закрепление насадки ДНР-5 и противовеса на зрительной трубе осуществляется так же, как при установке насадки ДН-04 (см. рис. 55). В двух половинах светового отверстия 1, 2 дальномерной насадки ДНР-5 встроены оптические детали: половина 1 (рис. 58, а) перекрыта оптическим клином 2, скрепленным неподвижно с корпусом 3 насадки (рис. 58, б) и оптическим клином 4, подвешенным на горизонтальной шарикоподшипниковой оси 5 (см. рис. 58, а), расположенной выше центра тяжести клина. Такое подвижное закрепление оптического

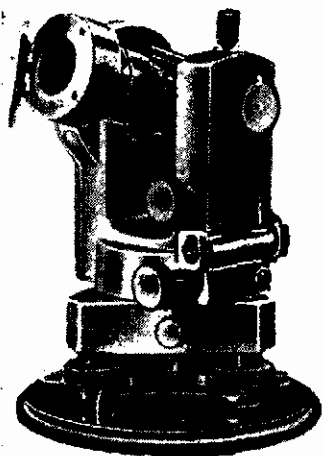


Рис. 59. Теодолит Т30 с дальномерной насадкой ДН-10

клина 4 обеспечивает при наклонах зрительной трубы в пределах  $\pm 20^\circ$  постоянное положение относительно отвесной линии. Предложенное Г. К. Бесчастным устройство оптических клиньев в дальномерной насадке обеспечивает точное редуцирование измеренных расстояний на горизонтальную плоскость при углах наклона до  $12^\circ$ ; при больших углах наклона следует вводить поправку. Вторая половина светового отверстия 2 (см. рис. 58, а) перекрыта телескопической линзой, состыкованной по торцу с оптическим неподвижным клином и плоскопараллельной пластинкой, состыкованной с подвижным

оптическим клином 4 (см. рис. 58, б). Состыкованные (склеенные) телескопическая линза и оптический клин 2, а также плоскопараллельная пластинка и оптический клин 4, контур которых образует окружность, взяты в отдельные оправы. Телескопическая линза обеспечивает добавочное увеличение  $\Gamma = 110/111$  и является элементом дифференциального микрометра. Изменяя при помощи винтов 1 (рис. 58, б) положение клина 2, можно изменять (юстировать) коэффициент дальномера для достижения его значения, равного 100. Рейки дальномера ДНР-5 имеют ту же конструкцию, что и рейки дальномера ДД-3 (см. рис. 57), а верньер, у которого 10 делений его шкалы равны 11 делениям шкалы рейки, обратный.

Дальномерный комплект ДН-10 к теодолиту Т30 (рис. 59) так же, как дальномерный комплект ДНР-5, включает: дальномерную насадку, закрепляемую на посадочном месте корпуса зрительной трубы, противовес, две рейки с чехлом и футляр для упаковки насадки и противовеса. Схематическое устройство насадки ДН-10 представлено на ее разрезе (рис. 60). Отрицательные полулинзы 1, 3 и положительные полулинзы 2, 4 изготовлены из одной отрицательной и одной положительной

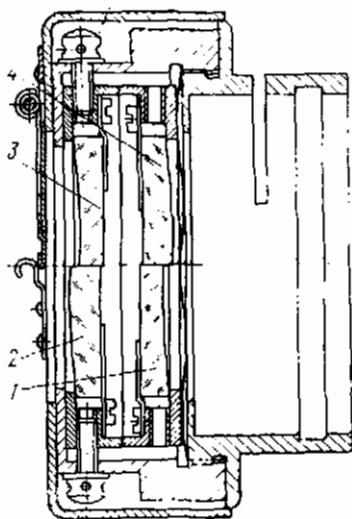


Рис. 60. Разрез дальномерной насадки ДН-10



Рис. 61. Дальномерная рейка ДН-10

линз, разрезанных пополам. Такое изготовление полулинз обеспечивает равенство длины фокусных расстояний одноименных полулинз. Равны и эквивалентные фокусные расстояния левой и правой пары полулинз. Помимо точного обеспечения равенства фокусных расстояний полулинз, радиусы их кривизны, марки стекла, толщины по оси подобраны так, что эквивалентные фокусные расстояния правой и левой пары полулинз близки к бесконечности, т. е. образованная система является афокальной и имеет увеличение  $\Gamma = 90/89$ .

Для образования параллактического угла первая и вторая пары полулинз, взятые в оправы, смещены по

высоте в разные относительно оси стороны на определенную, заранее рассчитываемую величину. Первую пару полулинз можно перемещать исправительными 5 винтами по вертикали и по горизонтали. Вторую пару линз можно перемещать только по вертикали. Перемещения полулинз могут потребоваться при юстировке коэффициента дальномера, который должен быть равным 200. Дальномерная рейка (рис. 61) двусторонняя. Каждая шкала имеет прямой «разреженный» верньер, деления которого вдвое удлинены и половина их нанесена, поэтому пять его делений дополнительно вынесены на обкладку рейки. «Разреженный» верньер удобен при измерении длинных расстояний (до 200 м) зрительными трубами с малым увеличением, особенно при колебаниях изображений. Рейка снабжена круглым уровнем и стойкой (длиною 0,5 м), надеваемой на наконечник рейки, если необходимо поднять визирный луч над поверхностью почвы.

*2. Установка (подготовка) дальномерного комплекта для измерения расстояния.* Перед началом работы с дальномером необходимо изучить устройство прибора по прилагаемому к нему техническому описанию. Перед установкой дальномерной насадки на теодолит следует рассмотреть ее положение в футляре с тем, чтобы по окончании работы ее правильно сложить. Затем насадку надевают на посадочное место теодолита и слегка затягивают ее закрепительный винт, но так, чтобы можно было вращать ее вокруг оси трубы. На окулярную часть зрительной трубы надевают противовес и закрепляют винтом (в ДД-3 тремя винтами). Устанавливают теодолит с дальномерной насадкой ДН-04 на одном из конечных пунктов измеряемой стороны, а на другом устанавливают дальномерную рейку. Под установкой теодолита и рейки следует понимать центрировку их на конечных пунктах и приведение теодолита и горизонтальной рейки по установочным уровням. Наводят зрительную трубу на рейку и в поле зрения замечают два ее изображения (одно построенное, например, лучами, прошедшими через плоскопараллельную пластину, другое — оптическим клином). Если будет видно одно изображение рейки, то следует проверить положение откидной крышки, которая должна занимать положение, показанное на рис. 55 (т. е. должна быть открытой). После такой предварительной установки дальномера и рейки смотрят в трубу и поворачи-

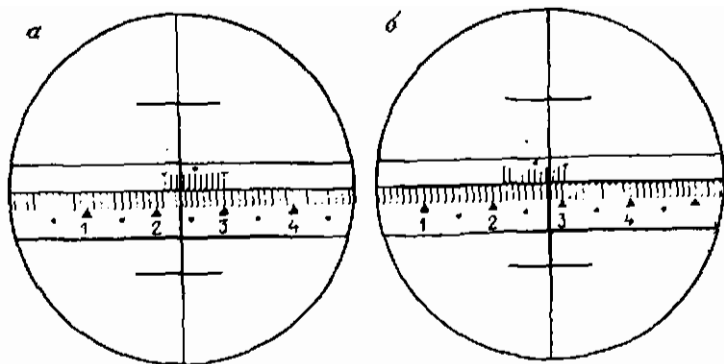


Рис. 62. Поле зрения трубы:

а — до совмещения штрихов; б — после совмещения штрихов; отсчет 21, 673

чивают насадку так, чтобы оба изображения рейки оказались точно наложенными одно на другое по ширине и сдвинутыми вдоль длины рейки на величину, обусловленную параллактическим углом. При таком совмещении изображения рейки и при принятой окраске реек изображения шкал рейки и ее верньера в поле зрения трубы будут наиболее четкими. В этом положении насадку закрепляют. Далее наводят трубу на рейку так, чтобы вертикальная нить сетки нитей у ДН-04 и горизонтальная у ДД-3 была наведена на нулевой штрих верньера (рис. 62, а). Точность верньера, определяемая по формуле (III.1)

$$i = \lambda / (n + 1),$$

где  $\lambda$  — цена деления шкалы рейки;  $n + 1$  — число делений верньера. (При цене деления рейки 1—2 см и  $n + 1 = 10$  составляет 1—2 мм.)

Может оказаться, что ни один штрих верньера не совместится со штрихом шкалы рейки, тогда точность отсчитывания будет невысокой. Оптика дальномеров ДН-04, ДНР-5, ДН-10 и ДД-3 позволяет использовать ее в качестве средства для необходимого точного совмещения штрихов рейки и верньера, чем достигается высокая точность отсчитывания. Объяснение этого совмещения и системы отсчитывания рассмотрим ниже. При последующем применении теодолита для измерения го-

горизонтальных и вертикальных углов откидная крышка должна быть закрыта. Дальномерная насадка остается на трубе все время, в течение которого производят линейные измерения.

3. *Производство отсчетов по дальномерной рейке.* Для уяснения принципа действия дальномера ДИ-04 (ДД-3) предварительно рекомендуется произвести такой опыт. На стол положить лист бумаги, разграфленный в клетку, и накрыть его куском оконного стекла (плоскопараллельной пластинкой). Затем взять в руки стекло, сделать перемещение его плоскости над плоскостью листа бумаги. При этих движениях стекла мы не заметим движения линии на бумаге. Далес на поверхность бумаги положим лупу (большого диаметра 3—5 см) и начнем перемещать ее над бумагой. В этом случае заметим, что линии разграфки бумаги под лупой станут перемещаться, в то время как линии разграфки под оконным стеклом сохраняют свою неподвижность. Возникающие перемещения линий разграфки будут тем больше, чем больше будет увеличение лупы. Такой же эффект получим, если перемещать лист бумаги, а плоскопараллельную пластинку и лупу оставить неподвижными. Таким образом, если рассматривать под различными увеличениями перемещающиеся шкалы, то помимо общего перемещения шкал заметим дополнительное их перемещение. Этот эффект дополнительного взаимного передвижения изображений шкал одной относительно другой при рассмотрении под разным увеличением их общего передвижения использован в конструкции дальномера ДД-3, а также дальномеров ДНР-5 и ДН-10. В рассматриваемых дальномерах ДН-04 (и ДД-3) половина светового отверстия насадки, перекрытая парой оптических клиньев, дает дополнительное увеличение, необходимая величина которого рассчитывается и равна  $\Gamma=90/89$ . Рассматривая в зрительную трубу изображения (см. рис. 62, а) шкалы рейки и верньера, при совмещении вертикальной нити сетки нитей с пульсовым штрихом верньера замечаем, что штрихи рейки и верньера не совпадают. Для совмещения штрихов перемещают зрительную трубу по азимуту в пределах шкалы верньера и замечают, что шкала верньера смещается и, наконец, одна пара штрихов совместились. В этот момент останавливают движение трубы по азимуту и производят отсчет по рейке. Полный отсчет по рейке (см. рис. 62, а) состоит из числа:

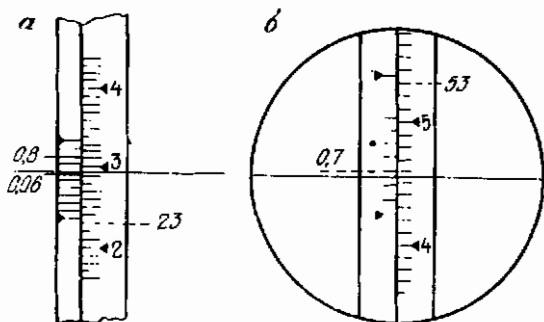


Рис. 63. Отсчеты по рейкам

1) целых делений рейки до нулевого штриха верньера — 21;

2) десятых долей делений рейки, равное номеру совмещившегося штриха верньера, — 0,6;

3) сотых долей деления рейки, равное числу целых делений верньера слева от нити сетки, — 0,07;

4) тысячных долей деления рейки, определяемое положением нити сетки, — 0,005.

Полный отсчет составляет 21,675.

Шкала рейки в данном случае имела сантиметровые деления, поэтому, умножая число сантиметров на коэффициент дальномера, равный 100, получим, что измеренное расстояние равно 21,675 м. При измерении расстояний больше 80 м применяют другую сторону дальномерной рейки, имеющей двухсантиметровые деления и второй верньер. В этом случае полученный отсчет необходимо удвоить и, если отсчет производили по второму верньеру, к вычисленному расстоянию следует прибавить 50 м. Измерения расстояний дальномером необходимо контролировать. Для этого производят повторные измерения. Для повторного измерения вертикальную нить сетки нитей движением алидады горизонтального круга доводят до последнего штриха верньера и обратным движением алидады до нового совмещения штрихов верньера и рейки. Расхождение между двумя отсчетами по одной стороне рейки не должно превышать  $1/800$  величины отсчета. Если применяли рейку с сантиметровыми делениями, за окончательный отсчет принимают среднее арифметическое из двух отсчетов, а при двухсантимет-

ровых делениях за окончательный отсчет принимают сумму двух полученных отсчетов. Расстояние, измеренное дальномером ДН-04, в общем случае будет наклонным. Поэтому необходимо при измерении расстояний дальномером ДН-04 одновременно измерять и углы наклона  $\nu$ . Тогда горизонтальное проложение измеряемого расстояния получим введением поправки, вычисленной по формуле (IV.4).

Система отсчитывания по дальномеру ДД-3 такая же, как и по дальномеру ДН-04 с той лишь разницей, что рейка и плоскость стыковки клиньев и пластин в насадке занимает вертикальное положение. При отсчетах перемещают зрительную трубу в вертикальной плоскости до совмещения штрихов рейки и верньера. Отсчет по дальномерной рейке ДД-3 (рис. 63, а) также складывается из числа:

- 1) целых делений рейки до начала верньера — 23;
- 2) делений верньера до совмещенного штриха верньера — 0,8;
- 3) целых делений верньера до горизонтальной нити — 0,06;
- 4) десятых долей деления между младшим штрихом верньера и горизонтальной нитью — 0,003.

Полный отсчет составляет 23,863.

Для получения второго отсчета сдвигают зрительную трубу в вертикальной плоскости от последнего штриха верньера. При этом необходимо обращать внимание на положение перекрестия нитей с тем, чтобы они не выходили за шкалу верньера. Допустимое расхождение двух отсчетов не должно превышать  $1/500$  отсчета. Горизонтальное проложение измеряемой линии определяют путем введения поправки за угол наклона биссектрисы параллактического угла и за неперпендикулярность рейки к этой биссектрисе. Поправка, вычисляемая по формуле (IV.18), равна

$$\Delta S_0 = S \sin^2(\nu + 17,2'), \quad (\text{IV.18}')$$

где  $S$  — расстояние, измеренное дальномером;  $\nu$  — угол наклона линии визирования, определенный на штрих верньера, совмещенного со штрихом рейки;  $17,2'$  — половина параллактического угла, котангенс которого равен 100.

Если коэффициент дальномера равен 200 (у ДН-10), то угол наклона биссектрисы параллактического угла



$v = +8,6'$ . Углы наклона измеряют теодолитом с насадкой при закрытом положении откидной крышки насадки. Вычисление угла наклона производят по формулам, соответствующим применяемому теодолиту.

Чтобы убедиться в точности совмещения штрихов верньера со штрихом рейки, следует уточнить это совмещение по положению смежных его штрихов. Симметричное расположение смежных штрихов верньера и шкалы относительно линии совпадающих штрихов и одинаковые размеры несоответствия этих смежных штрихов верньера со смежными штрихами шкалы рейки укажут на то, что достигнуто точное совмещение штрихов. Точность совмещения штрихов будет тем выше, чем спокойнее будет изображение штрихов. Поэтому измерения следует выполнять в часы спокойных изображений.

Отсчет по дальномерной рейке ДНР-5, верньер которой является обратным, включает числа:

- 1) целых делений шкалы, пройденных нулевым штрихом верньера, — 53,0;
- 2) десятых долей, равное числу делений верньера до совмещенного штриха, — 0,7;
- 3) сотых долей деления, равное числу целых делений верньера до горизонтальной нити, — 0,07;
- 4) тысячных долей деления, равное числу десятых долей деления между горизонтальной нитью и младшими штрихами верньера, — 0,004.

Полный отсчет (рис. 63, б) составляет 53,774, а расстояние 107,55 м.

Измеренное расстояние в этом случае является горизонтальным проложением. Рассмотрим систему отсчета по дальномерной рейке ДН-10, имеющей разреженный верньер, длины шкалы и деления которого в два раза больше этих длин прямого верньера. В разреженном верньере пять его делений нанесены на номинальной длине и пять на обкладке рейки. Точность такого верньера равна 0,2 деления шкалы рейки. Поэтому часть отсчета, выполненная по верньеру, должна быть удвоена. Так, отсчет, равный 21,472 (рис. 64), должен быть изменен на

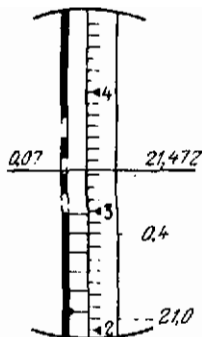


Рис. 64. Отсчет по рейке ДН-10

21,944. Вместо удвоения рекомендуется обратным повторным движением трубы получить второй отсчет — 21,476. Тогда полный отсчет будет равен сумме  $21,0 + 0,472 + 0,476 = 21,948$ . Удваивая этот отсчет, получают измеренное наклонное расстояние, равное 43,896 м. Вместо удвоения можно выполнить второй прием измерений и сложить его результат с результатом измерений в первом приеме, например  $21,948 + 21,940 = 43,888$  м. При отсчетах по пятисантиметровой шкале рейки, так же как и в предыдущем примере, выполняют по два совмещения штрихов в каждом из двух приемов и суммируют их. Например, в первом приеме  $12,0 + 0,410 + 0,420 = 12,830$  и во втором  $12,0 + 0,408 + 0,416 = 12,824$ . Затем находят среднее значение из двух приемов — 12,827, удесетеряют это среднее и получают значение измеренного наклонного расстояния, равнос 128,27 м. Поправку за наклон линии определяют по измеренному углу наклона визирной линии при ее наведении на штрих верньера, совмещенный со штрихом рейки.

4. *Проверки, исследование и юстировка дальномерных насадок.* При осмотре дальномерного комплекта проверяют, чтобы:

1) каждый комплект дальномера имел техническое описание и инструкции по его применению;

2) футляры или ящики для укладки дальномерной насадки и противовеса были пыле- и влагонепроницаемыми и снабжены плечевыми ремнями, защелками;

3) на внутренней поверхности крышек укладочных ящиков была фотография, поясняющая размещение дальномера и его принадлежностей;

4) чехлы для укладки реек были целыми и могли предохранять их от влаги;

5) поверхности оптических деталей дальномера были просветлены;

6) уровни, оптические визиры, исправительные винты горизонтальных реек ДН-04 не были повреждены;

7) штыри и подставки вертикальных реек (ДД-3) не были погнутыми.

При проверках и исследованиях реек проверяется соответствие их техническим требованиям.

1. Дальномерные рейки в плоскости шкалы и ребра не должны иметь прогибов. Проверка производится с помощью натянутой нити, приложенной к торцам рейки и линейки. Стрелка прогиба дальномерных реек ДН-04 и

ДН-10 не должна превышать 5 мм и дальномеров ДНР-5 и ДД-3 — 10 мм.

2. Коллимационная плоскость визира рейки дальнера ДН-04 должна быть перпендикулярна к плоскостям шкал рейки. Для проверки выполнения этого условия на местности устанавливают теодолит, при помощи которого строят прямой угол, закрепляемый двумя вехами на расстоянии 30—60 м от вершины угла. Затем вынимают из подставки теодолит, а на его место устанавливают рейку и визируют на одну из вех. Если условие выполнено, то изображение вертикального штриха визира рейки совместится с направлением на вторую веху. Если условие не выполнено, необходимо, отпустив винты крепления кронштейна визира, повернуть визир по азимуту до совмещения изображения его штриха с заданным направлением, затем вновь закрепить кронштейны и вновь произвести поверку.

3. Ось круглого уровня, укрепленного на рейке дальнера ДН-04, должна быть перпендикулярна к линии основания штрихов рейки. После проверки правильности закрепления кронштейна визира рейку оставляют на том же штативе, а на расстоянии 10—20 м от него по направлению третьего винта подставки рейки устанавливают снова теодолит, с помощью которого проверяют горизонтальное положение основания шкал рейки. Если основание окажется наклоненным, то двумя подъемными винтами подставки приводят рейку в горизонтальное положение, а пузырек круглого уровня в нуль-пункт. Затем, поворачивая рейку, повторяют эту поверку. Одновременно проверяют расположение оснований шкал рейки и верньера. Основания должны быть на одной прямой. Ось уровня рейки дальнера ДД-3 должна быть параллельна линии основания шкалы рейки. Для проверки этого условия подвешивают на крючке 5 (см. рис. 57) отвес и устанавливают рейку так, чтобы отвес совпал с центром 2. При этом приводят пузырек круглого уровня рейки в нуль-пункт. Рейку можно установить в отвесное положение и при помощи теодолита, визируя на линию основания шкалы и на боковую грань рейки.

4. В изображении десяти делений шкалы верньера должно поместиться изображение девяти делений основной шкалы рейки. Рен шкалы верньера рейки допускаются в пределах 0,01 деления шкалы, при большой величине рена рейки бракуется. Определяют рен шкалы вернь-

ера путем сравнения общей длины шкалы верньера с длиной соответствующего интервала шкалы рейки. Сравнения выполняют не менее шести раз на разных частях шкалы рейки. Одновременно проверяют величину параллакса между изображениями шкал рейки и верньера. Ошибки в положении оси любого дециметрового штриха дальномерной рейки ДН-04 и ДД-3 относительно оси начального штриха не должны превышать  $0,007 \sqrt{l}$ , где  $l$  — число дециметров до исследуемого штриха. Ошибка в положении оси любого штриха шкалы верньера относительно оси начального штриха не должна превышать  $0,3l$ , где  $l$  — длина шкалы верньера в дециметрах. Разность длин шкал двух реек, входящих в комплект ДН-04, не должна превышать  $0,2$  мм, а в комплект ДД-3 —  $0,4$  мм. Длины шкал определяют компарированием с помощью штриховой меры типа IV (контрольной линейкой), двумя приемами. Точность отсчитывания  $0,02$  мм. Между приемами при компарировании штриховую меру смещают.

5. Крепление дальномерной насадки ДН-04 (ДД-3) на корпусе зрительной трубы теодолита должно обеспечивать неизменное положение насадки при измерении, поэтому отсчеты по рейке при повторных закреплениях насадки могут изменяться лишь в пределах, обеспечивающих точность измерений  $\Delta S/S \approx 1/2500$ . Для проверки этого условия устанавливают дальномер, а на расстоянии  $50$ — $100$  м от него рейку и производят измерения расстояния четырьмя приемами (8 отсчетов), находят среднее значение из отсчетов. Затем насадку снимают и вновь закрепляют, повторяя измерения. Следует произвести  $8$ — $10$  перестановок насадки. Колебание средних значений измеренных расстояний  $S$  не должно превышать  $S/3000$ . При закреплении насадки на зрительной трубе теодолита необходимо плотно прижимать торец ее корпуса к корпусу зрительной трубы.

6. Коэффициент дальномеров ДН-04 и ДД-3 должен быть равен  $100$ , а постоянное слагаемое  $c$  должно быть известно. Для определения этих величин строят базис, общая длина которого равнялась бы примерно  $130$  м (рис. 65, а). Базис включает три секции: первая секция I—II длиной  $10$  м, вторая II—III —  $48$  м и третья III—IV —  $72$  м. Базис должен быть построен в районе работ, на ровной местности и закреплен надежными центрами. Базис следует измерять мерными проволока-

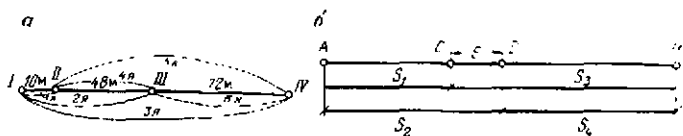


Рис. 65. Схема базиса

ми базисного прибора или одной проволокой в прямом и обратном направлениях, или двумя проволоками в одном направлении. Относительное расхождение между двумя измерениями не должно быть больше 1 : 25 000. Измеренная длина компаратора должна быть приведена на горизонтальную плоскость. Первая секция предназначается для определения постоянного слагаемого дальномера  $c$ , а первая плюс вторая, первая или вторая плюс третья, а также вторая и третья секции для определения коэффициента дальномера  $K$ .

Приведем рекомендуемую полную программу наблюдений определения коэффициента  $K$  и постоянного слагаемого дальномера ДН-04;

1) устанавливают дальномер над центром I, наблюдают первую рейку с двухсантиметровыми делениями, последовательно устанавливаемую над центрами II, III, IV, затем наблюдают вторую рейку, устанавливаемую на тех же центрах. Сантиметровые шкалы каждой рейки наблюдают при установке реек над центрами II и III. При этом измеряют каждую секцию тремя приемами, добиваясь совмещения штрихов шкал верньера и рейки в первом полуприеме движением зрительной трубы от младшего штриха верньера к старшему, а во втором полуприеме движение трубы направлено от старшего штриха верньера к младшему. Таким образом, каждую из указанных секций базиса измеряют по одной стороне рейки шесть раз;

2) устанавливают дальномер над центром II и наблюдают двухсантиметровые шкалы каждой рейки, последовательно устанавливаемой над центрами I, III, IV; сантиметровые шкалы обеих реек наблюдают при установке их над центрами I и III;

3) устанавливают дальномер над центром III и наблюдают обе шкалы каждой рейки, устанавливаемой над центрами I, II и IV;

Таблица 27

Номер секций базиса	Номер граничных знаков секций базиса	Протяженность секции базиса, м	Число приемов* наблюдений по двухсантиметровой шкале		Число приемов* наблюдений по сантиметровой шкале	
			прямо	обратно	прямо	обратно
1	I—II	10	6	6	6	6
2	I—III	58	6	6	6	6
3	I—IV	130	6	6	—	—
4	I—III	48	6	6	6	6
5	II—IV	120	6	6	—	—
6	III—IV	72	6	6	6	6
Всего приемов			36	36	24	24

\* По каждой шкале рейки производят три приема наблюдений. Температуру воздуха измеряют при каждой установке дальномера на знаке.

Таблица 28

Номер секций базиса	Номер граничных знаков секций базиса	Протяженность секции базиса, м	Число приемов наблюдений по двухсантиметровой шкале		Число приемов наблюдений по сантиметровой шкале	
			прямо	обратно	прямо	обратно
1	I—II	10	2	—	2	—
2	I—III	58	2	—	2	—
3	I—IV	130	2	—	—	—

4) заканчивают измерения установкой дальномера над центром базиса IV, с которого ведут наблюдения по двухсантиметровым шкалам каждой рейки, устанавливаемой над центрами I, II и III; по сантиметровой шкале наблюдали рейку над центром III. Таким образом, объем наблюдений для определения коэффициентов по полной программе наблюдений можно характеризовать данными, приведенными в табл. 27.

Для дальномера ДН-04 перед наблюдением по полной программе производят предварительные определения коэффициента  $K$  и постоянного слагаемого этого дальномера по сокращенной программе, устанавливая дальномер на базисном знаке I и рейки на знаках II, III и IV. Объем наблюдений, проводимых по сокращенной программе, приведен в табл. 28.



Для наблюдения по сокращенной программе над центрами базиса I, II, III, IV устанавливают (оптический центриром) штативы с подставками для установки дальномерных реек и дальномера. Установив дальномер над центром I, а над центрами II и III дальномерные рейки, приступают к измерению одним приемом по сантиметровым и двухсантиметровым шкалам обеих реек. Результаты измерений записывают в журнал измерений (табл. 29). В графах 1—3 журнала записывают сведения о месте установки дальномера и реек, а также номера и длины секций базиса, по которым определяли  $K$  и  $c$ . В графах 6—9 записывают отсчеты (в полуприемах) по сантиметровым и двухсантиметровым шкалам рейки обеих реек. Так как колебания средних отсчетов в приемах измерений оказались меньше  $1/3000$ , то за окончательный отсчет приняли его среднее значение из всех приемов. По этим отсчетам вычислили значения  $c$ , принимая  $K=100$ . Коэффициент  $K$  вычислили без учета  $c$ , и определили, что он отличается от расчетного (номинального) меньше  $1/2000$ , поэтому решение о юстировке коэффициента принимают после определения его по полной программе. Производить исправление коэффициента  $K$  рекомендуется только, если значение его отличается от 100 на 0,07. Юстировку следует производить исправительными винтами 5 (см. рис. 54), поворачивая в одну или другую сторону оправу с блоком клиньев путем ослабления одного и подтягивания другого винта 5. При этом юстировку следует выполнить так, чтобы коэффициент дальномера отличался от расчетного ( $K=100$ ) не более 0,02. Исправление коэффициента выполняют обычно один раз перед началом измерений. Но проверку коэффициента после его юстировки следует вести ежедневно, а при установлении его постоянства эти проверки можно выполнять реже (ежедневно или два раза в месяц).

Добиться идеально точной установки номинального значения коэффициента, равного 100, трудно. Поэтому при точных измерениях расстояний дальномером ДН-04 следует применять коэффициент, определяемый по полной программе измерений.

5. *Производство наблюдений при измерении длин сторон дальномерной насадкой ДН-04 (ДД-3).* Измерения дальномерной насадкой ДН-04 (ДД-3) рекомендуется производить в утренние и послеполуденные часы



спокойных изображений. При облачной погоде измерения ведут весь день. Измерение длины линии, как правило, производят дважды (в прямом и обратном ходе), при установке дальномера на обоих ее концах. Измерение линий в одном направлении состоит из двух отсчетов (пары отсчетов) по одной стороне рейки. При неспокойных изображениях штрихов производят две пары отсчетов. Расхождение между отдельными отсчетами не должно быть более  $S/2000$ , а расхождение прямого и обратного измерений или двойных измерений в одном направлении не должно превышать  $S/3000$ . Стороны длиной до 125 м дальномерной насадкой ДН-04 измеряют прямо и обратно, установив на одном конце линии дальномер, а на другом рейку. Линии большей протяженности измеряются по частям. Для этой цели (рис. 65, б) в створе между конечными точками  $AB$  глазомерно (по вехам, установленным в точках  $A$  и  $B$ ) задают примерно в середине линии две точки  $C$  и  $D$ , закрепляемые временными центрами (кольями). На точках  $C$  и  $D$  центрируют дальномерные рейки и направляют их шкалы при помощи визиров на точку  $A$ , где установлен дальномер, и определяют расстояния  $S_1$  и  $S_2$ . После этого шкалы реек направляют на точку  $B$ , куда переносят дальномер, и измеряют части  $S_3$  и  $S_4$ . Общая длина линии  $AB$  равна

$$S_{AB} = \frac{(S_1 + S_3) + (S_2 + S_4)}{2}. \quad (IV.19)$$

Надежным контролем измерений служит равенство

$$S = S_2 - S_1 = S_3 - S_4,$$

где  $S$  — расстояние между центрами  $C$  и  $D$ , измеренное непосредственно стальной рулеткой.

Расхождение двух измерений  $(S_1 + S_3) - (S_2 + S_4)$  не должно превышать  $S_{AB}/3000$ . Приведенная схема удобна для исполнения в том случае, если одновременно с линейными измерениями на точках  $A$  и  $B$  измеряют углы. Если измерения углов не производят, длина линии может быть измерена при иной расстановке дальномерного оборудования, а именно над центрами  $A$  и  $B$  устанавливают рейки, а дальномер последовательно на точках  $C$  и  $D$ . Общий порядок измерения расстояния дальномером ДН-04 заключается в следующем. Выполнив поверки, исследования и юстировки теодолита, дальномера, реек

и признав комплект ДН-04 годным, приступают к измерению расстояний. Дальномер ДН-04 и его рейка устанавливаются на конечных точках измеряемой линии; открывается откидная крышка дальномера и зрительная труба наводится на горизонтально установленную рейку так, чтобы изображения основной шкалы рейки и верньера были четко разделены, вертикальная нить сетки нитей была совмещена с нулевым делением шкалы верньера. Вращают наводящий винт горизонтального круга по направлению возрастания штрихов и тщательно совмещают наиболее близко расположенные штрихи верньера и рейки. Производят первый отсчет  $n_1$ . Продолжив несколько вращение наводящего винта в том же направлении, останавливаются и начинают обратное вращение винта до нового совмещения штрихов основной шкалы рейки и шкалы верньеров. Производят второй отсчет  $n_2$ ; этим заканчивается прием. Расхождение вычисленного расстояния по первому и второму отсчетам не должно превышать  $S/2000$ . Закончив прием дальномерных определений, отсчитывают по вертикальному кругу и находят угол наклона. Результаты наблюдений записывают в журнал линейных измерений, форма которого в зависимости от назначения линейных измерений может быть различной. При измерениях следует обращать внимание, по какой шкале производили отсчеты, каким из верньеров производили отсчет по двухсантиметровой шкале. Если измерение вели по шкале сантиметровых делений, то  $S = (Kn_1 + Kn_2) / 2$ , при двухсантиметровой шкале  $S = Kn_1 + Kn_2$ , а если отсчеты вели по второму верньеру, то  $S = Kn_1 + Kn_2 + 50$ . Если расстояния измеряют дальномером ДД-3, то выполняют два отсчета: один по первой шкале рейки и другой по второй шкале. Для измерения угла наклона наводят визирную ось трубы на штрих рейки, который был совмещен со штрихом верньера, и прибавляют к измеренному углу половину параллактического угла дальномера.

#### Состав исполнителей; объем лабораторных работ

При проведении лабораторных занятий с дальномером ДД-3 или ДН-04 каждые два студента получают дальномерный комплект, рулетку и дальномерную сантиметровую шкалу. Зарисовывают в рабочих тетрадях оптическую схему дальномерной насадки и теодолита, поле зре-

ния трубы с показанием расположения штрихов основной шкалы и верньера и записью одного приема отсчетов; измеряют рулеткой расстояние от дальногомера до рейки.

В условиях летних практик дальномерный комплект получает бригада студентов в составе пяти человек. В дальномерный комплект включают две рейки. Каждый студент производит поверки рейки, уровней; исследует некоторые характеристики, определяет коэффициент дальногомера на одном звене базиса, выполняя измерения по двум шкалам одной и другой рейки. Каждый студент измеряет две стороны теодолитного хода в прямом и обратном направлениях с одновременным измерением углов наклона измеряемых линий. Другие студенты в это время ведут полевой журнал, устанавливают и переносят приборы, наблюдают за установленными рейками, зонтом и другим оборудованием. Каждый студент обрабатывает результаты своих измерений и получает окончательные значения исследуемых характеристик дальногомера (коэффициент), длину измеренных сторон и их горизонтальных проложений. Усвоение студентом устройства дальногомера и техники его применения проверяется руководителем группы на зачетах в институте и на летних практиках.

#### *Задание IV.4*

### **Измерение расстояний дальномерной насадкой ДН-8 двойного изображения с переменным параллактическим углом**

I. Задача: ознакомиться с принципом действия и устройством дальномерного комплекта с переменным параллактическим углом, с некоторыми основными его исследованиями; изучить способы производства линейных измерений дальномером.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967.

*Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 41.

III. Геодезические приборы, оборудование, пособия: технический теодолит, дальномерная насадка ДН-8, две дальномерные рейки с подставками, уложенными в футляр, три штатива (к теодолиту и рейкам), стальная рулетка, микрокалькулятор, таблицы поправок за наклон линий, зонт, топор, колья, журнал линейных измерений, ручка, журнал поверок.

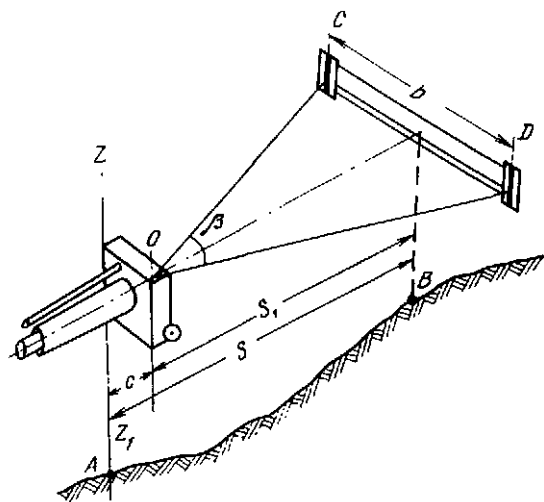


Рис. 66. Определение расстояния дальномерным комплектом ДН-08

#### IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление с принципом действия дальномерного комплекта ДН-8;
- 2) изучение устройства дальномерной насадки ДН-8 для измерения параллактического угла и рейки;
- 3) подготовка дальномерного комплекта для измерения параллактических углов;
- 4) измерение параллактического угла дальномерной насадкой ДН-8;
- 5) проверки, исследование и юстировка дальномерного комплекта ДН-8;
- 6) измерение расстояний дальномерной насадкой ДН-8;
- 7) предварительная обработка результатов измерений длин линий дальномерным комплектом ДН-8.

#### V. Указания по выполнению задания.

1. *Ознакомление с принципом действия дальномерного комплекта ДН-8.* Для измерения расстояния между точками *A* и *B* (рис. 66) на одной из них устанавливают базу в виде рейки с двумя марками *C* и *D*, расстояние между которыми известно, а на другой точке угломерное устройство, позволяющее с высокой точностью измерять параллактический угол  $\beta$ . Установка рейки и

угломерного устройства выполняется так, чтобы биссектриса угла  $\beta$  проходила через среднюю точку рейки и была перпендикулярна к ней. Тогда расстояние от вершины параллактического угла до базы найдем из выражения

$$S_1 = (b/2) \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (\text{IV.20})$$

При малых параллактических углах можно принять

$$S_1 = b\rho''/\beta; \quad S_1 = K/\beta, \quad (\text{IV.21})$$

где  $S_1$  — расстояние от оси вершины параллактического угла до плоскости марок рейки;  $\beta$  — параллактический угол;  $\rho''$  —  $206\,265''$ ,  $K$  — коэффициент дальномера.

Для перехода к определению измеряемого расстояния  $AB$  необходимо учесть постоянное слагаемое  $c$  (см. рис. 66). Тогда  $S$  — измеряемое расстояние будет равно

$$S = S_1 + c; \quad S = K/\beta + c. \quad (\text{IV.22})$$

Точность измеренного расстояния характеризуется относительной ошибкой, имеющей вид

$$m_S/S = m_\beta/\beta, \quad (\text{IV.23})$$

где  $m_\beta$  — ошибка измерения параллактического угла.

Поэтому повышение точности измерения расстояния дальномером можно достичь уменьшением ошибки измерения угла и увеличением параллактического угла. При существующей длине базы (в виде дальномерной рейки) 1018 мм расстояние 200 м при измерении параллактического угла с точностью  $1''$  измеряется с ошибкой 0,2 м или с относительной ошибкой, равной  $1/1000$ . Для измерения параллактического угла с точностью  $1''$  потребовалось бы применить высокоточный теодолит, а технический теодолит Т15 обеспечивает точность измерения расстояния ниже точности нитяного дальномера. Поэтому было разработано особое устройство к техническому теодолиту в виде дальномерной насадки ДН-8, обеспечивающей измерение параллактического угла с ошибкой менее  $1''$ .

2. *Изучение устройства дальномерной насадки ДН-8 для измерения параллактического угла и рейки.* В комплект дальномера двойного изображения с постоянной базой входят следующие приборы:

1) дальномерная насадка ДН-8, предназначенная для измерения параллактических углов в пределах  $0—1\,200''$ ;

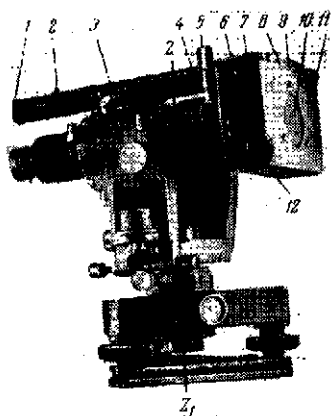


Рис. 67. Дальномерная насадка ДН-08 (ДНТ)

2) две дальномерные рейки, снабженные двумя базами — 550 и 1018 мм;

3) технический теодолит, на корпусе трубы которого закрепляется насадка;

4) три раздвижных штатива;

5) щелевая диафрагма, надеваемая на окуляр трубы;

6) бипризма, устанавливаемая взамен сетки нитей.

Общая компоновка дальномерной насадки, закрепленной на зрительной трубе, показана на рис. 67. Дальномерная насадка ДН-8, как и ранее выпускавшие-

ся насадки ДНБ-2, ДНТ, ДНТ-2, применяется с техническими теодолитами ТТ-50, ТТ-5 и другими, наружный диаметр корпуса трубы которых равняется посадочному диаметру насадки.

Насадка (см. рис. 67) состоит из корпуса 7, компенсатора и трубки шкалового микроскопа 1. Передняя крышка 8 корпуса компенсатора снимается, открывая доступ к юстируемым узлам компенсатора. Крышка имеет два входных световых отверстия: первое 9 — для освещения шкалы компенсатора и второе 10 — для визирования зрительной трубой на базисную рейку. Винтом 5 дальномерная насадка закрепляется на корпусе зрительной трубы теодолита. Трубка микроскопа для доступа к юстируемым оптическим узлам имеет два отверстия, закрываемых люками 3 и 4. На верхней части насадки укреплен диоптрийный визир 2, 6. Перемещение установочной каретки компенсатора осуществляется при помощи винта, головка 11 которого расположена сверху на левой стороне корпуса компенсатора. Измерительная каретка компенсатора передвигается наводящим винтом, головка 12 которого расположена снизу на правой боковой стороне корпуса компенсатора.

Линзовый компенсатор (рис. 68) состоит из двух пар длиннофокусных полулинз — первой измерительной пары 10, 12 и второй установочной 11, 13. Измерительная и

установочная пары линз укреплены в каретках, которые наводящими винтами 11, 12 (см. рис. 67) насадки могут передвигаться по горизонтальным направляющим. Измерительную и установочную пары линз (рис. 69, фрагмент рис. 68) получают так: берут отрицательную вогнуто-выпуклую 10, 13 и положительную выпукло-вогнутую 11, 12 линзы и каждую из которых распиливают пополам. Радиусы кривизны боковых поверхностей линз подбирают так, чтобы абсолютные величины фокусных расстояний линз были равны между собой, т. е. чтобы линзы образовывали афокальную оптическую систему. Составляя переднюю измерительную пару полулинз компенсатора (см. рис. 68) из половин отрицательной 10 и положительной 12 линз, а установочную пару из положительной 11 и отрицательной 13, получают афокальную оптическую систему компенсатора, состоящую из двух пар полулинз и закрепленную в двух каретках: измерительной и установочной. Каретки перемещаются независимо одна от другой. При перемещениях установочной каретки перемещается лишь изображение рейки, а при движениях измерительной каретки перемещаются изображения рейки, видимое в поле зрения трубы 9, и шкала 8 компенсатора, рассматриваемая в поле зрения микроскопа. Величину перемещения измерительной пары линз 10, 12 фиксируют соответствующими перемещениями изображения штрихов шкалы 8 относительно неподвижной шкалы 5 микроскопа. Изображение шкалы 8, построенное сложным объективом 6, 7 на плоскопараллельной пластинке 5 шкалы микроскопа, рассматривается окуляром 4 микроскопа. Таким образом, в поле зрения микроскопа (рис. 70) видны штрихи двух шкал. При вращении головки наводящего винта 12 (см. рис. 67) в поле зрения микроскопа (см. рис. 70) штрихи шкалы перемещаются относительно неподвижной шкалы микроскопа. Каждый пятый штрих шкалы 8 (см. рис. 68) оцифрован от 0 до 120, номинальная цена деления шкалы равна 10". Неподвижная шкала микроскопа, равная одному делению шкалы 8, разделена на десять интервалов и предназначена для отсчитывания части большого деления до отсчетного (нулевого) индекса. Полный отсчет (см. рис. 70) равен 88,35 (в угловой мере 883,5"). Для устранения помех при совмещении изображения штрихов рейки в оптическую схему зрительной трубы (на рис. 68 оптика трубы не показана) включают бипризму 3, для

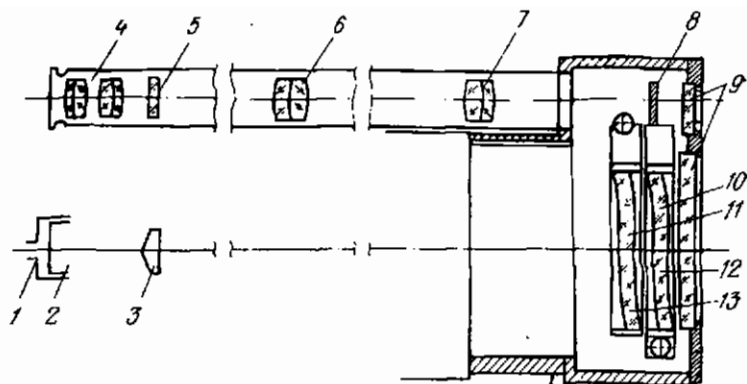


Рис. 68. Схема устройства дальномерной насадки ДН-08

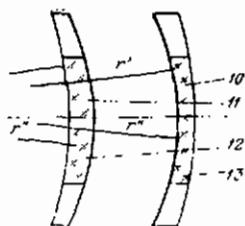


Рис. 69. Линзы для компенсатора ДН-08

чего снимают плоскопараллельную пластинку с сеткой нитей и на ее месте закрепляют бипризму, на гранях которой нанесены штрихи сетки нитей. С такой же целью на оправу окуляра 2 надевают щелевую диафрагму 1. Заметим, что ось щели диафрагмы и ребро бипризмы должны быть параллельны поверхностям (плоскостям) стыковки полулинз компенсатора. Дальномерная рейка (рис. 71) представляет собой штангу 2, изготовленную из дюралюминиевой трубы, на которой закреплены две конечных 1, 10 и две внутренних 3, 9 марки, образующих два базиса дальномера. В средней части штанги 11 имеются соосные цапфы-хвостовики для установки рейки во втулку подставки 5 и для укрепления на рейке визирной марки 6, необходимой при измерении углов. Подставка 5, с помощью трех подъемных винтов 12 которой рейка устанавливается в горизонтальное положение, закрепляется станковым винтом 13 на штативе 4.

Со штангой дальномерной рейки скреплены оптический визир 7 и установочный уровень 8, назначениями



Рис. 70. Поле зрения  
микроскопа  
насадки  
ДН-08

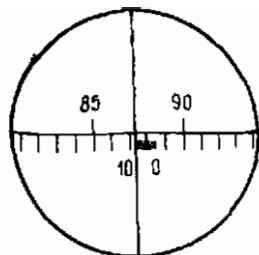
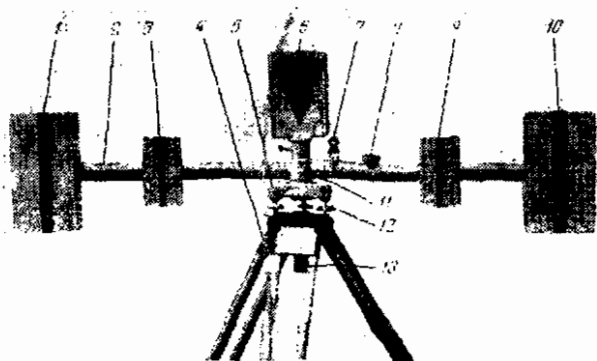


Рис. 71. Дальномерная  
рейка ДН-08 на штати-  
ве



которых является установка плоскости дальномерных марок рейки по перпендикуляру к визирной линии дальномера и оси вращения рейки по вертикали. Малый базис  $b=550$  мм применяют при измерении расстояний от 50 до 180 м. Линию данную больше 180 м измеряют с применением концевых базисных марок, расстояние между которыми равно 1018 мм.

В торцевую полую часть трубки 2 (штанги) вкладывается термометр для определения температуры рейки при измерениях параллактических углов. В комплект дальномера входят две рейки, укладываемые с подставками в один ящик-футляр. Дальномерные рейки приспособлены для измерений по трехштативной системе.

3. Подготовка дальномерного комплекта для измерения параллактических углов. Производят замену сетки нитей теодолита бипризмой в условиях геодезической лаборатории. Для этой цели снимают колпачок, защищающий юстировочные винты сетки нитей; вывинчивают винты, скрепляющие окуляр зрительной трубы с ее корпу-

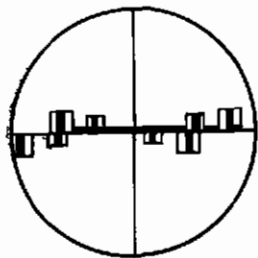


Рис. 72. Поле зрения трубы с дальномерной насадкой ДН-08

сом и, ослабив юстировочные винты, вынимают сетку нитей, а на ее место ставят бипризму так, чтобы ребро бипризмы было параллельно оси вращения зрительной трубы. Укрепляют окуляр на корпусе зрительной трубы и выполняют проверку положения сетки нитей. Затем навинчивают на окуляр щелевую диафрагму и закрепляют ее в таком положении, при котором ось щели диафрагмы должна быть параллельна оси вращения трубы. После установки бипризмы и щелевой диа-

фрагмы надевают насадку на посадочное место корпуса зрительной трубы и закрепляют ее так, чтобы нижняя грань корпуса насадки была параллельна оси вращения трубы. В таком виде дальномер закрепляют на штативе, установленном на конечной точке измеряемой линии.

Горизонтируют и центрируют дальномер и рейку над конечными точками линии и наводят зрительную трубу на дальномерную рейку, а визир рейки на основную ось дальномера (теодолита). Для наведения визира рейки на дальномер отпускают закрепительный винт подставки рейки и руками поворачивают ее до совмещения оси визира с дальномером. После закрепления в таком положении рейки плоскость ее базисных марок будет перпендикулярна к визирной оси дальномера. Отфокусировав трубу дальномера по рейке, наклоняют трубу наводящим винтом до совпадения линии раздвоения изображений (ребра бипризмы) с осью штанги рейки.

В этом случае в поле зрения трубы дальномера появится изображение двух частей рейки (рис. 72), расположенных выше и ниже ребра бипризмы и смещенных вдоль этого ребра. Вращая головки винтов установочной или измерительной каретки компенсатора, замечают, что изображения одноименных марок рейки станут расходиться или сближаться. Это свидетельствует о том, что дальномер подготовлен к работе.

4. *Измерение параллактического угла дальномерной насадкой ДН-8.* Измерение параллактического угла компенсатором дальномера ДН-8 производят по одной паре базисных марок, т. е. либо по паре малых марок, рас-

стояние между осями которых равно 550 мм, либо по паре больших марок, разнесенных на 1018 мм. Поэтому при измерениях параллактического угла необходимо наблюдать лишь одну пару марок, а именно: пару малых марок при измерении расстояний до 180 м или пару больших марок при измерении расстояний больше 180 м. Программа одного приема измерений параллактического угла после подготовки комплекта дальномера к наблюдениям состоит из следующих пунктов:

1) наводящим винтом измерительной каретки компенсатора устанавливают в поле зрения микроскопа отсчет, близкий к 60 (рис. 73, а);

2) наводящим винтом установочной каретки компенсатора совмещают в поле зрения трубы дальномера одноименные рейки  $a'$  с  $a''$  и  $b'$  с  $b''$ ;

3) наводящим винтом алидады теодолита вводят изображение совмещенных марок на середину поля зрения трубы (см. рис. 73, а);

4) вращая наводящий винт измерительной каретки компенсатора, точно совмещают разноименные штрихи  $b'$  с  $a''$  и берут первый отсчет по шкале микроскопа  $n_1$ , равный 14,35 (рис. 73, б);

5) вращая наводящий винт измерительной каретки в противоположном направлении, совмещают другую пару разноименных марок  $a'$  с  $b''$  и берут второй отсчет  $n_2$  равный 106,33 (рис. 73, в);

6) вычисляют параллактический угол, измеренный в первом полуприеме и равный  $\beta_1 = n_2 - n_1$ . Во втором полуприеме, после сдвига изображений марок примерно на четверть оборота винта установочной каретки операции повторяются в обратном порядке, а

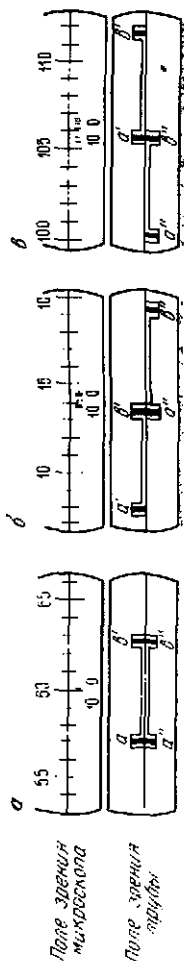


Рис. 73. Положения марок рейки и шкалы микроскопа при измерении параллактического угла

именно: вращением головки винта измерительной каретки компенсатора вновь точно совмещают марки рейки, разведенные установочным винтом, и производят по шкале микроскопа отсчет  $n_3$  по величине, близкой к  $n_2$ ; затем, вращая головку измерительного винта, совмещают разноименные марки (см. пункт 4) и берут отсчет  $n_4$ , близкий к отсчету  $n_1$ . Параллактический угол  $\beta_2$ , измеренный во втором полуприеме и равный  $n_4 - n_3$ , не должен отличаться от величины того же угла, вычисленного по результатам измерений первого полуприема более 0,15 деления шкалы компенсатора, т. е. расхождения значений угла в полуприемах не должны превышать 1,5". При больших расхождениях угла полуприемы измерений повторяют. Значение угла, измеренного одним приемом наблюдений, принимают

$$\beta = (\beta_1 + \beta_2)/2. \quad (IV.24)$$

При определениях дальномером ДН-8 расстояния, меньшего 100 м, измеряют половину параллактического угла. После наведения ребра бипризмы на штангу рейки, вращением измерительного винта устанавливают в поле зрения микроскопа отсчет, близкий к нулю, а затем вращением головки установочного винта приблизительно совмещают одноименные марки  $a'$  с  $a''$  (см. рис. 73, а) и наводящим винтом алидады теодолита вводят изображение совмещенных марок на середину (в центр) поля зрения трубы. После этого измерительным винтом компенсатора точно совмещают одноименные марки и производят первый отсчет по шкале компенсатора  $n_1$ . Продолжая вращение измерительного винта, точно совмещают разноименные марки  $a'$  с  $b''$  (рис. 73, в) и производят второй отсчет  $n_2$  по той же шкале. Измеренный в первом полуприеме угол равен половине параллактического угла

$$\beta'/2 = n_2 - n_1. \quad (IV.25)$$

Сместив установочным винтом (четвертью его оборота) положение изображений марок рейки, снова их точно совмещают вращением измерительного винта и производят отсчет  $n_3$ . Продолжая вращение измерительного винта, точно совмещают одноименные марки и производят отсчет  $n_4$ . Разность отсчетов

$$n_4 - n_3 = \beta''/2 \quad (IV.26)$$

также равна половине параллактического угла. Поэтому параллактический угол будет равен сумме двух измеренных половин углов

$$\beta = \beta' / 2 + \beta'' / 2 = (n_2 + n_4) - (n_1 + n_3) \quad (\text{IV.27})$$

или сумме двух старших отсчетов без суммы двух младших. Расхождение измеренных половин параллактического угла в каждом полуприеме не должно превышать 0,15 деления шкалы компенсатора или 1,5". Форма журнала для записи результатов измерений приведена ниже.

5. *Поверки, исследования и юстировка дальномерного комплекта ДН-8.* При осмотре проверяют, все ли принадлежности комплекта дальномера ДН-8 в наличии:

а) дальномерная рейка с концевыми и промежуточными марками с центральной съемной маркой, уровнем, визиром, термометром — 2 шт.;

б) укладочный для реек футляр — 1 шт.;

в) бипризма — 1 шт.;

г) щелевая диафрагма — 1 шт.;

д) штативы раздвижные со станowymi винтами — 2 шт.;

е) подставка для установки реек на штативе — 2 шт.;

ж) техническое описание дальномера — 1 шт.

Проверяют: четкость изображения штрихов шкалы компенсатора и микроскопа; надежность крепления насадки на посадочном месте корпуса зрительной трубы и подставок на головке штативов, плавность вращения реек во втулке подставки и надежность ее закрепления в подставке; просветлена ли оптика насадки; целостность термометров и уровней на рейках; отсутствие скручивания плоскостей марок рейки; чистоту открытых поверхностей насадки, рейки, марки, подставки, штативов, пыле- и брызгонепроницаемость укладочных футляров. Затем производят поверки.

*Ось круглого уровня должна быть перпендикулярна к штанге рейки и параллельна оси вращения рейки во втулке подставки.* Для этого на местности устанавливают на расстоянии 20—30 м два штатива с подставками для реек и:

а) ставят в одну из подставок теодолит, применяемый совместно с дальномерной насадкой, устанавливают его по уровням при алидаде;

б) затем устанавливают теодолит на второй штатив,

а на первом штативе закрепляют в подставке рейку;

в) при помощи зрительной трубы теодолита проверяют и если необходимо, то устанавливают штангу рейки в горизонтальное положение подъемными винтами подставки, а юстировочными винтами уровня, укрепленного на штанге рейки, приводят его пузырек на середину ампулы;

г) поворачивают рейку во втулке подставки на  $180^\circ$  и определяют положение пузырька круглого уровня. Если пузырек переместился за пределы второго кружка кольцевой шкалы ампулы, то, действуя юстировочными винтами уровня, перемещают его к середине ампулы на половину его перемещения. Эту поверку выполняют дважды.

*Коллимационная плоскость визира должна быть перпендикулярна к плоскости марок дальномерной рейки.* При помощи теодолита, установленного над точкой местности, строят прямой угол, стороны которого закрепляют кольями и обозначают веками, удаленными от теодолита на 50—100 м. Затем вынимают из подставки теодолит и на его место ставят дальномерную рейку. Поворачивают рейку во втулке подставки до совмещения на глаз плоскости марок с направлением на одну из вех, а коллимационной плоскости с направлением на другую веку. Если такого совмещения нет, то исправляют положение визира на рейке путем его поворота после ослабления крепежных винтов его кронштейна. После закрепления кронштейна визира поверку повторяют.

*Ось съёмной центральной марки для угловых измерений должна совпадать с осью цапфы (хвостовика) рейки, вставляемой во втулку подставки.* Для этого устанавливают на штативах теодолит и горизонтальную рейку, расстояние между которыми 50—100 м. На хвостовике горизонтальной рейки закрепляют центральную марку и подвешивают к крючку станového винта отвес. После установки по уровню теодолита и рейки вращением рейки от руки наводят ось визира на ось теодолита, а вертикальную нить сетки нитей зрительной трубы — на ось симметрии фигуры центральной марки. Если вертикальная нить сетки нитей совпадает с изображением нити отвеса в пределах одного миллиметра, то условие выполнено. При больших расхождениях эту поверку повторяют вновь и наносят штрих на необходимом месте марки:

а) расстояния между осями штрихов средних и крайних марок двух реек, входящих в дальномерный комплект, не должны расходиться более 0,1 и 0,2 мм соответственно. Это условие проверяется по контрольной линейке с точностью отсчитывания до 0,02 мм при двух смещениях линейки;

б) штрихи на одноименных марках дальномерных реек должны быть между собой параллельны. Проверка выполняется с помощью контрольной линейки при измерении расстояний между осями штрихов в верхней и нижней частях,

в) разность в ширине штрихов на марках рейки не должна превышать 0,2 мм. Проверка производится совместно с проверкой расстояний между осями штрихов марок (пункт а).

*Ребро бипризмы, установленной на место сетки нитей зрительной трубы теодолита, должно быть перпендикулярно к основной оси прибора.* Закрепляют теодолит на кронштейне или на столбе в том помещении, где производили замену сетки нитей бипризмы, тщательно горизонтируют и наводят разделительную линию зрительной трубы на четко видимую точку. Поворачивая алидаду теодолита наводящими винтами, наблюдают за положением этой линии относительно точки. Если при этом движении разделительная линия смещается относительно наблюдаемой точки, то сняв защитный колпачок и отпустив винты крепления окуляра с корпусом трубы, устанавливают бипризму в нужное положение. Эту проверку следует выполнить непосредственно после предварительного закрепления бипризмы в зрительной трубе теодолита, предназначенного для дальномерных измерений.

*Ось щелевой диафрагмы должна быть параллельна ребру бипризмы, а ширина щели должна быть нормальной (0,8 мм) или несколько меньше.* При нарушении этих условий в поле зрения трубы появляется дополнительное изображение, расположенное на продолжении основного. Для устранения перекоса щели диафрагмы рассматривают ее и ребро бипризмы, удаляясь от окуляра зрительной трубы на расстояние примерно 0,25 м. Замеченный перекося исправляют поворотом диафрагмы. Если после этого дополнительные изображения остаются, следует заменить диафрагму или заклейить щель фольгой, в которой прорезать новую щель необходимой ширины.

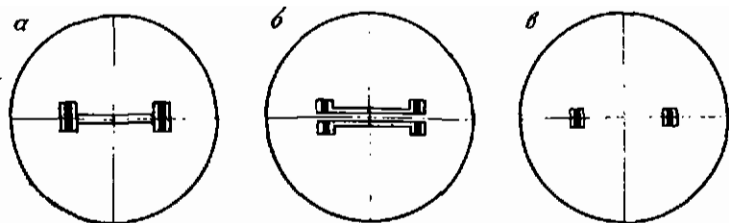


Рис. 74. Изображение марок рейки

*Изображение рейки, видимое в поле зрения трубы дальномера, не должно иметь искажений по высоте. На рис. 74 показаны три изображения рейки: нормальное (рис. 74, а), вытянутое с разрывом (рис. 74, б), сжатое (рис. 74, в). Для исправления искажений изображения рейки необходимо снять переднюю крышку 8 насадки (см. рис. 67) и, глядя в зрительную трубу, юстировочными винтами измерительной каретки компенсатора, установить нормальное изображение рейки.*

*Видимая длина отсчетной шкалы микроскопа должна быть равна видимой длине одного деления шкалы компенсатора. Среднее значение рена отсчетной шкалы, найденное из шести определений на разных частях дальномерной шкалы (например, 10, 30 ...), не должно превышать 0,1 деления этой шкалы.*

*При большем значении рена его устраняют перемещением передней линзы 7 (см. рис. 68) объектива микроскопа в сторону шкалы компенсатора 8, если изображение дальномерной шкалы нужно увеличить, и перемещением той же линзы в сторону окуляра, если изображение дальномерной шкалы следует уменьшить. Изображение шкалы компенсатора исправляют перемещением второй линзы 6 объектива. Доступ к линзам возможен через люки в трубке микроскопа, закрытые крышками 3, 4 (см. рис. 62). Параллакс изображений шкалы микроскопа и шкалы компенсатора, если средняя величина его из шести определений на разных частях дальномерной шкалы превышает 0,1 деления шкалы микроскопа, устраняют перемещением всей трубки микроскопа. Перед перемещением линз и трубки микроскопа следует отпустить стопорные винты.*

*Детальное исследование коэффициента К дальномер-*



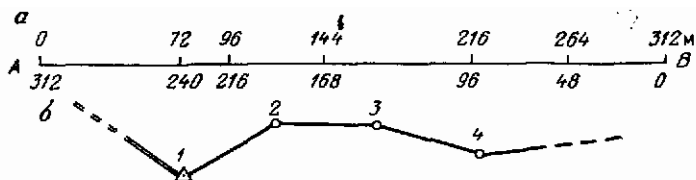


Рис. 75. Исследование коэффициента  $K$

ра ДН-8 производят на полевом компараторе (базисе), общая длина которого равна 360 м. В створе точек  $AB$  (рис. 75,  $a$ ) закрепляют пять промежуточных точек, удаленных от  $A$  на 72, 96, 144, 216, 264 м, а от  $B$  базиса эти расстояния равны 48, 96, 168, 216, 240 м. Длины базиса и его интервалов должны быть измерены с предельной относительной ошибкой  $1/5000$ . Установив дальномер в точке  $A$ , измеряют в прямом ходе параллактические углы между средними марками каждой из двух реек, устанавливаемых на интервалах базиса 72, 96 и 144 м и между крайними марками на интервалах 216, 264 и 312 м. В обратном ходе, установив дальномер в точке  $B$  базиса, измеряют параллактические углы между средними марками двух реек на интервалах базиса 48, 96 и 144 м, а параллактические углы между крайними марками на интервалах базиса 216, 240 и 312 м. Для использования других интервалов базиса в прямом ходе можно установить дальномер в точке, удаленной от начала базиса на 96 м, и измерить параллактические углы между средними марками реек в интервалах 144, 216 и 264 м. В этом случае для определения коэффициента дальномера дополнительно будут использованы интервалы 48, 120 и 168 м. В обратном ходе, установив дальномер в точке, удаленной от конца базиса на 96 м, можно измерить параллактические углы между средними марками реек в интервалах 72, 120 и 144 м.

Подобным образом можно определить дополнительные интервалы базиса для измерения параллактического угла между концевыми марками реек. При измерениях параллактических углов наблюдения выполняют шесть полуприемами при допустимом расхождении результатов из полуприема измерения угла не более 0,15 деления отсчетной шкалы микроскопа. При измерениях

углов на каждом интервале базиса измеряют температуру рейки и угол наклона измеряемой линии. Все измерения параллактических углов на базисе записывают в журнал. Горизонтальное проложение линии, которая измерена дальномером ДН-8, вычисляется по формуле

$$s = \frac{K}{\beta} + c + \Delta S_T - \Delta S_v, \quad (\text{IV.28})$$

где  $\beta$  — параллактический угол;  $c$  — постоянное слагаемое дальномера, равное 10—11 см;  $\Delta S_T$  — поправка за изменение температуры;  $\Delta S_v$  — поправка за наклон измеряемой линии.

Поправку за наклон линии вычисляют по формуле (IV.4), при этом величины  $S$  принимают равными интервалам базиса из непосредственных измерений, а значение  $v$  по результатам измерений, выполненным при измерениях параллактических углов. Поправку за изменение температуры определяют из такого выражения

$$\Delta S_T = 16 \cdot 10^{-6} (T - T_0), \quad (\text{IV.29})$$

где  $16 \cdot 10^{-6}$  — разность коэффициентов линейного расширения материалов штанги и дальномерной шкалы;  $T_0$  — средняя температура, при которой определяли  $K$  по всем интервалам базиса (или температура, к которой приводят все измерения);  $T$  — температура, при которой определяли  $K$  на определенном интервале базиса.

Температурную поправку учитывают при  $T_0 - T \geq \geq 5^\circ\text{C}$ . Если горизонтальные проложения  $S$  известны из базисных измерений, то из выражения (IV.28) найдем

$$K = (s - c + \Delta S_v) \beta + \Delta K_T, \quad (\text{IV.30})$$

где  $s$  — горизонтальное проложение интервала базиса, измеренного непосредственно мерной проволокой или лентой;  $\beta$ ,  $c$  и  $\Delta S_v$  — то же, что и в (IV.28);  $\Delta K_T$  — поправка в значение коэффициента за температуру, вычисляемая по формуле

$$\Delta K_T = 16 \cdot 10^{-6} K (T_0 - T). \quad (\text{IV.31})$$

Коэффициент  $K$  вычисляют для каждой рейки на каждом интервале базиса по параллактическим углам, измеренным шестью полуприемами между средними и конечными парами марок. Если определенные на одном интервале базиса по наблюдениям марок обеих реек коэффициенты  $K$  расходятся на величину, меньшую  $K/2000$ ,

то для обеих реек комплекта принимают один коэффициент, равный среднему значению. Суждение о возможности принять один коэффициент для обеих реек можно получить по сходимости двух параллактических углов, измеренных на одном и том же интервале базиса по одноименным маркам обеих реек комплекта. Если расхождение этих углов будет меньше  $\beta/2000$ , то коэффициент дальномера вычисляют по среднему значению параллактического угла. Если расхождение коэффициентов, определенных на разных интервалах базиса, не превышает величины, равной  $K/800$ , то принимают один коэффициент, равный среднему арифметическому из числа всех определений. Наблюдения для определения коэффициента дальномера выполняет тот наблюдатель, который будет производить дальномерные измерения.

Вычисление коэффициента ведут с сохранением шести значащих цифр. Приближенным контролем правильности определения коэффициентов дальномера ДН-8 являются два числа, равные:

$$K_n = b_1 \rho'' = 1,018 \cdot 20626,5 = 21\,000;$$

$$K'_n = b_2 \rho'' = 0,550 \cdot 20626,5 = 11\,345,$$

где  $b_1$  и  $b_2$  — расстояния между осями штрихов крайних и средних марок дальномерной рейки.

Постоянное слагаемое  $s$  принимается равным числу, указанному в паспорте прибора. Определение коэффициента дальномера производят примерно один раз в месяц, а также после каждого повреждения.

*6. Измерение расстояний дальномерной насадкой ДН-8.* Дальномер ДН-8 предназначен главным образом для измерения длин сторон теодолитных ходов. Длины сторон измеряются дважды — в прямом и обратном направлениях, разность значений из прямого и обратного измерений не должна быть более 1 : 1000 длины измерений линии. При углах наклона линий более  $1,5^\circ$  вводятся поправки за приведение линий к горизонту. При линейных измерениях необходимо измерять углы наклона линий. Измерение линий дальномером ДН-8 начинают с осмотра, проверок и исследования дальномерного комплекта. Если дальномер признан пригодным для измерений, над точками 1, 2, 3 (рис. 75, б) устанавливают штативы с подставками, которые при помощи нитяного отвеса или оптического центрира точно (в пределах 3 мм) центрируют над этими точками. Затем на точке 1 во втулку на-

садки вставляют баксу (хвостовик) теодолита, а на точке 2 устанавливают рейку 1 и визируют теодолитом на рейку и визиром рейки на теодолит. Измеряют параллактический угол между марками дальномера рейки четырьмя приемами и одним полуприемом угол наклона, визируя при этом ребром би prizмы на горизонтальную ось штанги дальномерной рейки. Вычисляют параллактические углы из каждого полуприема, если они сходятся в пределах 0,15 деления шкалы микроскопа, снимают теодолит и переносят его на точку 2, рейку 1 переносят на точку 3, а рейку 2 устанавливают над точкой 1. Измеряют параллактические углы между марками реек 1 и 2 и углы наклона, наводя на середину штанги реек 1 и 2. Вычисляют параллактические углы и при их сходимости в пределах 0,15 делений шкалы микроскопа все приборы переносят на следующие по ходу точки: рейку 2 с точки 1 переносят на точку 2, а ее штатив с подставкой на точку 4; теодолит с точки 2 переносят на точку 3, а рейку 1 с точки 3 на точку 4, где ее центрируют и устанавливают по уровню. При такой организации измерений каждая линия будет измерена дважды в прямом и обратном направлениях по разным рейкам, т. е. с надежным контролем.

Если дальномером ДН-8 измеряют стороны больше 400 м, то параллактические углы измеряют шестью полуприемами при колебании углов в пределах 0,20 деления шкалы микроскопа. Для повышения точности измерения дальномером ДН-8 необходимо: 1) измерение параллактических углов производить в часы спокойных изображений; при колеблющихся изображениях штрихов рейки точность измерения параллактических углов снижастся; 2) тщательно центрировать подставки приборов над точками и устанавливать рейку по уровню и по оптическому визирю; 3) добиваться резкого изображения штрихов марок; 4) проверять по оптическому визирю постоянство положения рейки по требуемому направлению; 5) аккуратно вынимать дальномер и рейки из подставок по окончании измерения на станции и устанавливать в другие после перехода на новую станцию, не допуская при этом смещения подставок и штатива; 6) так как дальномер ДН-8 сложный и высокоточный угломерный прибор, требующий бережного к нему отношения, тщательно изучить способ измерения малых углов этим прибором; 7) на местности так выбирать трас-

су измеряемой линии, чтобы она находилась в однородной среде и не проходила вблизи крутых откосов рельефа и строений, нагреваемых лучами солнца; 8) измерять углы наклона линии после измерения параллактических углов; 9) аккуратно и четко вести записи отсчетов в полевом журнале линейных измерений.

7. *Предварительная обработка результатов измерений длин линий дальномерным комплектом ДН-8.* Предварительная обработка включает проверку журналов определения коэффициента дальномера и измерений линий, т. е. проверяют вычисления  $\beta$  в полуприемах, в прямом и обратном измерениях, вычисление коэффициента, длины стороны, углов наклона и горизонтальных проложений. Окончательные значения измеренных длин сторон углов наклона и горизонтальных проложений записывают в соответствующие ведомости, где вычисления продолжают до получения конечных результатов (координат, высот точек). Проверяют также и оформление полевых журналов. Ошибочные результаты аккуратно зачеркивают одной чертой, чтобы можно было видеть зачеркнутое число, и пишут его новое значение.

При изучении дальномера в лабораторных условиях один дальномер выделяется на двух студентов, которые должны ознакомиться со схемой дальномера и составить его оптическую схему в рабочей тетради; определить коэффициент дальномера и измерить расстояние, при этом параллактические углы наблюдают четырьмя полуприемами по рейке, изготовленной на ватмане в масштабе 1 : 10. В условиях летней практики полный дальномерный комплект выдается на одну бригаду на 3—4 дня. За это время каждый студент должен произвести проверки дальномера и реек, определить коэффициент на одном интервале базиса, измерить две стороны теодолитного хода и произвести обработку выполняемых измерений.

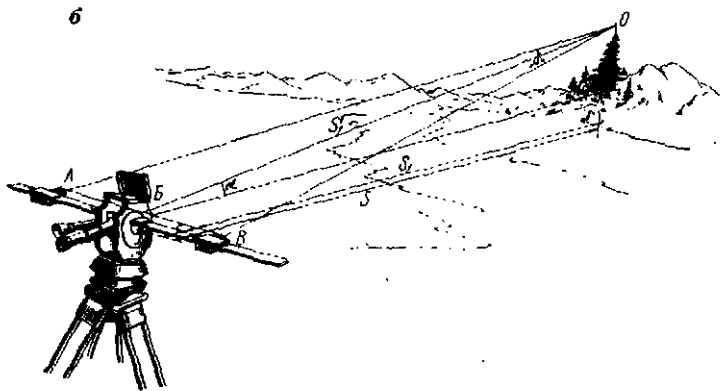
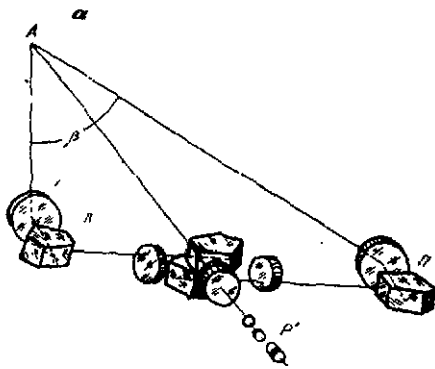
#### *Задание IV.5*

##### **Измерение расстояний внутрибазным дальномером**

I. Задача: изучить устройство и применение внутрибазного дальномера двойного изображения ДВ-20.

II. Литература: *Баханова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 40.

Рис. 76. Схема дальномера ДВ-20



III. Комплект ДВ-20: дальномер ДВ-20, веха, марка, штатив.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) принцип действия и устройство дальномера ДВ-20;
- 2) проверки, исследования и юстировка дальномера ДВ-20;
- 3) измерение расстояний, вертикальных и горизонтальных углов.

Для измерения расстояний дальномерными насадками ДН-04, ДНР-5 (ДНР-06), ДН-8 и ДН-10 насадку скрепляют со зрительной трубой теодолита, а рейку устанавливают на точке, до которой измеряют расстояние. Но в геодезической практике иногда необходимо измерять расстояния, когда нельзя на наблюдаемой точке установить рейку. В таких случаях удобно применить

внутрибазный дальномер ДВ-20. Его схема приведены на рис. 76, а, а способ применения на рис. 76, б.

Внутрибазный дальномер ДВ-20 является дальномером двойного изображения с постоянным параллактическим углом  $\beta$  и переменной базой, расположенной в виде двух линеек со шкалами на самом приборе. Изображение точки  $O$ , до которой измеряют расстояние, строится на плоскости бипризмы двумя световыми каналами (см. рис. 76, б). Поэтому в общем случае на плоскости бипризмы зрительной трубы будут построены два изображения точки. Перемещая раздельно или совместно левую  $L$  и правую  $P$  каретки с оптическими клиньями можно совместить эти два изображения точки. В этом случае лучи  $AL$  и  $AP$  (см. рис. 76, а) образуют параллактический угол  $\beta$  треугольника  $ALP$ , основание которого  $LP$  измеряется по шкалам базовых линеек, а его высота — измеряемое наклонное расстояние  $AO$  определяется по формуле

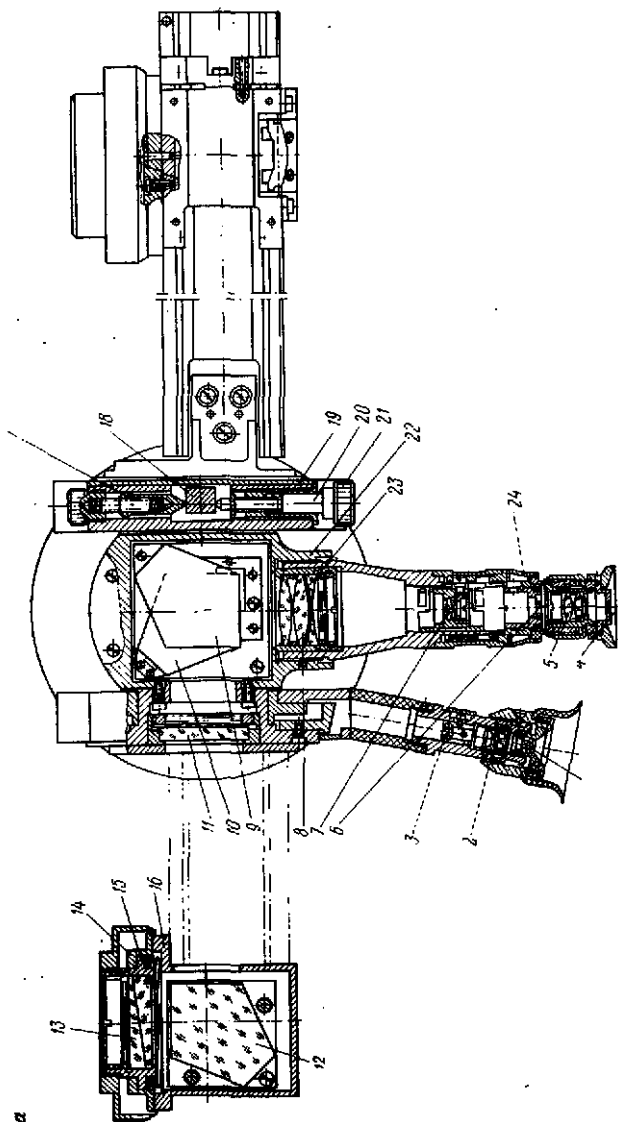
$$S = AO = (LP)/2 \operatorname{ctg} \beta/2 = b \operatorname{ctg} \beta = b (\rho''/\beta''); S = bK, \quad (IV.32)$$

где  $\rho''/\beta''$  — постоянная величина, равная коэффициенту  $K$  дальномера.

Основание  $LP$  параллактического треугольника несколько смещено относительно вертикальной оси вращения прибора, центрируемого над точкой  $O$ ; следует в измеренное расстояние вводить постоянную поправку  $s$ . Для вычисления горизонтального проложения  $z$  измеряют этим прибором угол наклона  $\nu$  определяемой линии. Тогда горизонтальное проложение  $z$  найдем по формуле (IV.3) или (IV.5), а поправку за наклон — по формуле (IV.4).

Кроме определения горизонтальных проложений до недоступных точек дальномером ДВ-20 можно измерять горизонтальные углы и магнитные азимуты. Внутрибазный дальномер ДВ-20 является сложным геодезическим прибором; при помощи которого можно измерять расстояния до недоступных точек (по заводским данным) от 18 до 60 м с относительной средней квадратической ошибкой  $1/1500$ , от 60 до 120 м с относительной средней квадратической ошибкой  $1/1200$ , от 120 до 300 м с относительной средней квадратической ошибкой  $1/600$ .

Если точки доступны для установки дополнительной базовой марки, измеряемые расстояния несколько увеличиваются. Отсчитывание по горизонтальному кругу





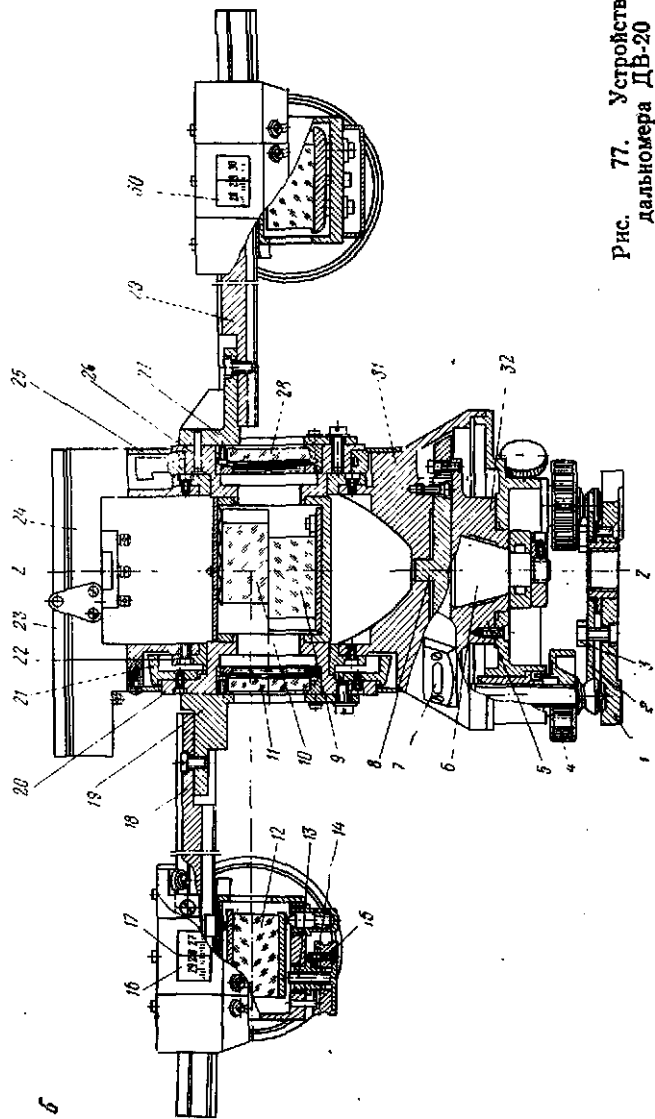


Рис. 77. Устройство дальномера ДВ-20

выполняется с точностью  $6'$ , а по вертикальному кругу с точностью  $1'$ . Оптическая схема прибора представлена на рис. 76, а, а также на горизонтальном (рис. 77, а) и вертикальном (рис. 77, б) его разрезах. Оптическими компонентами отсчетного штрихового микроскопа вертикального круга являются: окуляр 1 (см. рис. 77, а), пластина-индекс 2, объектив 3. Зрительная труба с увеличением  $\Gamma-14,5^*$  включает: окуляр 5 со щелевой диафрагмой 4, бипризму 6, фокусирующую линзу 7, объектив 8, блок пентапризм 9, 10, направляющих в зрительную трубу лучи, несущих изображения предметов через оптические клинья 13, концевых пентапризм 12, и юстировочные оптические клинья 11. Ахроматические оптические клинья 13, укрепленные при помощи оправы 14 и обоймы 15 к корпусу 16 левой и правой кареток, несущие левую и правую концевые пентапризмы 12, могут устанавливаться в двух фиксированных положениях, а именно: для образования параллактических углов, равных  $34,38'$  и  $17,19'$ , при которых коэффициенты дальномера равны 100 и 200. Эти положения оптических клиньев отмечены на регулируемых упорах обоймы цифрами 1 и 2. Для образования параллактического угла  $\beta$ , при котором коэффициент дальномера равен 500, применяют дополнительную оптическую клиновую насадку, навинчиваемую на оправу оптического клина правой подвижной каретки.

Для обеспечения полного совмещения изображений наблюдаемого предмета по высоте левая каретка (см. рис. 77, б) снабжена юстировочным устройством, включающим регулируемый винт 13, в головке 14 которого устроен пружинный винт-упор 15. Правая подвижная каретка не имеет подобного регулирующего устройства — пентапризма в ней закреплена жестко. Положение каждой каретки относительно вертикальной оси  $ZZ'$  прибора определяют отсчетами по шкалам 16, 30, деления которых нанесены на базовых линейках 18, 29.

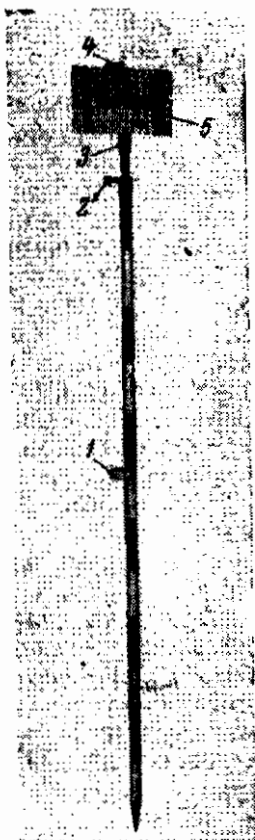
Для повышения точности отсчитывания по штриху 17 последние наносят на внутренних поверхностях цилиндрических линз. Отсчеты выполняют с точностью 0,1 мм.

Базовые линейки 18, 29 при помощи кронштейнов 19, 27 скреплены с цапфами 20, 25 горизонтальной оси прибора, вращающейся в лагерах 22, 26 корпуса 31 колонки прибора. На цапфе 20 закреплён вертикальный круг 21, лимб которого разделен на интервалы через  $10'$  и оциф-

Рис. 78. Веха для дальномера. ДВ-20

рован через  $1^\circ$ . Отсчеты по лимбу выполняют по штриху микроскопа (см. рис. 77, а). Вместе с цапфами горизонтальной оси скреплены (см. рис. 77, б) базовые линейки с концевыми пентапризмами, оптические клинья 11, 28, блок пентапризм 9, 10, а также отсчетный микроскоп (см. рис. 77, а) и зрительная труба, точное визирование которой при измерении вертикальных углов осуществляется наводящим устройством, включающим пружинный упор 17, хомутик горизонта оси 18, резьбовую втулку 19, наводящий винт трубы 20 и его головку 21. Зрительная труба своим корпусом 23 жестко скрепляется с корпусом 22 горизонтальной оси прибора.

Горизонтальный металлический круг 8 (см. рис. 77, б), лимб которого разделен через каждый градус на 360 частей, жестко скреплен с корпусом втулки 32 вертикальной оси прибора 22, при этом корпус втулки неподвижно скреплен с корпусом подставки 5 прибора. Вертикальная ось 6 имеет закрепительное и наводящее устройства для точного наведения зрительной трубы по азимуту. Подставка прибора имеет основание 1, скрепленное винтом 3 с пластинчатой пружиной 2, и подъемные винты 4. На колонке 31 имеется световое отверстие, закрытое стеклом 7 с выгравированным отсчетным штрихом. Точность отсчитывания по горизонтальному кругу равна  $0,1^\circ$ . На верхней части колонки укреплены цилиндрический уровень 23 и круговая буссоль 24, лимб которой имеет деления через  $1^\circ$  с оцифровкой их через  $10^\circ$ . Цена деления цилиндрического уровня равна  $45''$ , а цена деления круглого уровня, установленного в корпусе бус-



соли, равна 5'. Буссоль закрывается крышкой с зеркалом, в котором можно наблюдать положение магнитной стрелки и пузырьков цилиндрического и круглого уровней. При закрывании крышки буссоли осуществляется арретирирование магнитной стрелки. При работе внутрибазный дальномер устанавливают на штатив и закрепляют станковым винтом. Для повышения точности измерений и для увеличения измеряемых расстояний применяют металлическую разборную вежу (рис. 78), собираемую из черных и желтых звеньев, длина которых равна 1 дм. Вежа снабжена круглым уровнем 1, винтом 2 для закрепления внутри рейки штанги 3, предназначенной для установки и закрепления марки 5, на которой нанесены один горизонтальный и два вертикальных штриха. Последние два штриха образуют дополнительную базу дальномера, позволяющую измерить несколько больших расстояния. Марка снабжена оптическим визиром 4 для обеспечения установки плоскости марки нормально к измеряемой линии.

## *2. Поверки, исследования и юстировка дальномера ДВ-20.*

*Пузырьки цилиндрического и круглого уровней при отвесном положении вертикальной оси прибора должны быть в нуль-пункте.* Для проверки этого условия цилиндрический уровень устанавливают по линии, параллельной двум подъемным винтам. Вращая винты в противоположные направления, устанавливают пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт. Поворачивают алидаду на 180° и если пузырек при этом сместился с середины ампулы, то половину этого смещения исправляют юстировочным винтом уровня. Эту проверку следует повторить. Круглый уровень юстируют после приведения вертикальной оси прибора в отвесное положение по исправленному цилиндрическому уровню.

*Разделительное ребро бипризмы должно быть горизонтальным.* После установки прибора по уровню наводят трубу на хорошо видимую точку. При поворотах прибора вокруг его оси изображение точки должно перемещаться по линии, параллельной ребру бипризмы. Для необходимого исправления вывинчивают колпачок 24 (см. рис. 77, а) и через отверстие в корпусе окуляра поворачивают шпилькой оправу с бипризмой.

*Ось щели диафрагмы должна быть параллельна ребру бипризмы.* Для правильной установки диафрагмы

отпускают один из стопорных винтов и, отводя глаз от окуляра на расстояние до 250 мм, устанавливают щель параллельно ребру бипризмы. Если при этом не происходит полного срезания накладываемых изображений, следует заменить диафрагму на другую, с более узкой щелью. Если после установки диафрагмы освещенность половин поля зрения стала различной, то следует изменить положение щели диафрагмы по высоте.

*Определение места нуля (МО) вертикального круга.* Для этого применяют вспомогательный теодолит, устанавливая его рядом с дальномером так, чтобы оси вращения их труб были на одной высоте (с точностью 2—4 см). Затем, выбрав точку наблюдения, удаленную примерно на 0,5 км, измеряют угол наклона теодолитом и дальномером. Тогда

$$MO = L - v, \quad (IV.33)$$

где МО — место нуля дальномера; L — отсчет по вертикальному кругу дальномера; v — измеренный угол наклона.

*Проверка коэффициента постоянных слагаемых дальномера.* Определение коэффициентов дальномера производится на базе протяженностью до 300 м, при этом точность измерений должна быть не ниже 1/3000. Такой базис может быть измерен мерной стальной лентой с закреплением на базе всех измеренных 20-метровых интервалов, на каждом из которых и проверяют коэффициенты дальномера, равные 100, 200 и 500. При государственных исследованиях прибора базис измеряли инварной проволокой с предельной относительной ошибкой одного интервала базиса не более 1/10 000. На этом базисе следует иметь интервалы 4 и 10 м, используемые для определения постоянных с при номинальных коэффициентах 100, 200 и 500. Значение с получают из выражения

$$c = S - Kb, \quad (IV.34)$$

где S — длина коротких интервалов базиса 4—10 м.

Проверку коэффициентов 100 и 200 рекомендуется начинать на интервалах базиса, близких к 20, 40, 60 м. Если результаты измерений этих интервалов дальномером при обоих коэффициентах соответствуют их длинам, измеренным лентой (мерной проволокой, светодальномером и др.), то можно продолжить определение коэффициентов на других интервалах: 80, 100, 120, 140 м для коэф-

фициента 200 и 4, 10 м для коэффициента 100. Коэффициент дальномера 500 определяют на интервалах 120, 140, 180, 240, 300 м.

Для определения коэффициентов устанавливают дальномер над конечной точкой базиса, а вежу с маркой на другой точке, до которой расстояние известно. Поворотами оптических клиньев до упоров 1 или 2, производимыми навинченными на оправы клиньев колпачками, устанавливают коэффициенты 100 или 200. Для образования коэффициента 500 на оправу правого клина при его установке в положении 2, навинчивают дополнительный клин в виде съемной насадки, входящей в комплект дальномера. После установки клиньями исследуемого коэффициента и зрительной трубы по глазу и по веже наводят дальномер на вежу или на марку. Вежа должна быть также установлена в отвесном положении по круглому уровню, а плоскость ее марки по оптическому визиру в положение, перпендикулярное к визирной линии. Горизонтальный штрих марки устанавливают на высоте дальномера путем перемещения штанги марки внутри полой штанги. Винтом регулировки изображения по высоте 14 (см. рис. 77, б) совмещают изображения горизонтального штриха марки или кольца вежи по высоте. Перемещением концевых кареток с пентапризмами и оптическими клиньями вдоль базовых линеек совмещают два изображения вежи или двух штрихов марки, добиваясь при этом симметричного расположения кареток относительно оси прибора. Если асимметрия концевых кареток превышает 25 мм, то следует переместить обе каретки и уравнять их плечи в пределах 10 мм.

Проверив совмещение изображений вежи или марки, производят отсчеты по шкалам левой и правой базовых линеек. При совмещении верхней части изображения предмета, построенной лучами, прошедшими через левую оптическую систему: оптический ахроматический клин 13, пентапризму 12, юстировочный оптический клин 11, пентапризму 9, объектив 8, фокусирующую линзу 7 и бипризму 6 (см. рис. 77, а) с нижней частью изображения того же предмета, построенного правой оптической системой прибора, следует обращать особое внимание на точный контакт изображений. Отсчеты по левой Л и правой П базовым шкалам выполняют с округлением до 0,1 деления (до 0,1 мм). Сумма одной пары отсчетов

$$b_i = L_i + P_i, \quad (IV.35)$$

является длиной основания параллактического треугольника.

В приеме наблюдений при проверке коэффициента на каждом интервале базиса выполняют четыре или шесть подобных совмещений; перед каждым совмещением одну из кареток несколько смещают. Для повышения точности отсчитывания одну из кареток предварительно устанавливают на ближайший штрих шкалы. Средняя квадратическая ошибка одного совмещения зависит от длины измеряемого расстояния, от формы контура предмета, до которого измеряют расстояния, от фона, на котором виден наблюдаемый предмет, от колебания изображений и т. д. При расстоянии до местных предметов 20—300 м эта ошибка колеблется в пределах 0,1—2,0 мм.

Найдя среднее значение суммы пар отсчетов, сравнивают его с расчетным, равным

$$b_0 = (S_0 - c_0 + \Delta S_v) / K_0, \quad (IV.36)$$

где  $S_0$  — длина измеренного интервала базиса;  $c$  — постоянное слагаемое при исследуемом коэффициенте дальномера  $K_0 = 100$ ;  $\Delta S_v$  — поправка в интервал базиса за угол наклона  $v$ .

Разность между средним значением суммы отсчетов и ее расчетной величиной не должна превышать

$$b_{\text{ср}} - b_0 < b_0 / 700, \quad (IV.37)$$

где

$$b_{\text{ср}} = \sum_1^n (Л + П) / n, \quad (IV.38)$$

$Л + П$  — то же, что и в формуле (IV.35);  $n$  — число совмещений раздвоенных изображений наблюдаемого предмета.

Такие сравнения выполняют на нескольких интервалах базиса 20, 40, 60, 80 м. Для приведения коэффициента дальномера к его номинальному значению в случае нарушения неравенства (IV—42) выбирают время спокойных изображений на интервалах базиса 40—60 м, устанавливают при симметричном расположении кареток на шкалах базовых линеек отсчеты  $Л_0$  и  $П_0$ , сумма которых равна их расчетной величине  $b_0$ . Затем, отвинтив колпачок с оправы одного из клиньев, например левого, его исправительными винтами 1, 2 (рис. 79) добиваются точного контакта изображений марок (вехи). Воз-

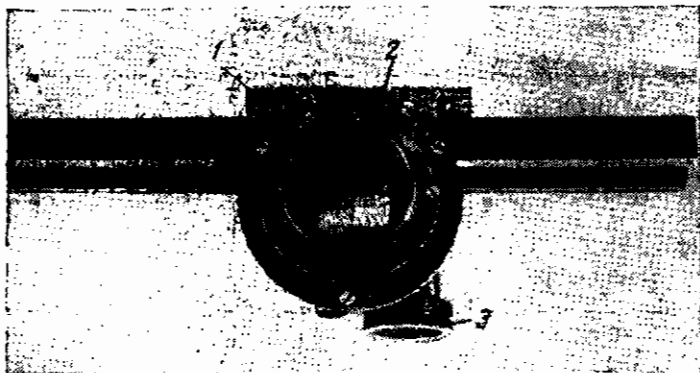


Рис. 79. Юстировочные винты оправы оптических клиньев

возможные при этом смещения изображений по высоте устраняют головкой 3 винта коррекционного устройства. Если при юстировке коэффициента окажется расход исправительного винта недостаточным, то отвинчивают колпачок с оправы клина правой каретки и используют его юстировочный винт. Исправление коэффициента на одном интервале базиса прекращают тогда, когда разность  $b_{\text{ср}} - b_0$  станет меньше  $b_0/1200$ . При этой юстировке следует пользоваться описанием и чертежами устройства дальномера ДВ-20, входящими в комплект дальномера.

При исследовании коэффициента расчетное число суммы отсчетов по шкалам базовых линеек равно:  
для коэффициента 200

$$b_0 = \frac{1}{2} \left( \frac{s_0 - c_{200} + \Delta S_v}{200} \right); \quad (\text{IV. 39})$$

для коэффициента 500

$$b_0 = \frac{2(s_0 - c_{500} + \Delta S_v)}{500}. \quad (\text{IV. 40})$$

Коэффициент 500 устанавливают поворотом оптического клина насадки специальным ключом. Между постоянными слагаемыми  $c_{100}$ ,  $c_{200}$  и  $c_{500}$ , согласно заводскому описанию, существуют отношения

$$\left. \begin{aligned} c_{100} &= c_{200}/2 + 0,01 \text{ м}; \\ c_{500} &= 5c_{200}/2 - 0,04 \text{ м}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV. 41})$$



*Ось вехи и ось ее круглого уровня должны быть параллельны.* Для этой поверки устанавливают веху в отвесное положение либо при помощи нити отвеса, либо двух дальномеров (или двух теодолитов) и приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт.

*Плоскость визирной марки и ось ее визира должна быть установлена взаимоперпендикулярно.* Проверка производится в вершине прямого угла, построенного на местности при помощи дальномера ДВ-20 или теодолита.

3. *Измерение расстояний, вертикальных и горизонтальных углов дальномером ДВ-20.* Измерение расстояний дальномером ДВ-20 достаточно полно рассмотрено при изложении способа проверки коэффициентов дальномера на интервалах контрольного базиса. Поэтому здесь ограничимся лишь кратким изложением порядка операций при измерении расстояния до предмета. Расстояния до малодоступных точек, удаленных от наблюдателя на 18—60 м, определяют с установкой оптических клиньев в положения, образующие параллактический угол, для которого коэффициент дальномера равен  $K_{100}=100$ . Расстояния от 60 до 120 м определяют с коэффициентом дальномера, равным  $K_{200}=200$ , и расстояния после 120 м определяют с коэффициентом, равным  $K_{500}=500$ .

При измерении расстояния дальномером ДВ-20 до труднодоступной точки устанавливают его на точке съемочного обоснования, фокусируют зрительную трубу, предварительно установив ее окуляр по глазу; оптическими клиньями задают нужный параллактический угол и перемещают каретки концевых пентапризм так, чтобы сохранялось симметричное расположение их относительно оси прибора, а два изображения предмета совместились и дали одно его изображение. Ассиметрия отсчетов по шкалам не должна быть более 25 мм. При удалении предметов до 120 м можно ограничиться двумя парами отсчетов по левой и правой шкалам базовых линеек, получаемых при двух совмещениях изображений предмета, до которого измеряли расстояние. При больших удалениях предметов число совмещений увеличивают до четырех. Расхождение сумм отсчетов при первом и втором совмещениях изображений, получаемых через оптические клинья, установленные для образования коэффициента, равного  $K=100$ , может быть допущено в пределах 0,4 мм; при коэффициенте 200 это расхождение может достигать

(при  $S=140$  м) 0,6 мм, а при  $K=500$  и при  $S=300$  м расхождение может достигь 3 мм.

Для введения поправки в длину измеренной линии определяют дальномером ее угол наклона. Для этой цели после проверки положения пузырька цилиндрического уровня снимают отсчет по вертикальному кругу и вычисляют угол наклона по формуле

$$v = L - MO. \quad (IV. 42)$$

Отсчеты выполняют с округлением до 0,1'.

Угол наклона измеряется при одном положении зрительной трубы, поэтому средняя квадратическая ошибка измерения вертикального угла равна примерно 1—2'. Горизонтальные углы также измеряют при одном положении зрительной трубы с округлением отсчета по лимбу горизонтального круга до 0,1°. При помощи дальмера ДВ-20 можно производить съемку труднодоступных участков местности методом полярных координат. Наличие буссоли позволяет определять дальномером ДВ-20 магнитные азимуты линий хода.

ГЛАВА V  
НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ  
ИЗ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИИ

---

Задачей предмета теории ошибок измерений является: изучение причин возникновения, видов и свойств ошибок измерений, законов распределения ошибок наблюдений; определение наиболее надежного значения величины и ее точности; оценка точности непосредственно выполненных результатов наблюдений и их функций; установление допусков, ограничивающих использование результатов наблюдений в заданных пределах точности.

Измерить величину — это значит сравнить ее с другой величиной, принятой за единицу меры. Опыт показывает, что при самых тщательных многократных измерениях одной и той же величины отдельные результаты несколько разнятся между собой, отличаясь в ту или другую сторону от действительного размера. Это происходит от того, что процесс измерения неизбежно сопровождается ошибками.

Ошибки подразделяются на грубые, систематические и случайные. К грубым ошибкам относятся промахи в измерениях, вызванные невнимательностью наблюдателя, неисправностью прибора и др. Грубые ошибки из результатов измерений исключаются.

Систематические ошибки происходят от определенного источника и имеют определенный знак и величину. Эти ошибки подчиняются определенным математическим законам и могут быть учтены или их влияние ослаблено.

Случайные ошибки неизбежны и всегда сопровождают измерения. Закономерности случайных ошибок проявляются в массе и обусловлены точностью прибора, квалификацией наблюдателя и другими факторами. Их влияние может быть ослаблено, повышая качество и число измерений, а также надлежащей математической обработкой результатов измерений.

При дальнейшем изложении будем предполагать, что результаты измерений свободны от грубых и систематических ошибок и сопровождаются только случайными ошибками.

Производя измерения, мы всегда стремимся определить точность полученного результата. Поэтому в теории ошибок устанавливаются различные критерии для оценки точности результатов измерений.

Задания, включенные в данную главу, позволяют студентам анализировать и исследовать полученные результаты полевых измерений, определять виды ошибок и их свойства, уметь предвычислять ожидаемые ошибки и производить оценку точности.

Обработывая результаты измерений, студенты приобретают необходимые навыки в пользовании логарифмической линейкой, счетами, таблицами и настольными счетно-решающими машинами.

Решая задачи, студенты знакомятся со всеми имеющимися видами контроля вычислений.

### Задание V.1

#### Свойства случайных ошибок измерений. Критерии, служащие для оценки точности результатов измерений

I. Задача: дан ряд случайных ошибок измерений. Определить критерии, служащие для оценки точности и проследить закономерности ошибок в данном ряду.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 38—41, 43.

*Гиршберг М. А.* Задачник по геодезии. М., Геодезиздат, 1961, глава III, задачи 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 17.

III. Пособия и принадлежности: счеты, логарифмическая линейка, микрокалькулятор.

IV. Последовательность выполнения задания, основные формулы и практические указания.

Под случайной ошибкой  $\Delta_i$  понимается разность между измеренным значением случайной величины  $x_i$  и истинным (точным) значением  $X$ , т. е.

$$\Delta_i = x_i - X. \quad (V.1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

Свойства случайных ошибок измерений проявляются при массовых испытаниях и характеризуются следующим образом:

1) случайные ошибки по абсолютной величине при

данных условиях измерений не превосходят определенного предела;

2) положительные и отрицательные случайные ошибки равновозможны и при большом числе измерений одинаково часто встречаются;

3) среднее арифметическое из значений случайных ошибок при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю, т. е. обладает свойством компенсации,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [\Delta]/n = 0; \quad (V.2)$$

4) малые по абсолютной величине случайные ошибки встречаются при измерениях чаще, чем большие.

Случайные ошибки, отвечающие всем перечисленным выше свойствам, подчиняются закону нормального распределения вероятностей.

Для оценки точности результатов измерений используют следующие критерии.

1. Средняя квадратическая ошибка  $m$ , вычисляемая по формуле Гаусса

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (V.3)$$

где

$$[\Delta^2] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2.$$

Средняя квадратическая ошибка обладает рядом положительных свойств:

является устойчивым критерием для оценки точности измерений даже при небольшом числе измерений;

наиболее полно характеризует качество измерений;

на величину средней квадратической ошибки оказывают существенное влияние большие по абсолютной величине случайные ошибки, которые по существу и определяют качество произведенных измерений;

по величине средней квадратической ошибки можно определить среднюю, вероятную и предельную ошибки;

теория вероятностей дает возможность определить, с какой степенью доверия получается сама средняя квадратическая ошибка, по формуле

$$m_m = m/\sqrt{2n}. \quad (V.4)$$

При  $n=8$   $m_m = 1/4 m$ , поэтому для достаточно надеж-

ного определения принято считать, что число измерений должно быть более 8, т. е.  $n \geq 8$ .

Предельную ошибку определяют для теоретических расчетов допусков по формуле

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m. \quad (\text{V.5})$$

На практике, учитывая ограниченное число измерений, принимают

$$\Delta_{\text{пред}} = 2m. \quad (\text{V.6})$$

2. Средняя ошибка  $\phi$  — среднее арифметическое из абсолютных значений случайных ошибок определяется по формуле

$$\phi = [|\Delta|]/n, \quad (\text{V.7})$$

где  $[|\Delta|] = |\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|$  — сумма абсолютных значений случайных ошибок.

Средняя ошибка используется для контроля средней квадратической ошибки. При малом числе измерений она недостаточно надежна, так как на величину средней ошибки оказывают слабое влияние большие по абсолютной величине ошибки.

3. Вероятная ошибка  $r$ . Вероятной ошибкой называется такое значение случайной ошибки, больше или меньше которого по абсолютной величине ошибки равновероятны. Она находится в середине ряда ошибок, если их абсолютные значения расположить по степени возрастания.

Вероятная ошибка используется для контроля средней квадратической ошибки. Недостаток ее в том, что при большом числе измерений процесс вычисления вероятной ошибки очень громоздкий.

Между средней квадратической, средней и вероятной ошибками существует связь, которую можно представить в форме приближенных соотношений:

$$\phi = 4/5m, \quad (\text{V.8})$$

$$r = 2/3m. \quad (\text{V.9})$$

Среднюю квадратическую, среднюю, вероятную, предельную ошибки называют абсолютными.

Отношение абсолютной ошибки к среднему значению измеренной величины, выраженное дробью с числителем единица, называется относительной ошибкой. Например,  $m_S = 0,5$  м,  $S = 500$  м, тогда относительная квадратичес-

кая ошибка будет равна  $m_S/S = 1/1000$  или в общем виде

$$m_S/S = 1/N, \quad (\text{V.10})$$

где  $N$  — знаменатель дроби.

Таким образом, основным критерием оценки точности геодезических измерений является средняя квадратическая ошибка.

Таблица 30

Номер треугольника	Невязки $f''$	$f^2$	Номер треугольника	Невязки $f''$	$f^2$
1	-0,65	0,42	13	+1,00	1,00
2	-1,79	3,20	14	-1,97	3,88
3	+0,80	0,64	15	-0,83	0,69
4	+2,14	4,58	16	-0,54	0,29
5	+0,80	0,64	17	-0,72	0,52
6	+1,10	1,21	18	+1,15	1,32
7	-1,23	1,51	19	-1,18	1,39
8	-0,78	0,61	20	+0,82	0,67
9	+0,87	0,76			
10	-0,76	0,58			
11	+2,15	4,62	Σ	-10,45	28,82
12	+0,54	0,29		+11,37	

Пример. В табл. 30 приведены невязки в сумме углов 20 треугольников ряда триангуляции 1 класса. Вычислить среднюю квадратическую ошибку суммы углов одного треугольника, среднюю и вероятную ошибки той же суммы, предельную ошибку, проследить закономерность распределения ошибок в данном ряду.

Решение. 1. Среднюю квадратическую ошибку суммы углов одного треугольника можно определить по невязкам треугольников. Рассматривая эти невязки как истинные ошибки сумм, найдем по формуле Гаусса (V.3)

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} = \sqrt{\frac{28,82}{20}} = 1,12''.$$

Среднюю квадратическую ошибку самой средней квадратической ошибки по формуле (V.4)

$$m_m = m/\sqrt{2n} = 1,12''/40 = 0,18''.$$

2. Средняя ошибка по формуле (V.7)

$$\sigma = [|\Delta|]/n = 21,82/20 = 1,04''.$$

Эта же ошибка по формуле (V.8)

$$\sigma = 4/5m = 4/5 \cdot 1,12'' = 0,90''.$$

3. Ряд ошибок расположим по возрастающей степени и вероятную ошибку найдем в середине ряда: 0,54; 0,54; 0,65; 0,72; 0,76; 0,78; 0,80; 0,80; 0,82; 0,83; 0,87; 1,00; 1,10; 1,15; 1,18; 1,23; 1,79; 1,97; 2,14; 2,15. Находим, что 10-я ошибка равна 0,83'', 11-я 0,87'', следовательно, вероятная ошибка  $r = 0,85''$ .

Эта же ошибка по формуле (V.9)  $r = 2/3m = 2/3 \cdot 1,12 = 0,75''$ .

4. Предельная ошибка по формуле (V.5) равна

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m = 3,4''.$$

5. Проверим свойства случайных ошибок на данном примере:

1) ни одна из ошибок не превосходит предела, равного  $3m$ ; наибольшая абсолютная величина ошибки в данном ряду оказалась равной  $2,15''$ ;

2) положительных ошибок 10, сумма их равна  $+11,37''$ ; отрицательных ошибок 10, сумма их равна  $-10,45''$ ;

3) сумма всех ошибок равна  $+0,92''$ . Среднее арифметическое из случайных ошибок по формуле (V.2) равно

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [\Delta]/n = +0,92/20 = +0,04'';$$

4) число ошибок по абсолютной величине составляет

$$\begin{array}{l} \text{меньше } m - 13 \\ \text{между } m \text{ и } 2m - 7 \\ \text{» } 2m \text{ и } 3m - 0 \end{array}$$

В данном ряду ошибок нет видимой зависимости по величине или по знаку при переходе от одной ошибки к другой.

Как видно, приведенный ряд ошибок по результатам измерений в триангуляции 1 класса имеет ошибки, обладающие свойствами случайных ошибок. Такой ряд ошибок подчиняется закону нормального распределения.

### Задание V.2

#### Средние квадратические ошибки функций измеренных величин

I. Задача: определить средние квадратические ошибки функций независимых аргументов.



II. Литература: *Гиришберг М. А.* Геодезия Ч. I. М., Недра, 1967, § 44.

*Гиришберг М. А.* Задачник по геодезии. М., Геодезиздат, 1961, глава III, задачи 18—37.

III. Пособия и принадлежности: логарифмическая линейка, микрокалькулятор, таблицы тригонометрических функций.

IV. Последовательность выполнения задания, основные формулы и практические указания.

В практике часто приходится иметь дело с задачами, когда определяемую величину непосредственно измерить нельзя. Тогда измеряют некоторые величины (аргументы), связанные с определяемой величиной функционально, а искомую величину вычисляют.

Пусть дана функция общего вида

$$U = f(x, y, z, \dots, w), \quad (V.11)$$

где  $x, y, z, \dots, w$  — независимые аргументы, полученные непосредственно из измерений со средними квадратическими ошибками  $m_x, m_y, m_z, \dots, m_w$ .

Тогда средняя квадратическая ошибка функции общего вида определяется по формуле

$$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial w}\right)^2 m_w^2. \quad (V.12)$$

Средняя квадратическая ошибка функции независимых аргументов равна сумме квадратов произведений частных производных функции по каждому из аргументов на средние квадратические ошибки соответствующих аргументов.

Все другие функции могут рассматриваться при оценке точности как частные случаи функции общего вида. Например, функции вида:

$$U = KX, \quad (V.13)$$

$$U = X \pm Y, \quad (V.14)$$

$$U = X \pm Y \pm Z \pm \dots \pm W, \quad (V.15)$$

$$U = K_1 X \pm K_2 Y \pm \dots \pm K_n W \quad (V.16)$$

имеют независимые аргументы, а средние квадратические ошибки  $m_x, m_y, \dots, m_w$  и коэффициенты  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$  известны. Применяя формулу (V.12), получим средние квадратические ошибки функций:

$$m_u = Km_x, \quad (V.17)$$

$$m_u = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (\text{V.18})$$

$$m_u = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + \dots + m_w^2}, \quad (\text{V.19})$$

в частном случае при  $m_x = m_y = \dots = m_w = m$

$$m_u = m \sqrt{n}, \quad (\text{V.20})$$

где  $n$  — число аргументов.

Средняя квадратическая ошибка линейной функции определяется по формуле

$$m_u = \sqrt{K_1^2 m_x^2 + K_2^2 m_y^2 + \dots + K_n^2 m_w^2}. \quad (\text{V.21})$$

в частном случае при  $m_x = m_y = \dots = m_w = m$

$$m_u = m \sqrt{[K^2]}. \quad (\text{V.22})$$

Рассмотрим ряд задач оценки точности функций.

**Задача 1.** В треугольнике измерены два угла  $\alpha$  и  $\beta$  со средними квадратическими ошибками  $m_\alpha = 4''$ ,  $m_\beta = 3''$ .

Вычислить среднюю квадратическую ошибку третьего угла  $m_\gamma$ , если  $\gamma$  получен по двум измеренным углам.

**Решение.** При решении задач на оценку точности функций измеренных величин нужно составить по условиям задачи функцию, а затем применить соответствующие формулы оценки точности.

В данном случае функция имеет вид  $u = \gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$ , причем  $180^\circ$  — точное (безошибочное) число. Используя формулу (V.12), найдем  $\left(\frac{du}{d\alpha}\right) = \left(\frac{du}{d\beta}\right) = \left(\frac{du}{d\gamma}\right) = 1$ . Отсюда  $m_\gamma^2 = m_\alpha^2 + m_\beta^2 = 16 + 9 = 25$  или по формуле (V.18) средняя квадратическая ошибка угла  $m_\gamma = 5''$ .

**Задача 2.** Измерены две линии: одна длиной 157,20 м со средней квадратической ошибкой 4 см, вторая длиной 75,15 м со средней квадратической ошибкой 3 см.

Найти средние квадратические ошибки и соответствующие им относительные ошибки суммы и разности этих длин.

**Решение.** Средняя квадратическая ошибка суммы и разности двух длин по формуле (V.18) равна:  $m_u^2 = m_1^2 + m_2^2 = 16 + 9$ ,  $m_u = 5$  см. Функции суммы и разности двух величин по формуле (V.14) равны:  $u_1 = 232,35$  м и  $u_2 = 82,05$  м.

Относительные средние квадратические ошибки суммы и разности двух линий по формуле (V.10) будут  $1/N_1 = 5 \text{ см}/232,35 \text{ м} = 1/4600$ ;  $1/N_2 = 5 \text{ см}/82,05 \text{ м} = 1/1600$ .

**Задача 3.** Определить среднюю квадратическую ошибку превышения, вычисленного по формуле  $h = stgv$ , где  $s = 143,5 \text{ м}$ ,  $m_s = 0,5 \text{ м}$ ,  $v = +2^\circ 30'$ ,  $m_v = 1,0'$ .

**Решение.** Функция общего вида (V.11)  $u = h = stgv$ .

Средняя квадратическая ошибка превышения, вычисляемая по формуле (V.12), равна

$$m_h = \sqrt{m_s^2 \operatorname{tg}^2 v + \frac{s^2}{\cos^4 v} \frac{m_v^2}{\rho^2}}$$

$$m_h = \sqrt{(0,5 \cdot 0,044)^2 + \left(\frac{144}{0,99} \cdot \frac{1'}{3438'}\right)^2}$$

$$m_h = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad m_h = 0,048 \text{ м}.$$

**Задача 4.** Определить среднюю квадратическую относительную ошибку площади квадрата, если средняя квадратическая ошибка стороны  $m_a/a = 1/2000$ .

**Решение.** Площадь квадрата  $P = a^2$ . Для решения можно использовать зависимость между истинными ошибками, так же как и между дифференциалами. Логарифмируем и дифференцируем функцию

$$\ln P = 2 \ln a \quad \text{и} \quad dP/P = 2da/a.$$

Переходим к средним квадратическим ошибкам

$$(m_P/P)^2 = (2m_a/a)^2,$$

откуда  $\frac{m_P}{P} = \frac{2m_a}{a}$ . Подставив численные значения, найдем

$$m_P/P = (2 \cdot 1)/2000 = 1/1000.$$

**Задача 5.** Определить коэффициент нитяного дальномера  $K$  теодолита и его среднюю квадратическую ошибку  $m_K$ , если он определялся на базисе, длина которого  $S = 250 \text{ м}$  со средней квадратической ошибкой  $m_S = 0,05 \text{ м}$ . Средний дальномерный отсчет  $l = 249,0 \text{ см}$  получен со средней квадратической ошибкой  $m_l = 0,3 \text{ см}$ .

**Решение.** Напишем функцию  $u = K = f(S, l)$ , т. е.  $K = S/l$ .

Согласно формуле (V.12) получим

$$m_K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial l}\right)^2 m_l^2}$$

Находим частные производные

$$\left(\frac{\partial K}{\partial S}\right) = \frac{1}{l}; \quad \left(\frac{\partial K}{\partial l}\right) = -\frac{S}{l^2},$$

тогда

$$m_K = \sqrt{\frac{m_S^2}{l^2} + \frac{S^2 m_l^2}{l^4}};$$

$$m_K = \sqrt{\left(\frac{0,05}{249}\right)^2 + \left(\frac{250\,000 \cdot 0,03}{249^2}\right)^2},$$

$$m_K = 0,12; \quad K = 100,4 \pm 0,12.$$

Используя второй способ решения, прологарифмируем и продифференцируем функцию  $\ln K = \ln S - \ln l$

$$\frac{dK}{K} = \frac{dS}{S} - \frac{dl}{l}.$$

Переходим к средним квадратическим ошибкам

$$\left(\frac{m_K}{K}\right)^2 = \left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 \text{ или } m_K^2 = K^2 \left(\frac{m_S}{S}\right)^2 + K^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2.$$

Если подставить числовые данные, то получим

$$m_K \sqrt{\left(\frac{100,4 \cdot 0,05}{250}\right)^2 + \left(\frac{100,4 \cdot 0,3}{249}\right)^2} = 0,015,$$

$$m_K = 0,12.$$

**Задача 6.** Найти среднюю квадратическую и относительную ошибку в длине линии  $S=300$  м, если известно, что эта линия измерялась 20-метровой стальной лентой, а средняя квадратическая ошибка одного уложения  $m=2$  мм.

**Решение.** Длина линии может быть представлена функцией вида (V.15), тогда средняя квадратическая ошибка всей линии по формуле (V.19)

$$m_S = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2},$$

так как  $m_1 = m_2 = \dots = m$ , то по формуле (V.20)  $m_S = m\sqrt{n}$ , где  $n$  — число уложений ( $300 : 20 = 15$ ).

Тогда  $m_S = 2 \text{ мм} \sqrt{15} = 7,8 \text{ мм}$ .

Относительная средняя квадратическая ошибка длины линии

$$m_S/S = 7,8 \text{ мм}/300 \text{ м} = 1/3800.$$

**Задача 7.** Окружность  $S$  проведена радиусом  $r = 150$  м.

Вычислить длину окружности  $S$  и ее среднюю квадратическую ошибку.

Решение. Используем функцию вида (V.13). Длина окружности  $S=2\pi r$ , откуда  $S=2 \cdot 3,14 \cdot 150=942$  м.

Средняя квадратическая ошибка радиуса равна  $m_r=150$  м/1500=0,1 м.

Средняя квадратическая ошибка длины окружности, вычисляемая по формуле (V.17), имеет вид  $m_s=2\pi m_r=-2 \cdot 3,14 \cdot 0,1=0,6$  м.

Задача 8. Угол измерен двумя приемами. Вычислить среднюю квадратическую ошибку угла, полученного из двух приемов, если средняя квадратическая ошибка угла из одного приема равна  $m$ .

Решение. Напишем функцию вида (V.16). Значение угла из двух приемов

$$\beta = (\beta_1 + \beta_2)/2 \text{ или } \beta = \beta_1/2 + \beta_2/2.$$

Средняя квадратическая ошибка измерения угла вычисляется по формуле (V.21)

$$m_\beta = \sqrt{\frac{1}{4} m_{\beta_1}^2 + \frac{1}{4} m_{\beta_2}^2}.$$

При  $m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = m$ ,  $m_\beta = m/\sqrt{2}$ .

### Задание V.3.

#### Обработка ряда равноточных измерений

I. **Задача:** определить среднее арифметическое значение измеренной величины и произвести оценку точности результатов измерений.

II. **Литература:** *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 42, 45, 46.

*Гиршберг М. А.* Задачник по геодезии. М., Геодезиздат, 1961, глава III, задачи: 10, 12, 13, 14, 15.

III. **Пособия и принадлежности:** счеты, логарифмическая линейка, микрокалькулятор.

IV. **Последовательность выполнения задания, основные формулы и практические указания.**

Равноточными измерениями одной и той же величины называются такие измерения, которые выполнены одним прибором или с одинаковой точностью, равным числом приемов, одним наблюдателем и в одинаковых условиях.

В практике истинное значение измеренной величины известно редко. Поэтому в том случае, когда одна величина измерена несколько раз, то за наиболее надежный результат принимают среднее арифметическое из всех значений измеренной величины. Среднее арифметическое значение или простая арифметическая середина определяется по формуле

$$x_0 = [x]/n. \quad (V.23)$$

По третьему свойству случайных ошибок (свойству компенсации) арифметическая середина  $x_0$  стремится к истинному значению  $X$  при большом числе измерений

$$\lim_{\text{при } n \rightarrow \infty} x_0 = X. \quad (V.24)$$

В этом заключается принцип арифметической средней.

Для упрощения вычислений рекомендуется вводить приближенное значение измеренной величины  $x'$ , равное одному из значений ряда  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  (предпочтительнее наименьшему), тогда все отклонения  $e_i$  будут положительными. Вычисление арифметической средней  $x_0$  сводится к нахождению отклонений

$$e_i = x_i - x' \quad (V.25)$$

и тогда

$$x_0 = x' + ([e]/n). \quad (V.26)$$

Случайные ошибки  $v_i$ , представляющие отклонения значений  $x_i$  от наиболее надежного значения  $x_0$ , определяются по формуле

$$v_i = x_i - x_0. \quad (V.27)$$

Отклонения  $v_i$  обладают следующими свойствами.

1. Алгебраическая сумма отклонений результатов равнооточных наблюдений одной и той же величины от арифметической средней равна нулю при любом числе наблюдений, т. е.

$$[v] = 0. \quad (V.28)$$

При вычислении отклонений  $v_i$  часто используют округленное значение арифметической средней. Если ошибка округления

$$\beta = x_{0\text{точн}} - x_{0\text{пр}}, \quad (V.29)$$

где  $x_{0\text{точн}}$  — не округленное значение;  $x_{0\text{пр}}$  — принятое после округления, то условию будет соответствовать

$$[v] = n\beta. \quad (V.30)$$

Эта формула используется для контроля вычислений арифметической середины.

2. Сумма квадратов отклонений результатов наблюдений от арифметической середины меньше суммы квадратов отклонений этих же результатов наблюдений от любой другой величины, не равной арифметической середине, т. е. если  $x' \neq x_0$ , то  $[v^2] < [e^2]$ .

Контролем вычислений служит равенство

$$[v^2] = [e^2] - ([e^2]/n). \quad (V.31)$$

Для оценки точности среднюю квадратическую ошибку одного измерения определяют по формуле Гаусса (V.3), если известно истинное значение, и по формуле Бесселя, если оно неизвестно

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}, \quad (V.32)$$

где  $n - 1$  — число избыточных измерений.

Когда истинные ошибки неизвестны, то среднюю ошибку можно вычислить по абсолютным значениям отклонений  $v_i$  по формуле

$$\sigma \approx [|v|]/(n-0,5). \quad (V.33)$$

Для контроля среднюю квадратическую ошибку можно определить из соотношения

$$m \approx 1,25 [|v|]/(n-0,5). \quad (V.34)$$

Среднюю квадратическую ошибку арифметической середины определяют по формуле

$$M = m \sqrt{n}, \quad (V.35)$$

а среднюю квадратическую ошибку самой средней квадратической ошибки по формуле

$$m_m = m / \sqrt{2(n-1)}. \quad (V.36)$$

**Пример 1.** При исследовании мерного прибора было произведено 12 измерений одной и той же линии. Результаты измерений приведены в табл. 31. Вычислить наиболее надежное значение линии и произвести оценку точности.

Вычисления располагают в табл. 31. Порядок вычислений следующий:

Таблица 31

Номер измерения	Результаты измерений $x_i$ , м	$\varepsilon_i$ , см	$\varepsilon_i^2$	$\varepsilon_i$ , см	$\varepsilon_i^2$
1	170,09	-6	36	-1	1
2	14	-11	121	-6	36
3	19	-7	49	+2	4
4	04	+1	1	-4	16
5	06	-3	9	-2	4
6	16	-13	169	+8	64
7	09	+6	36	+1	1
8	07	-4	16	-1	1
9	11	+8	64	-3	9
10	03	0	0	-5	25
11	03	0	0	-5	25
12	05	-2	4	-3	9
$x'$	170,03	-61	505	-21	195
$\frac{[\varepsilon]}{n}$	5 <sub>1</sub>			-20	
$x_0$	170,08 <sub>1</sub>			+1	

$$1. \beta = 170,081 - 170,080 = \pm 0,001; [v] = n\beta + 0,001 \cdot 12 = \pm 0,01 \text{ м.}$$

$$2. m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{195}{11}} = 4,2 \text{ см}; [v^2] = [\varepsilon^2] - \frac{[\varepsilon]^2}{n}; 195 =$$

$$= 505 - \frac{3721}{12}; m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{4,2 \text{ см}}{\sqrt{22}} = 0,89 \text{ см}; m \approx 1,25 \frac{[|\varepsilon|]}{n-0,5} =$$

$$= 1,25 \cdot \frac{41}{11,5} = 4,4 \text{ см.}$$

$$3. M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{4,2 \text{ см}}{\sqrt{12}} = 1,21 \text{ см}, m_M = \frac{M}{\sqrt{2n}} = \frac{1,21 \text{ см}}{\sqrt{24}} = 0,25 \text{ см};$$

$$x_0 = 170,08 \pm 1,21 \text{ см}$$

$$\frac{M_S}{S} = \frac{1,21 \text{ см}}{170,08 \text{ м}} = \frac{1}{14000}$$

1) вычисляют арифметическую средину по формуле (V.26) с контролем по формуле (V.30). В данном примере  $x_0 = 170,08$  м;

2) вычисляют среднюю квадратическую ошибку одного измерения по формуле (V.32) с оценкой ее надежности по формуле (V.36) и с контролем вычисления суммы квадратов отклонений по формуле (V.31). Иногда



Номер измерения	Результаты измерений угла $x_i$	$v_i$	$v_i^2$	$\varepsilon_i$	$v_i^2$
1	63°12'26"	-4	16	-2,2	4,8
2	32	+10	100	+3,8	14,4
3	24	-2	4	-4,2	17,6
4	28	+6	36	-0,2	0
5	33	+11	121	+4,8	23,0
6	25	+3	9	-3,2	10,2
7	31	+9	81	+2,8	7,8
8	22	0	0	-6,2	38,4
9	34	+12	144	+5,8	33,6
10	29	+7	49	-0,8	0,6
11	25	+3	9	-3,2	10,2
12	30	+8	64	+1,8	3,2
$x'$	63°12'22"	-1,75	633	-19,2	163,8
$\frac{[v]}{n}$	6,25"			+19,8	
$x_0$	63°12'28,2"			+0,6	

$$1. \beta = 63^\circ 12' 28,25'' - 63^\circ 12' 28,2'' = +0,05''; [v] = 12 \times (+0,05'') = +0,6''.$$

$$2. m = \sqrt{\frac{163,8}{11}} = 3,9''; [v^2] = 633 - \frac{5625}{12} = 164,2;$$

$$m_m = \frac{3,9''}{\sqrt{22}} = 0,83''.$$

$$3. M = \frac{3,9''}{\sqrt{12}} = 1,1'' \quad m_M = \frac{1,1''}{\sqrt{24}} = 0,23''.$$

Окончательный результат  $x_0 = 63^\circ 12' 28,2'' \pm 1,1''$ .

вычисляют среднюю квадратическую ошибку по формуле (V.34);

3) вычисляют среднюю квадратическую ошибку арифметической середины по формуле (V.35) с оценкой ее надежности по формуле (V.4).

Окончательный результат записывают в виде  $x_0 = 170,08 \pm 1,21$  см.

Пример 2. В табл. 32 приведены результаты равноточных измерений одного и того же угла. Определить арифметическую среднюю угла и ее среднюю квадратическую ошибку.

## ГЛАВА VI СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

---

Съемочным обоснованием называется сеть геодезических пунктов, используемых для обеспечения топографических съемок. Различают плановое съемочное обоснование, когда для всех точек обоснования определены координаты  $x$  и  $y$ , и высотное съемочное обоснование, когда для всех точек определены не только координаты  $x$  и  $y$ , но и высоты  $H$ . Съемочное обоснование можно строить различными способами. В данной главе рассмотрены способы проложения теодолитных ходов.

Теодолитный ход представляет собой построенный на местности замкнутый или разомкнутый многоугольник, в котором измерены все стороны между смежными точками и горизонтальные углы между смежными сторонами. Эти измерения, а также исходные данные в виде пунктов с известными координатами и сторон с известными дирекционными углами, позволяют получить координаты всех точек хода.

Если при проложении хода применялся тахеометр и измерялись не только стороны хода и горизонтальные углы для получения координат пунктов, но и вертикальные углы по смежным направлениям для получения высот пунктов хода, то такой ход называется тахеометрическим\*.

### Задание VI.1

#### Проложение теодолитного хода

I. Задача: проложить теодолитный ход создания обоснования при съемке участка местности в заданном масштабе.

II. Литература: *Гиришберг М. А.* Геодезия, ч. I. М., Недра, 1967, § 124—127.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., Недра, 1982, § 6.01—6.16.

---

\* Тахеометрия в переводе с греческого языка означает скорометр.

*Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства СН 212—73. М., Госстройиздат, 1974.*

III. Приборы и принадлежности: теодолит технический со штативом, стальная 20-метровая лента, комплект шпилек к ленте, эклиметр, дальномерная насадка с комплектом реек, 2 рейки для контрольного измерения расстояний нитяным дальномером, 5 вех, деревянные колья длиной 15 см для обозначения вершин хода и длиной 30 см для «сторожков», топор, зонт топографический, логарифмическая линейка, журналы для измерения углов и длин сторон хода, ручка для ведения журнала, простой карандаш и линейка для вычерчивания схемы хода.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) составление проекта;
- 2) рекогносцировка;
- 3) закрепление пунктов;
- 4) производство угловых и линейных измерений.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Составление проекта.* Проект составляется на имеющихся крупномасштабных картах или планах с учетом требований инструкций (табл. 33 и 34).

Согласно требованиям инструкции теодолитные ходы по точности подразделяются на два разряда: ходы 1 разряда, прокладываемые с относительной ошибкой не грубее 1 : 2000, и ходы 2 разряда — с относительной ошибкой не грубее 1 : 1000.

Длины сторон в теодолитных ходах не должны быть более 350 м и менее 20 м.

2. *Рекогносцировка.* На местности рекогносцировка выполняется с целью уточнения положения пунктов запроектированных теодолитных ходов. Пункты теодолитного хода следует располагать в местах, удобных как для производства угловых и линейных измерений в ходе, так и для съемки местности. Такими местами являются обочины дорог, тротуары, скошенный луг, просеки и т. д. Желательно, чтобы из каждого пункта хода были видны основания вех (или вертикальных реек), установленных в соседних пунктах. Во время рекогносцировки обследуют состояние пунктов опорной геодезической сети.

В процессе рекогносцировки составляется схематический чертеж теодолитного хода.

Таблица 33

Показатель	На застроенной территории и на открытой местности		На местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью						
	Разряд хода	1:500	Масштаб съемки						
			1:1000	1:2000	1:5000	1:10000	1:50000		
Пределная длина хода между исходными пунктами, км	1	0,6	1,2	2,0	4,0	—	1,5	3,0	6,0
	2	0,3	0,5	1,0	2,0	—	1,0	1,5	3,0

Таблица 34

Показатель	На застроенной территории					На незастроенной территории				
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:50000	Масштаб съемки				
						1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:50000
Пределное число сторон в висячем ходе	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
	100	150	200	350	150	200	300	500		

3. *Закрепление пунктов.* Пункты теодолитного хода закрепляют на местности знаками в соответствии с требованиями инструкции и с указаниями тех организаций, по заданию которых прокладывается ход.

Если пункты теодолитного хода необходимы только на период съемки, то их закрепляют деревянными кольями или металлическими штырями длиной 30—50 см.

При необходимости длительной сохранности пунктов теодолитного хода на местности их закрепляют столбами, трубами и железобетонными монолитами в виде усеченной четырехгранной пирамиды с нижним основанием, равным  $15 \times 15$  см, а верхним  $10 \times 10$  см, и высотой 90 см. Нижние основания вышперечисленных знаков располагаются на глубине 80 см от поверхности земли.

В условиях учебной практики пункты теодолитных ходов закрепляются кольями длиной 15—20 см и толщиной 4—6 см, забиваемыми вровень с землей. Центры знаков отмечаются гвоздями, забиваемыми в торцевую часть кола, или крестообразной насечкой на торце кола.

Для облегчения отыскивания пункта рядом с ним забивают колышек-сторожок, на боковой грани которого надписывают номер пункта (числитель) и номер бригады студентов (знаменатель), например 14/63.

Вокруг точки, на расстоянии 0,2—0,3 м, делается окопка в виде канавки шириной 0,1 м, образующей какую-либо геометрическую фигуру. В условиях учебной практики необходимо следить за тем, чтобы забиваемые колья не мешали движению транспорта, всевозможных сельскохозяйственных машин и пешеходов.

4. *Производство угловых и линейных измерений.* До начала измерений необходимо проверить и исправить приборы по правилам, изложенным в заданиях III.4, IV.1, IV.2, IV.3, IV.4.

а) Измерение горизонтальных углов.

Горизонтальные углы в теодолитном ходе обычно измеряют одним приемом по правилам, изложенным в задании III.5.

При применении теодолитов с односторонней системой отсчитывания по горизонтальному кругу лимб между полуприемами при измерении углов не переставляется, при применении теодолитов с двусторонней системой отсчитывания переставляется на величину, близкую  $90^\circ$ .

Центрирование и горизонтирование теодолита выполняется способом, изложенным в задании III.5.

Центрирование теодолита производится при помощи нитяного отвеса, острый которого должно находиться над центром пункта теодолитного хода с ошибкой, не превосходящей величины (в сантиметрах)

$$l = 1,5tS_{100},$$

где  $l$  — точность измерения углов в теодолитном ходе, выраженная в угловых минутах;  $S$  — число сотен метров в стороне. Например, при  $t=0,5'$  и  $S=100$  м  $l=8$  мм. Чем короче стороны угла, тем точнее надо центрировать прибор. После того как теодолит отцентрирован, следует закрепить становой винт и приступить к горизонтированию прибора. После того как теодолит отгоризонтировали при любом положении алидады пузырьки уровня не должны отклоняться от нуля-пункта больше, чем на одно деление.

При проложении теодолитного хода визирование чаще всего производят на оси вех, установленных вертикально на смежных пунктах так, чтобы отклонение от створа измеряемого угла не превышало ошибки центрирования теодолита. Трубу при этом наводят на часть вехи, наиболее близкую к ее основанию.

Если измерения горизонтальных углов производят одновременно с измерением длин сторон дальномерными насадками, то вертикальную нить сетки трубы совмещают с осью вертикальной рейки (дифференциального дальномера) или осью средней марки горизонтальной рейки дальномерного комплекта ДНТ.

При привязке теодолитных ходов и на узловых точках приходится измерять на одном пункте несколько углов. В этих случаях каждый угол измеряют отдельно или применяют способ круговых приемов (см. задание III.5).

#### б) Измерение длин сторон хода.

Длины сторон теодолитного хода измеряются либо оптическими дальномерами, либо редуцированными тахеометрами, либо стальными 20-метровыми лентами и рулетками в прямом и обратном направлениях по правилам, указанным в заданиях IV.2, IV.3, IV.1, IV.4, IV.5.

Расхождение между результатами, полученными при измерении длин сторон в прямом и обратном направлениях, не должно быть более  $1/2000$  в теодолитных ходах

1 разряда и 1 : 1000 в теодолитных ходах 2 разряда. При получении недопустимого расхождения измерения повторяются.

Результаты угловых и линейных измерений при прохождении хода записываются в журнал, форма которого зависит от способа измерений.

В табл. 35 приведен образец журнала при измерении длин сторон хода дифференциальным дальномером ДН-8 (ДН-05), в табл. 36 — при измерении дальномерной насадкой ДНТ, в табл. 37 — при измерении длин сторон хода стальной 20-метровой лентой, в табл. 38 — при измерении углов способом круговых приемов.

Длины сторон, измеренные дифференциальным дальномером, и их горизонтальные проложения в табл. 35 вычислены по формулам (IV.8), (IV.16), (IV.5), (V.18)

$$S = Kl,$$

где  $K$  — коэффициент дальномера;  $l$  — среднее из отсчетов по белой и желтой сторонам реек;

$$s = S \cos^2 (\nu + 17')$$

или

$$s = S - \Delta S_\nu,$$

где  $\nu$  — угол наклона визирной оси теодолита,

$$\Delta S = S \sin^2 (\nu + 17').$$

Длины сторон, измеренные ДНТ, и их горизонтальные проложения (см. табл. 36) вычислены по формулам (IV.28), (IV.29), (IV.3), (IV.22), (IV.5), (IV.4)

$$S = K/\beta + c + \Delta S_T,$$

где  $K$  — коэффициент дальномера;  $\beta$  — параллактический угол;  $c$  — постоянное слагаемое дальномера;  $\Delta S_T$  — поправка за температуру (см. главу IV).

$$\Delta S_T = 16 \cdot 10^{-6} (T - T_0) \frac{K}{\beta},$$

$$s = S \cos \nu,$$

$$s = S - \Delta S_\nu,$$

где  $\nu$  — угол наклона линии визирования;

$$\Delta S = 2S \sin^2 \frac{\nu}{2}.$$

## Журнал теодолитного хода с измерением длин сторон дифференциальным дальномером

Теодолит Т30, № 781, насадка ДП-04, № 892, цена деления рейки 2 см, коэффициент дальномера К=100,  $c=0,11$ ,  $MO=0$ .

Дата 3.07.1981 г.

Наблюдатель Ивниев А

Записывал и вычислял Петров И. Погода: переменная облачность, слабый ветер

Станция	Номер точки		Отсчеты по горизонтальному кругу	Значение угла на подуровне	Угол среднее значение	Плоская точка измерения	Отсчеты по вертикальному кругу	Угол $\nu - MO$ $\nu + 17''$ П	Отсчеты по рейкам			$\frac{KI}{\Delta S_y}$ S				
	виртуальная	реальная							по левой стороне $l_1, l_1'$ $l_1 + l_1' = l_1$	по желтой стороне $l_2, l_2'$ $l_2 + l_2' = l_2$	$l = \frac{l_1 + l_2}{2}$					
3	2	62	П 0° 01,0'	153° 25,0'	153° 25,5'	2/62	П 52'	-2° 52'	55,251	49,690	11,111	110,517				
	62	4	П 153 26,0	153 26,0									55,259	49,690	110,510	-0,227
	62	4	П 01,0'	153 26,0									117,219	117,143	110,510	110,290
	62	4	П 01,0'	153 26,0									117,219	117,143	110,510	110,290
3	2	62	П 0° 01,0'	153° 25,0'	153° 25,5'	4/62	П 21'	-2° 39'	58,613	53,018	11,111	117,194				
	62	4	П 153 26,0	153 26,0									58,606	53,014	110,510	-0,308
	62	4	П 01,0'	153 26,0									117,219	117,143	110,510	110,290
	62	4	П 01,0'	153 26,0									117,219	117,143	110,510	110,290



## Журнал теодолитного хода с измерением длин сторон дальномером ДН-8

Теодолит ТТ-5 № 15978, насадка ДН-8 № 9978, коэффициент дальномера  $K=11272$ ,  $M_0=0'00''$ 

Дата 3.07.1981 г.

Наблюдатель А. Иванов

Записывал и вычислял И. Петров

Погода: переменная облачность, слабый ветер

Сторона	Помер точки	Отсчеты по горизонтальному кругу	Значение угла в полупрямом	Среднее значение угла	Помер точки визирная	Отсчеты по вертикальному кругу	$\nu = MO - T - (I - MO)$	Отсчеты по дальномерной шкале		$\beta = n_1 - n_2$	Кв. ср. $\Delta N$ $\Delta Sv$ С. м	
								$n_1$	$n_2$			
6 62	5 62	0° 01,0'			5 62	358° 02'	+1' 58'	2	36,73	86,40	49,67	226,71
	7 62	124 28,0	124° 27,0'		6?	средние +18,5		средние +18,5	38,74 40,51	88,52 90,22	49,78 49,71	-0,10 -0,02
7 62	7 62	124 28,0	124° 27,0'		7 62	0	38 - 0	1	51,37	101,10	49,73	226,79
	5 62	100 02,0	124° 27,5'		7 62	38 0		средние +19,3	28,00 30,51 31,90	82,35 84,89 86,39	54,35 54,38 54,40	207,21 -0,10 -0,03
7 62	7 62	224 30,0	124 28,0		7 62				32,02	86,49	54,47	207,28
											54,40	



Теодолит Т15 № 277

Дата 12.07. 1981 г.

Наблюдатель А. Иванов

Записывающий и вычисляющий Е. Пестров

Погода: переменная облачность, слабый ветер,  
видимость хорошая

Номер точки	Отсчеты по лимбу		2 с'	∠(α-β) ≈ 180°		Приведенные направления	Значение углов			
	стояния	направления		α	β					
11346	0°	00,0'	180°	01,0'	0'	00,5'	0°	00,0'		
1	98	57,3	278	59,3	98	58,2	98	57,7'		
11364	231	21,5	51	22,5	231	22,0	231	21,5	132	23,8
11346	0	01,0	180	00,0	0	00,5	0	00,0	128	38,5
Сумма							360°	00,0'		

Дата 12.07. 1981 г.

Наблюдатель Иванов А.

Записывал и вычислял Петров И.

Приборы теодолит Т15, № 1578.

Номер точки		Отсчеты по горизонтальному кругу		Значение угла из полуприема		Среднее значение угла	
стояния	визирования						
ПП187	ПП375	0°	34,5'	157°	34,3'	157°	34,3'
	6	29	48,2				
	1	158	08,8	128	20,6		
ПП187	ПП375	180	34,5	157	34,3	128	20,2
	6	209	49,0				
	1	338	08,8	128	19,8		
1	ПП187	0	57,5	130	57,4	130	57,4
	8	22	52,9				
	2	131	54,9	109	02,0		
1	ПП187	180	57,0	130	57,5	109	02,2
	8	202	52,1				
	2	311	54,5	109	02,4		
2	1	0	10,4	104	46,8	104	46,6
	3	104	57,2				
	1	180	10,4	104	46,1		
	3	284	56,8				

## проложении теодолитных ходов

Погода: переменная облачность, слабый ветер, видимость хорошая  
 стальная 20-метровая лента

Измерение длин сторон, м			Угол наклона линий	поправка за наклон	Горизонтальные проложения
прямо	обратно	среднее			
357,17	357,05	357,11	0—210 . . . —2°15' 210—357 . . . +3,30	-0,16 -0,28	356,67
				-0,44	
191,04	190,96	191,00	0° 00'	0	191,00
259,20	259,30	259,25	0° 00'	0,00	259,25

Номер точки		Отчеты по горизонтальному кругу		Значение угла на полуцирке	
стояния	визирования				
3	2	0	18,3	156	31,7
	4	156	50,0		
	2	180	18,5	156	31,3
	4	336	49,8		
4	3	0	34,0	107	00,0
	5	107	34,0		
	3	180	34,0	107	00,0
	5	287	34,0		
5	4	0	43,2	174	26,8
	7	86	27,2		
	6	175	10,0	88	42,8
5	4	180	43,0	174	26,2
	7	266	27,0		
	6	355	09,2	88	42,2
	5	0	39,5		55,2
6	III/87	98	34,8	97	55,7
	5	180	39,5		
	III/87	278	35,2	97	
7	5	0	08,0	235	48,2
	8	235	56,0		
	5	180	08,0	235	48,5
	8	35	56,5		
8	7	0	18,0	101	05,0
	1	101	23,0		
	7	180	17,0	101	05,0
	1	281	22,0		

Измерение для сторон, м			Угол наклона линий	Поправка за наклон	Горизонтальные проложения
прямо	обратно	среднее			
202,23	202,14	202,18	+2°45'	-0,22	201,9
165,97	165,88	165,92	0° 00'	0,00	165,92
254,72	254,85	254,78	0°00'	0,00	254,78
221,32	221,23	221,88	0°00'	0,00	221,28
144,29	144,23	144,26	0°00'	0,00	144,26
159,54	159,45	159,50	0°00'	0,00	159,50
265,16	265,28	265,22	3°00'	-0,36	264,86

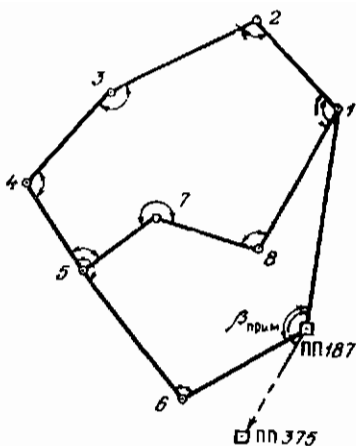


Рис. 80. Схема теодолитных ходов

Горизонтальные проложения длин сторон, измеряемые стальной лентой, в табл. 37 вычислены по вышеприведенным формулам.

Выбор формул для вычисления  $s$  зависит от наличия вычислительных средств: соответствующих таблиц, ЭКВМ типа «Электроника», логарифмической линейки и т. д.

Пример. На рис. 80 показана сеть теодолитных ходов, проложенных для теодолитной съемки участка местности.

Сеть состоит из замкнутого полигона, опирающегося на исходный пункт ПП 187 с привязкой к стороне ПП 375—ПП 187, и диагонального хода, проложенного между пунктами 1 и 5 теодолитного хода.

При измерении горизонтальных углов в ходе применялся теодолит Т15. Длины сторон измерялись стальной 20-метровой лентой. Для вычисления горизонтальных проложений сторон ходов углы наклона линий с уклоном больше  $1^\circ$  были измерены эклиметром.

Результаты измерений представлены в табл. 39.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

В условиях учебной практики задание выполняется бригадой из 5 студентов с таким распределением обязанностей:

1) рекогносцировка хода и закрепление пунктов хода выполняется всем составом бригады под непосредственным руководством преподавателя;

2) исследования и проверки приборов выполняет каждый студент;

3) угловые и линейные измерения, предусмотренные в задании, выполняются составом бригады из 4 человек со следующим распределением обязанностей: наблюдатель, помощник наблюдателя, два мерщика (или два речни-



ка при измерении длин линий дальномером) и установщик вех. Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

## Задание VI.2

### Проложение тахеометрического хода

I. Задача: проложить тахеометрический ход для создания обоснования при тахеометрической съемке полосы местности.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 127.

*Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* М., Недра, 1982.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 52—55.

*Никулин А. С.* Тахеометрические таблицы. М., Недра, 1976.

III. Приборы, принадлежности и пособия: тахеометр со штативом; две рейки, рулетка, колья для обозначения вершин хода, топор, зонт топографический, логарифмическая линейка, тахеометрические таблицы, журнал тахеометрического хода, ручка для ведения журнала.

При проложении тахеометрического хода с измерением длин сторон дальномерами двойного изображения кроме перечисленных выше приборов и принадлежностей необходимо иметь дальномер двойного изображения с комплектом реек и журнал измерения длин линий дальномерной насадкой.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) составление проекта тахеометрического хода;
- 2) рекогносцировка и закрепление пунктов тахеометрического хода;
- 3) производство угловых и линейных измерений.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Составление проекта тахеометрического хода.* Проект составляется по тем же правилам, что и для теодолитного хода (см. задание VI.1) с соблюдением технических требований, приведенных в табл. 40.

Длина тахеометрического хода между твердыми

Показатели			Масштаб съемки			
			1:5000	1:2000	1:1000	1:500
Предельное число точек в ходе	сто-	6	5	3	Не применяется	
	дельная длина, м	300	200	150		

пунктами не должна превышать величины, вычисляемой по формуле

$$[S] \leq 7,5NT \cdot 10^{-4}, \quad (\text{VI.1})$$

где  $[S]$  — длина хода, м;  $N$  — знаменатель численного масштаба съемки;  $T$  — знаменатель относительной точности в периметре тахеометрического хода.

Пример. При  $N=5000$ ,  $T=400$  предельная длина тахеометрического хода  $[S]=1500$  м.

2. *Рекогносцировка и закрепление пунктов тахеометрического хода.* На местности рекогносцировка и закрепление пунктов выполняется по тем же правилам, что для теодолитных ходов.

3. *Производство угловых и линейных измерений.* До начала измерений необходимо проверить и исправить приборы по правилам, изложенным в заданиях III.4, IV.1, IV.2, IV.3, VII.4. Особое внимание при выполнении этой работы следует обратить на тщательное определение коэффициента дальномера (или поправки за отклонение коэффициента от 100 в нитяном дальномере).

Угловые и линейные измерения на каждом пункте тахеометрического хода выполняются в последовательности:

- 1) устанавливают теодолит, т. е. центрируют (с линейной ошибкой, не большей 1 см) и горизонтируют его;
- 2) измеряют рулеткой (или рейкой) высоту прибора от оси вращения трубы до торца кола с точностью до 1 см;
- 3) устанавливают рейки на соседних пунктах хода так, чтобы ось рейки проходила через центр пункта и занимала вертикальное положение;
- 4) устанавливают отсчет по горизонтальному кругу, близкий к  $0^\circ$ , и вращением лимба наводят трубу на рей-

ку, установленную на предыдущем пункте хода (заднюю), закрепляют лимб и производят дальномерный отсчет, при этом удобно нижнюю дальномерную нить наводить на целое число делений рейки;

5) совмещают вертикальную нить сетки с осью рейки (при наведении на возможно более низкую часть рейки), а горизонтальную (среднюю) нить сетки наводят на отсчет, равный принятой высоте визирования (либо высоте прибора, либо 2,0 м, либо на верх рейки);

6) приводят пузырек уровня алидады вертикального круга в нуль-пункт;

7) производят отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам;

8) наводят трубу вращением алидады на рейку, установленную на последующем пункте хода (переднюю), закрепляют алидаду и производят дальномерный отсчет;

9) совмещают вертикальную нить с осью рейки при наведении на возможно более низкую часть рейки, а среднюю горизонтальную нить наводят на отсчет, равный принятой высоте визирования;

10) приводят пузырек уровня алидады вертикального круга в нуль-пункт;

11) производят отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.

Перечисленные действия составляют один полуприем\*.

По окончании первого полуприема трубу переводят через зенит и повторяют наблюдения в вышеизложенном порядке.

Все результаты измерений записываются в журнал, форма которого приведена в табл. 41.

Если при проложении тахеометрического хода применяются дальномеры двойного изображения, то работа на тахеометрической станции выполняется в той же по-

---

\* Измерение угла наклона и расстояния можно делать при одном и том же положении трубы с наведением нижней видимой нити сетки (в трубе, дающей обратное изображение) на точку рейки, расположенную на постоянной высоте  $v$  (например, 2 м) над пяткой. В этом случае дальномерный отсчет  $l$  вычисляется по формуле  $l = v - b$ , где  $b$  — отсчет по верхней видимой нити, а высота визирования при вычислении превышения равна  $v - \frac{l}{2}$ . Этот способ предложен чехословацким геодезистом Э. Шестаком в 1948 г. под названием «двухнитная тахеометрия».

Журнал тахеометри

Дата 12.07. 1981 г. Погода ясно

Наблюдал А. Иванов

Записывал и вычислял А. Петров

Номер пункта		I Л	Горизонтальный круг				Номер пункта визиро- вания. в
стояния, г	визиро- вания		Отсчеты		I Л среднее		
1	2	3	4		5		6
	ПП748		180°	00,2'			
	1:65	Л	84	19,4	264°	19,2'	
ПП747	ПП748		0	00,0	264	19,0	1/65
1,50	1:65	П	264	18,8	264	18,8	1,50
	ПП747		180	00,4			
	2:65	Л	8	58,7	188	58,3	ПП747 1,26
1/65					188	58,5	
	ПП747		0	00,0			
1,26	2:65	П	188	58,7	188	58,7	2/65
			180	00,3			1,26
	1:65						
	3:65	Л	97	48,7	277	48,4	1/65
2:65							1,28
	1:65	П	0	00,0	277	48,5	
1,28							
	3:65		277	48,6	277	48,6	3/65
	2:65		180	00,1			1,28
	4:65	Л	296	11,4	116	11,3	2/65
3/65					116	11,5	1,32
1,32	2:65		0	00,0			4/65
	4:65	П	116	11,7	116	11,7	1,32
	3:65		180	00,0			
	ПП755	Л	44	53,8	224	53,8	3/65
4:65					224	54,0	1,31

ческого хода

Теодолит Т15 № 78

Поправка  $p=0$ 

Рейки нивелирные, складные 4-метровые

Вертикальный круг			Отсчеты по рейке	S с, м	h' Δ h, м	h <sub>пр</sub> h <sub>обр</sub> h <sub>ср</sub> м
П Л	Отсчеты	МО				
7	8	9	10	11	12	13
Л	0° 18,0'	0° 00,0'	115,9 115,7	115,8	+0,60	+0,60
П	179 42,0	-018,0	115,8 115,8	115,8	0,00 -0,60	-0,62 +0,61
Л	179 41,7	0 00,2	115,9 115,8	115,8	0,00 -0,62	
П	0 18,7	-0 18,5	115,9 115,8	115,8	0,00 -0,62	
Л	178 43,0	0 00,5	206,0 205,6 205,8	205,8 205,7	-4,63 0,00 -4,63	-4,63 +4,61 -4,62
Л	1 17,4	0 00,4	205,8	205,8	+4,61	
П	178 43,5	+1 17,0	205,9 205,9	205,7	0,00 +4,61	
Л	179 28,5	0 00,5	171,7	171,8	-1,60	-1,60
П	0 32,5	-0 32,0	171,8 171,8	171,8	0,00 -1,60	+1,57 -1,58
Л	0 32,0	0 00,5	172,0 172,0	172,0	+1,57 0,00	
П	179 29,0	+0 31,5	172,0		+1,57	
Л	177 49,1	0 00,6	134,8 135,0	134,9 134,7	-5,13 0,00	-5,13 +5,12
П	2 12,1	-2 11,5	134,9		-5,13	-5,12
Л	2 10,2	0 00,2	135,3	135,3	+5,12	
П	177 50,3	+2 10,0	135,3 135,3	135,1	0,00 +5,12	

Номер пункта		П Л	Горизонтальный круг				Номер пункта визиро- вания, <i>v</i>
стация, <i>i</i>	визиро- вания		Отсчеты		П Л среднее		
1	2	3	4		5		6
1,31	3/65	П	0	00,0	224	54,2	ПП755
	ПП755		224	54,2			
ПП755	4/65	Л	180	00,0	167	55,0	1,31
	ПП756		346	55,0			
1,31	4/65	П	0	00,0	167	55,0	1,31
	ПП756		167	55,0			

следовательности, что и при применении нитяного даль-  
номера, но с учетом особенностей измерения расстояний  
дальномером двойного изображения, изложенных в за-  
дании IV.3 и IV.4.

При проложении тахеометрического хода получили  
распространение номограммные тахеометры.

При применении номограммных тахеометров работа  
на тахеометрической станции выполняется в той же по-  
следовательности, но с учетом особенностей определения  
горизонтальных проложений и превышений  $h'$ , изложен-  
ных в задании VI.3.

Прежде чем перейти с прибором на следующий пункт  
тахеометрического хода, выполняют в журнале все необ-  
ходимые вычисления.

1. Вычисляют значения горизонтальных углов из по-  
луприемов. Если расхождение между ними не превосходит  
удвоенной точности отсчитывания по горизонтально-  
му кругу, то вычисляют среднее значение угла, измерен-  
ного полным приемом.

2. Вычисляют значения места нуля вертикального кру-  
га MO, соответствующие углам наклона на предыдущий  
и последующий пункты тахеометрического хода. Если  
расхождения между ними не превосходят удвоенной точ-  
ности отсчитывания по вертикальному кругу, то по пра-  
вилам, изложенным в задании III.6, вычисляют значение

Вертикальный круг				Отсчеты по рейке	S с, м	h' Δ h, м	h <sub>пр</sub> h <sub>обр</sub> h <sub>ср</sub> м
П Л	Отсчеты		МО				
7	8		9	10	11	12	13
Л	179	02,0	0 00,0	149,8	149,8	-2,52	-2,52
П	0	58,0	-0 58,0	149,7	149,8	0,00	+2,55
				149,8		-0,52	-2,54
Л	0	59,4	0 00,4	149,4	149,5	+2,55	
				149,6	149,5	0,00	
П	79	01,3	-0 59,0	149,5		+2,55	

углов наклона  $v$ . Особое внимание должно быть обращено на выбор формул для вычисления МО и  $v$  в зависимости от оцифровки вертикального круга (см. задание III.6).

Вычисляют среднее из дальномерных отсчетов, полученных в первом и втором полуприемах, если расхождение между ними не превосходит 1 : 200 (или 1 : 1000 при применении дальномеров двойного изображения).

Если представляется возможным, то сразу же в поле вычисляют длины сторон хода, их горизонтальные проложения и превышения между пунктами хода следующим образом.

1. Если длины сторон хода измерены нитяным дальномером, то длины сторон  $S$  и их горизонтальные проложения вычисляют по формулам (см. главу IV): (IV.12); (IV.16); (IV.5); (IV.17)

$$S = 100l + p,$$

где  $l$  — дальномерный отсчет;  $p$  — поправка за отклонение коэффициента дальномера от 100;

$$s = S \cos^2 v$$

или

$$s = S - \Delta S_v,$$

где  $v$  — угол наклона линии визирования,

$$\Delta S_v = S \sin^2 v.$$

Вычисление по вышеприведенным формулам удобно вести по соответствующим таблицам или при помощи логарифмической линейки. Вычисленные значения  $s$  округляются до десятых долей метра.

Если длины сторон измеряются оптическими дальномерами, то их горизонтальные проложения вычисляю по правилам, изложенным в задаче VI.1.

Расхождение между горизонтальными проложениями, полученными в прямом и обратном направлениях, не должны превышать допустимых значений (см. главу IV.1).

Превышения между пунктами тахеометрического хода вычисляются по формулам:

$$h = h' \mp i - v, \quad (VI.2)$$

где

$$h' = \frac{1}{2} S \sin 2v, \quad (VI.3)$$

или

$$h' = s \operatorname{tg} v. \quad (VI.4)$$

Вычисления производятся по тахеометрическим таблицам с округлением полученных результатов до сотых долей метра.

Расхождение между превышениями, полученными в прямом и обратном направлениях, не должно превышать

$$h_{\text{пр}} \mp h_{\text{обр}} \leq 0,04s, \quad (VI.5)$$

где  $s$  — горизонтальное проложение стороны хода, выраженное в сотнях метров и округленное до десятков метров.

Если удовлетворяется условие (VI.5), то вычисляют  $h_{\text{ср}}$  из абсолютных значений  $h_{\text{пр}}$  и  $h_{\text{обр}}$  и выписывают его со знаком  $h_{\text{пр}}$ .

Пример. На рис. 81 представлена схема тахеометрического хода, опирающегося на полигонометрические пункты 747 и 755.

Ход является обоснованием для съемки полосы местности в масштабе 1 : 5000 с высотой сечения рельефа 1 м.

Ход удовлетворяет требованиям, приведенным в табл. 44. Длина хода не превосходит 1,5 км. Пункты хода рас-



положены в местах, удобных для съемки окружающей местности и исключающих возможность повреждения посевов.

Результаты измерений, выполненных теодолитом Т15 с вертикальной рейкой, представлены в табл. 41.

Вначале теодолит был установлен на ПП 747, а рейки — на ПП 748 и на коле 1/65 (знаменатель дроби 65 является номером бригады, выполняющей задание), затем была измерена высота прибора  $i=1,50$  и записана в графе 1 журнала (см. табл. 41).

При наведении трубы при круге лево на рейку, установленную на ПП 748, был произведен отсчет по горизонтальному кругу  $180^{\circ}00,2'$  и записан в графу 4 журнала.

При наведении трубы при круге право на рейку, установленную на коле 1/65, были произведены дальномерный отсчет 115,9 (он записан в графу 10), отсчет по горизонтальному кругу  $84^{\circ}19,4'$  (он записан в графу 4) и при наведении средней нити на отсчет  $v=150$  см (см. графу 6) отсчет по вертикальному кругу  $0^{\circ}18,0'$  (он записан в графу 8).

Перед отсчетом по вертикальному кругу пузырек уровня алидады вертикального круга при помощи наводящего винта уровня был приведен в нуль-пункт.

В такой же последовательности были произведены измерения при круге право.

В графах 3 и 7 указано положение круга при измерении.

Вычисления на станции были выполнены в определенной последовательности.

1. Были получены значения горизонтального угла, измеренного двумя полуприемами. Так как расхождение между ними ( $264^{\circ}19,2' - 264^{\circ}18,8' = 0,4'$ ) не превосходило  $0,5'$ , то было вычислено среднее значение угла ( $264^{\circ}19,0'$ ), записанное в графу 5 между измеренным значением.

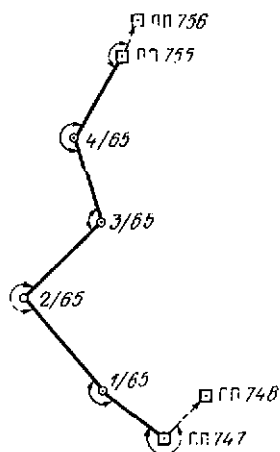


Рис. 81. Схема тахеометрического хода

2. Место нуля вертикального круга  $0^{\circ}00,0'$  и угол наклона  $v = +0^{\circ}18,0'$  были получены для теодолита Т15 по формулам (III.20); (III.21); (III.22)

$$MO = (\Pi + Л - 180^{\circ})/2$$

и

$$v = Л - MO = MO - \Pi - 180^{\circ}$$

и записаны в графу 9

3. Так как расхождения между дальномерными отсчетами при круге право и круге лево по рейке, установленной в точке 1/65, ( $115,9 - 115,7 = 0,2$ ) и в относительной мере ( $0,2/116 = 1/510$ ) меньше  $1/200$ , то было вычислено среднее из дальномерных отсчетов (115,8) и записано в графу 10.

4. В графе 11 были вычислены измеренная длина стороны  $S$  между ПП 747 и пунктом тахеометрического хода 1/65 по формуле (IV.12) и ее горизонтальное проложение  $s$  по тахеометрическим таблицам.

5. По тем же самым таблицам по  $S$  и  $v$  было определено  $h = +0,60$  (оно записано в графу 12).

Так как  $i = v = 1,50$ , то  $\Delta = 0$  и  $h = h' = +0,60$ .

Подобным же образом выполнены измерения и вычисления на остальных пунктах хода, включая ПП 755.

В графу 13 были выписаны прямые, обратные и средние превышения со знаками между пунктами тахеометрического хода при удовлетворении условия VI.5.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

В условиях учебной практики задание выполняется бригадой из 5 студентов с таким распределением обязанностей:

1) рекогносцировка хода и закрепление пунктов хода выполняется всем составом бригады под непосредственным руководством преподавателя;

2) исследования и проверки приборов выполняет каждый студент;

3) измерения, предусмотренные в задании, выполняются составом бригады из 5 человек со следующим распределением обязанностей: наблюдатель, помощник наблюдателя, два реечника и вычислитель. Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

**Вычисление координат пунктов теодолитного  
и тахеометрического ходов**

I. Задача: по результатам угловых и линейных измерений вычислить координаты пунктов теодолитного и тахеометрического ходов.

II. Литература: *Гиршберг М. Л.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 129—132.

III. Пособия и принадлежности: *Баканова В. В., Фокин П. И.* Таблицы приращений координат. М., Недра, 1982. ЭКВМ типа «Электроника» или пятизначные таблицы тригонометрических функций, счеты, логарифмическая линейка, бланки ведомости вычисления координат пунктов, ручка.

При отсутствии ЭКВМ типа «Электроника» или арифмометра необходимы либо таблицы для вычисления координат, либо пятизначные таблицы логарифмов чисел и тригонометрических функций.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) вычисление дирекционных углов сторон хода;
- 2) вычисление прямоугольных координат пунктов хода.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Вычисление дирекционных углов сторон хода.* Обработка результатов измерений начинается с тщательной проверки полевых журналов. Обнаруженные ошибки должны быть устранены путем соответствующих исправлений. Лицо, проверявшее журнал, обязано его подписать.

Исходными данными для вычисления дирекционных углов сторон хода являются известные дирекционные углы  $\alpha_{исх}$  примычных сторон. Если дирекционный угол  $\alpha_{исх}$  не задан, то его вычисляют по координатам исходных пунктов путем решения обратной геодезической задачи. Если координаты пункта, являющегося начальной (или конечной) вершиной хода,  $x_A, y_A$ , а координаты видимого с него второго пункта геодезического обоснования  $x_B, y_B$ , то (рис. 82)

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}. \quad (\text{VI.6})$$

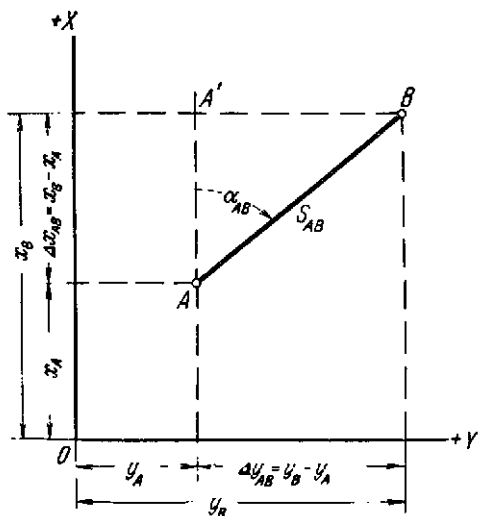


Рис. 82. Обратная задача на координаты

Откуда по таблицам натуральных значений тригонометрических функций определяют значение румба  $r_{AB}$ , а по нему и дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ .

Контролем решения задачи служит сходимость результатов, полученных из двух вычислений,

$$s_{AB} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} \quad (VI 7)$$

Дирекционные углы  $\alpha_{исх}$  примычных сторон записываются в графу 3, ведомости вычисления координат пунктов (см. табл. 44, 45, 46), куда предварительно выписывают названия пунктов хода, средние значения измеренных углов (графа 2) с указанием, являются ли они левыми или правыми, и горизонтальные проложения  $z$  сторон хода (графа 5).

Вычисляют сумму  $\Sigma \beta_{взм}$  измеренных углов в ходе и выписывают ее итогом в конце графы 2 ведомости вычисления координат.

В замкнутом ходе в  $\Sigma \beta_{взм}$  включают только внутренние углы полигона, в разомкнутом — углы поворота и примычные углы хода.

Вычисляют угловую невязку  $f_{\beta}$  хода по формуле

$$f = \Sigma \beta_{\text{изм}} - \Sigma \beta_{\text{теор}} \quad (\text{VI.8})$$

В сомкнутом ходе  $\Sigma \beta_{\text{теор}}$  вычисляется по формуле

$$\Sigma \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n - 2), \quad (\text{VI.9})$$

где  $n$  — число сторон сомкнутого полигона.

В разомкнутом ходе, если измерены левые углы поворота,  $\Sigma \beta_{\text{теор}}$  вычисляется по формуле

$$\Sigma \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{к}} - \alpha_{\text{н}} + 180^\circ (n - 1), \quad (\text{VI.10})$$

или по формуле

$$\Sigma \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{н}} - \alpha_{\text{к}} + 180^\circ (n - 1) \quad (\text{VI.11})$$

если измерены правые углы поворота.

В формулах (VI.10) (VI.11)  $\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{н}}$  — известные дирекционные углы конечной и начальной сторон, между которыми проложен ход,  $n$  — число сторон хода.

Если угловая невязка  $f_{\beta}$  не превосходит предельного значения:

для замкнутого полигона

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1' \sqrt{n}; \quad (\text{VI.12})$$

для разомкнутого полигона

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1' \sqrt{n - 1}, \quad (\text{VI.13})$$

то невязку  $f_{\beta}$  распределяют с обратным знаком между измеренными углами.

При относительном равенстве сторон хода угловая невязка  $f_{\beta}$  распределяется поровну между всеми углами. Если же длины сторон хода резко отличаются друг от друга, то в углы с короткими сторонами вводят несколько большие поправки, так как на результатах измерения таких углов сильнее сказывается неточность центрирования теодолита и визирных знаков.

Поправки  $v_{\beta}$ , округленные до десятых долей минуты, выписываются с их знаками над значением соответствующих измеренных углов.

Контролем вычисления поправок  $v_{\beta}$  служит соблюдение условия

$$\Sigma v_{\beta} = -f_{\beta}, \quad (\text{VI.14})$$

т. е. сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком.

Исправленные значения углов, вычисленные как

$$\beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + v_{\beta}, \quad (\text{VI.15})$$

используются для вычисления дирекционных углов сторон хода по одной из формул:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{i, \text{испр., лев}} \pm 180^\circ \quad (\text{VI.16})$$

или

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta_{i, \text{испр., прав}} \pm 180^\circ. \quad (\text{VI.17})$$

В выражениях (VI.16) и (VI.17) индекс «лев» обозначает левый угол и «прав» — правый,  $i=1, 2, \dots, n$  текущий номер стороны хода.

Если в процессе вычисления дирекционный угол какой-нибудь стороны окажется более  $360^\circ$ , то из него следует вычесть  $360^\circ$ .

В конце последовательного вычисления дирекционных углов сторон хода в сомкнутом полигоне должно быть получено значение дирекционного угла начальной стороны, а в разомкнутом ходе значение дирекционного угла конечной исходной стороны.

2. *Вычисление прямоугольных координат пунктов хода.* Вычисление приращений координат производится по формулам

$$\Delta x = s \cos \alpha, \quad (\text{VI.18})$$

$$\Delta y = s \sin \alpha. \quad (\text{VI.19})$$

При вычислении приращений координат по формулам (VI.18), (VI.19) могут быть использованы электронные клавишные вычислительные машины, арифмометры с пятизначными таблицами тригонометрических функций и специальные таблицы для вычисления приращений координат.

Вычисления приращений координат упрощаются, если от дирекционных углов перейти к румбам (табл. 42).

Таблица 42

Четверть		Границы изменения дирекционного угла	Значение румба $r$
номер	название		
I	СВ	0—90°	$\alpha$
II	ЮВ	90—180	$180-\alpha$
III	ЮЗ	180—270	$\alpha-180$
IV	СЗ	270—360	$360-\alpha$

При математической обработке теодолитных и тахеометрических ходов значения румбов целесообразно округлять до минут.

Значения приращений координат в теодолитном ходе вычисляют с округлением до сотых долей метра, а в тахеометрическом — до десятых долей метра, записывают в графы 8 и 9 ведомости вычисления координат.

Вычисления приращений координат можно проконтролировать по формулам:

$$(\Delta x \pm \Delta y)_{\text{контр}} = s (\cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (\text{VI.20})$$

$$s_{\text{контр}} = \Delta x \cos \alpha \mp \Delta y \sin \alpha. \quad (\text{VI.21})$$

Вычислив алгебраические суммы приращений координат  $\Sigma \Delta x$   $\Sigma \Delta y$ , определяют невязки  $f_x$  и  $f_y$  по формулам: для замкнутого хода

$$f_x = \Sigma \Delta x, \quad (\text{VI.22})$$

$$f_y = \Sigma \Delta y, \quad (\text{VI.23})$$

для разомкнутого хода

$$f_x = \Sigma \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}), \quad (\text{VI.24})$$

$$f_y = \Sigma \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}), \quad (\text{VI.25})$$

где  $x_{\text{кон}}$ ,  $y_{\text{кон}}$ ,  $x_{\text{нач}}$ ,  $y_{\text{нач}}$  — координаты конечного и начального пунктов хода.

После этого вычисляют невязку в периметре хода  $f_s$  по формуле

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (\text{VI.26})$$

и относительную невязку

$$f_s / \Sigma S = 1/N, \quad (\text{VI.27})$$

Знаменатель  $N$  относительной невязки вычисляют с сохранением двух значащих цифр, например

$$1/N = 1/2300.$$

При вычислении значений линейной и относительной невязок рекомендуется пользоваться логарифмической линейкой.

Допустимая относительная невязка в теодолитном ходе 1 разряда не должна быть больше 1 : 2000, а 2 разряда — 1 : 1000.

Допустимая невязка в периметре тахеометрического хода не должна быть более

$$f_{s, \text{доп}} = \Sigma s : 400 \sqrt{n}, \quad (\text{VI.28})$$

где  $\Sigma s$  — длина хода;  $n$  — число сторон в ходе.

Если полученные невязки окажутся больше допустимых, то следует прежде всего проверить правильность вычисления. При отсутствии ошибок в вычислениях следует перемерить длины сторон в первую очередь тех, дирекционные углы которых близки к дирекционному углу, вычисленному по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = f_y / f_x. \quad (\text{VI. 29})$$

Если полученные невязки окажутся меньше допустимых, то их распределяют с обратными знаками между вычисленными приращениями координат пропорционально горизонтальным проложениям  $s$  соответствующих сторон хода:

$$v_{x_i} = - \frac{f_x}{\sum s} s_i, \quad (\text{VI. 30})$$

$$v_{y_i} = - \frac{f_y}{\sum s} s_i, \quad (\text{VI. 31})$$

где  $i$  — порядковый номер стороны хода.

Поправки  $v_{x_i}$  и  $v_{y_i}$  рекомендуется вычислять с помощью логарифмической линейки с округлением в теодолитном ходе до 0,01 м, в тахеометрическом — до 0,1 м и записывать со своим знаком над соответствующими приращениями координат.

Во всех случаях должны быть соблюдены условия

$$\sum v_{x_i} = -f_x, \quad (\text{VI. 32})$$

$$\sum v_{y_i} = -f_y. \quad (\text{VI. 33})$$

По формулам

$$\Delta x_{\text{испр}_i} = \Delta x_{\text{выч}_i} + v_{x_i}, \quad (\text{VI. 34})$$

$$\Delta y_{\text{испр}_i} = \Delta y_{\text{выч}_i} + v_{y_i} \quad (\text{VI. 35})$$

вычисляют исправленные приращения координат с контролем:

в замкнутом ходе

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = 0, \quad (\text{VI. 36})$$

$$\sum \Delta y_{\text{испр}} = 0, \quad (\text{VI. 37})$$

в разомкнутом ходе

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}, \quad (\text{VI. 38})$$

$$\sum \Delta y_{\text{испр}} = y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}. \quad (\text{VI. 39})$$

По известным координатам начального пункта хода и исправленным приращениям координат последователь-



но вычисляют координаты всех пунктов хода по формулам

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_{исир_i}, \quad (VI.40)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_{исир_i}. \quad (VI.41)$$

Полученные значения записывают в графы 12 и 13 ведомости вычисления координат.

В конце вычислений должны получить заданные значения координат в замкнутом ходе начального пункта, в разомкнутом — конечного пункта хода.

**Пример 1.** Вычислить координаты пунктов замкнутого полигона, представленного на рис. 80. Исходными данными являются: координаты ПП187,  $x_{187} = +2450,41$ ,  $y_{187} = -987,34$  и ПП375  $x_{375} = +2036,46$ ,  $y_{375} = -1267,78$ .

Результаты измерений приведены в табл. 41.

Прежде всего вычислим по формуле (VI.5) значение дирекционного угла стороны ПП375—ПП187. Результаты вычислений представлены в табл. 43.

Таблица 43

Последовательность действий	Сторона ПП 375 — ПП 187			
	Обозначения	Вычисления	Обозначения	Вычисления
1	$y_{ПП\ 375}$	-987,34	$x_{ПП\ 375}$	+2450,41
2	$y_{ПП\ 187}$	-1267,78	$x_{ПП\ 187}$	+2036,46
3	$\Delta y$	+280,44	$\Delta x$	+413,95
4	$tg\ \alpha$	+0,67748	$\alpha$	34°07,0'
5	$\sin\ \alpha$	0,56088	$\cos\ \alpha$	+0,82790
6	$s_{AB}$	500,00	$s_{AB}$	500,00

Так как  $\Delta x$  и  $\Delta y$  положительны, то линия ПП375—ПП187 имеет северо-восточное направление (I четверть). Поэтому румб, значение которого находится по таблицам в зависимости от тангенса, вычисленного по формуле (VI.6), равен дирекционному углу. Сходимость результатов определения длины стороны ПП375—ПП187 является контролем решения задачи.

Затем выписывают в графы 1 и 13 ведомости вычисления координат (табл. 44) названия пунктов, в графу 2 — значения измеренных левых углов поворота (внутренних углов) замкнутого хода, включая примычный

**Ведомость вычисления**

Название пунктов	Измеренные углы, левые	Дирекционные углы	Румбы		Горизонтальные проложения
			названия	величина	
1	2	3	4		5
ПП375		34° 07,0'			
ПП187	157° 34,3'	11 41,3	СВ	11° 41,3'	356,6
1	-0,3 130 57,4	322 39,0	СЗ	37 21,0	191,0
2	+0,3 104 46,6	247 25,9	ЮЗ	57 25,9	259,2
3	-0,3 156 31,5	223 57,7	ЮЗ	43 57,7	201,9
4	+0,4 107 00,0	150 58,1	ЮВ	29 01,8	165,92
5	+0,4 174 26,5	145 25,0	ЮВ	34 35,0	254,78
	+0,3				

## пунктов замкнутого теодолитного хода

$\varepsilon (\sin \alpha + \cos \alpha)$ ( $\Delta x + \Delta y$ ) КОРР.	Приращения координат				Координаты	
	вычисленные		исправленные		y, м	x, м
	$\Delta y, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$\Delta x, м$		
7	8	9	10	11	12	13
$\pm 421,53$ $\pm 421,54$	$\pm 0,07$ $\pm 72,26$	$-0,14$ $\pm 349,28$	$\pm 72,33$	$\pm 349,14$	$-987,34$	$\pm 2450,41$
$\pm 35,96$ $\pm 35,95$	$\pm 0,04$ $-115,88$	$-0,08$ $\pm 151,83$	$-115,81$	$\pm 151,75$	$-915,01$	$\pm 2799,55$
$-338,89$ $-338,90$	$\pm 0,05$ $-239,40$	$-0,10$ $-99,50$	$-239,35$	$-99,60$	$-1030,85$	$\pm 2951,30$
$-285,57$ $-285,57$	$\pm 0,04$ $-140,20$	$-0,08$ $-145,37$	$-140,16$	$-145,45$	$-1270,20$	$\pm 2851,70$
$-61,56$ $-64,56$	$-0,04$ $\pm 80,52$	$-0,07$ $-145,68$	$\pm 80,56$	$-145,15$	$-1410,36$	$\pm 2706,25$
$-65,15$ $-65,15$	$-0,05$ $\pm 144,61$	$-0,10$ $-209,76$	$\pm 144,66$	$-209,86$	$-1329,80$	$\pm 2561,10$

Название пунктов	Измеренные углы, левые	Дирекционные углы	Румбы		Горизонтальные проложения	$\sin \alpha$ $\cos \alpha$ $\sin \alpha +$ $+\cos \alpha$
			название	величина		
1	2	3	4		5	6
6	97 55,5	63 20,8	СВ	63 20,8	221,28	+0,89374 +0,44859 +1,34233
ПП/87	$\pm 0,03$ 128 20,2	11 41,3				
1					$\Sigma s = 1650,86$	
		$\Sigma \beta_{\text{изм}} = 899^{\circ}57,7'$				
		$\Sigma \beta_{\text{теор}} = 900^{\circ}00,0'$				
		$f_{\beta} = -2,3'$				
		$f_{\beta_{\text{доп}}} = 2,6'$				

угол на ПП/87, из журнала, представленного в табл. 39, в графу 3 — вычисленное значение дирекционного угла (см. табл. 43), в графу 5 — горизонтальные проложения длин сторон хода.

Все данные, относящиеся к сторонам хода (дирекционные углы, румбы, горизонтальные проложения,ращения координат), следует записывать на строках, расположенных между теми, на которых в графах 1, 2, 12, 13 записаны данные, относящиеся к пунктам хода (названия пунктов, значения измеренных углов, координаты). Из суммы значений измеренных углов, не включая примычный угол  $\beta_{187} = 157^{\circ}34,3'$ ,  $\Sigma \beta_{\text{изм}} = 899^{\circ}57,7'$  вычитаем теоретическую сумму  $\Sigma \beta_{\text{теор}} = 180^{\circ} (7-2) = 900^{\circ}$  и получаем угловую невязку  $f_{\beta} = -2,3'$ . Допустимое значение невязки  $f_{\beta_{\text{доп}}} = 1\sqrt{7} = 2,6'$ . Так как  $f_{\beta} < f_{\beta_{\text{доп}}}$ , то

$s(\sin \alpha + \cos \alpha)$ $(\Delta x + \Delta y)_{\text{погр}}$	Приращения координат				Координаты	
	вычисленные		исправленные		y, м	x, м
	$\Delta y, \text{ м}$	$\Delta x, \text{ м}$	$\Delta y, \text{ м}$	$\Delta x, \text{ м}$		
7	8	9	10	11	12	13
$\pm 297,03$ $\pm 297,02$	$\pm 0,04$ $\pm 197,75$	$-0,09$ $\pm 99,26$	$\pm 197,80$	$\pm 99,17$	$-1185,14$  $-987,37$	$\pm 2151,24$  $\pm 2450,41$
$\Sigma \Delta y = -0,33 \quad \Sigma \Delta x = \pm 0,66$ $f_y = -0,33 \quad f_x = \pm 0,66$ $f_s = \sqrt{0,66^2 + 0,33^2} = 0,76$						
$\frac{f_s}{\Sigma s} = \frac{1}{2200}$ $\frac{f_s}{\Sigma s_{\text{доп}}} = \frac{1}{2000}$						
Вычислил А. Петров						

распределяем угловую невязку  $f_{\beta}$  с обратным знаком между измеренными углами замкнутого полигона. Полученные поправки, равные  $+0,3'$ , а в углы, измеренные на пунктах 4 и 5 хода с короткой стороной 165,92 м, равные  $+0,4'$ , выписывают над значением измеренных углов.

По дирекционному углу  $\alpha = 34^{\circ}07,0'$  стороны ПП375—ПП187 и исправленным углам поворота последовательно вычисляем по формуле (IV.31) дирекционные углы сторон хода и записываем их значения в графу 3 ведомости на соответствующих строках.

В результате последовательного вычисления дирекционных углов получено значение дирекционного угла первой стороны теодолитного хода  $\alpha_{187-1} = 11^{\circ}41,3'$ , являющейся исходной.

Ведомость вычисления координат

Название пунктов	Измеренные углы, градусы	Дирекционные углы	Румбы		Горизонтальные проложения S	sin α cos α
			название	величина		
4		150° 58,1'				
5	-0,4' 85 44,0	56 42,5	СВ	56° 42,5'	144,26	-0,83589 +0,54890
7	+0,4 235 48,2	112 31,1	ЮВ	67 28,9	159,50	+0,92376 -0,38298
8	-0,4 101 05,0	33 36,5	СВ	33 36,5	264,86	+0,55351 +0,83284
1	+0,3 109 02,2	322 39,0				
2						
Σβ <sub>изм</sub> = =531 39,4				ΣS =568,62		
Σβ <sub>теор</sub> = =571 40,9						
f <sub>β</sub> = -1,5'						
f <sub>р.доп</sub> =2,0'						

## Пунктов диагонального теодолитного хода

Контр $\Delta x \cos \alpha +$ $+\Delta y \sin \alpha$	Приращения координат				Координаты	
	вычисленные из арифмометре		исправленные		у, м	х, м
	$\Delta y, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$\Delta x, м$		
+144,26	+ 0,07 +120,59	- 0,06 + 79,18	+126,66	+ 79,12	-1329,80	+2561,10
-159,50	+ 0,07 +147,34	- 0,06 - 61,09	+147,41	- 61,15	-1209,14	+2640,22
+264,86	+ 0,12 +146,60	- 0,11 +220,59	+146,72	+220,48	-1061,73	+2579,07
					- 915,01	+2799,55

$$\Sigma \Delta y = +414,53 \quad \Sigma \Delta x = +238,68$$

$$y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}} = +414,79 \quad x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = +238,45$$

$$f_y = -0,26 \quad f_x = +0,23$$

$$f_s = \sqrt{0,26^2 + 0,23^2} = 0,35$$

$$\frac{f_s}{\Sigma s} = \frac{1}{1600}$$

$$\frac{\text{доп. } f_s}{\Sigma s} = \frac{1}{1000}$$

Вычислил А. Петров





## пунктов тахеометрического хода

cosz	Приращения координат, вычисленные		Приращения координат, исправленные		Координаты	
	y, м	x, м	y, м	x, м	y, м	x, м
+0,83962	-62,9	+0,1 +97,2	-62,9	+97,3	+1000,0	+730,0
+0,91402	-0,1 -83,4	+0,2 +188,0	-83,5	+188,2	+937,1	+827,3
+0,27787	-0,1 +165,1	+0,2 +47,8	+165,0	+48,0 +47,8	+853,6	+1015,5
+0,98466	-0,1 +23,5	+0,1 +132,8	+23	+132,9 -132,8	+1018,6	+1063,5
+0,57429	-0,1 +122,5	+0,2 +85,9	+122,4	+86,1	+1042,0	+1196,4
					+1164,4	+1282,5

$$\Sigma \Delta y = +164,8 \quad \Sigma \Delta x = +551,7$$

$$y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}} = +164,4 \quad x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = +552,5$$

$$f_y = +0,4 \quad f_x = -0,8$$

$$f_s = \sqrt{0,4^2 + 0,8^2} = 0,9 \text{ м}$$

$$\frac{l_s}{\Sigma s} = \frac{1}{780}$$

$$\text{поп} f_s = \frac{777,9}{400,5\sqrt{5}} = 0,9 \text{ м}$$

Вычислил А Петров

Вычисленные румбы, округленные до целых минут, записывают в графу 4. Сразу же после этого проставляем знаки в графах 6, 8, 9 ведомости.

По вычисленным в графе 6 ведомости натуральным значениям синусов и косинусов румбов и горизонтальным проложениям длин сторон вычисляют по формулам (VI.18), (VI.19) приращения координат.

Контроль вычисления  $\Delta x$  и  $\Delta y$  осуществляют по формулам (VI.20) (см. графу 7, табл. 44).

Вычислив все приращения координат, находят по формулам (VI.37), (VI.38), (VI.41), (VI.42) невязки по каждой оси, так  $f_x = -0,33$  м;  $f_y = +0,66$  м, невязку в периметре хода  $f_s = 0,76$  м, сумму горизонтальных проложений сторон хода  $\Sigma s = 1650,86$  м и относительную невязку  $f_s/\Sigma s = 1/2200$ . Так как относительная невязка оказалась меньше доп  $f_s/\Sigma s = 1/2000$ , то по формулам (VI.30) и (VI.31) вычисляют поправки  $v_x$  и  $v_y$ , выписывая их со знаком, обратным знаку соответствующей невязки, над значениями приращений координат и, убедившись, что  $\Sigma v_x = -f_x$  и  $\Sigma v_y = -f_y$ , вычисляют исправленные значения приращений координат (см. графы 10 и 11 табл. 44). Если  $\Sigma \Delta x_{\text{испр}} = 0$  и  $\Sigma \Delta y_{\text{испр}} = 0$ , выписывают значения координат (см. табл. 48) начального пункта ПП/87  $x_{187} = +2450,41$  м и  $y_{187} = -987,34$  м в графах 12 и 13 и вычисляют последовательно значения координат остальных пунктов хода по формулам (VI.40), (VI.41).

Так как ход замкнутый, то в результате вычислений должны быть получены значения координат начального пункта ПП/87, что свидетельствует об отсутствии ошибки в вычислениях.

**Пример 2.** Вычислить координаты пунктов диагонального хода 5—7—8 (см. рис. 80), опирающегося на стороны 4—5 и 1—2 замкнутого хода. Результаты измерений приведены в табл. 45.

Обработку диагонального хода (см. табл. 45) выполняют в такой же последовательности, как и обработку замкнутого хода, руководствуясь указаниями, относящимися к разомкнутому ходу.

Исходные координаты пунктов 5 и 1:  $x_5 = +2561,10$  м,  $y_5 = -1329,80$  м;  $x_1 = +2799,55$  м,  $y_1 = -915,01$  м и дирекционные углы примычных сторон  $\alpha_{4-5} = 150^\circ 58,1'$  и  $\alpha_{1-2} = 322^\circ 39,0'$  выписывают из ведомости вычисления координат пунктов замкнутого теодолитного хода (см. табл. 44).

Пример 3. Вычислить координаты пунктов тахеометрического хода, проложенного между ПП747 и ПП756 (см. рис. 81). Журнал измерений приведен в табл. 41.

Исходными данными являются дирекционные углы примычных сторон  $\alpha_{748-747} = 242^{\circ}47,5'$ ;  $\alpha_{755-756} = 42^{\circ}51,5'$  и координаты пунктов  $x_{747} = +730,0$  м;  $y_{747} = +100,0$  м;  $x_{755} = +1282,5$  м и  $y_{755} = +1164,4$  м.

Обработку тахеометрического хода выполняют в такой же последовательности и по тем же правилам, как и теодолитного хода.

Вычисления координат пунктов тахеометрического хода представлены в табл. 46.

Так как длины сторон хода измерены нитяным дальномером, то значения горизонтальных проложений, приращений координат и координат пунктов округляют до десятых долей метра, а при вычислении приращений координат пользуются четырехзначными таблицами тригонометрических функций.

При вычислительной обработке результатов геодезических измерений записи делают чернилами, прямым, вычислительным шрифтом. В многозначных числах разряды цифр отделяются интервалами, в десятичных дробях целая часть от дробной отделяется запятой. Разряды чисел, записываемых в колонку, располагаются один под другим. Не допускаются исправления цифры по цифре, необходимо зачеркнуть неверную цифру.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Работа по вычислению координат пунктов хода выполняется каждым студентом по указанию руководителя.

### Задание VI.4

#### Вычисление высот пунктов тахеометрического хода

I. Задача: по результатам измерений, выполненным при проложении тахеометрического хода, вычислить высоты его пунктов.

II. Литература: *Гириберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 133.

III. Пособия и принадлежности: бланки ведомости вычисления высот пунктов хода, ручка, счеты, логарифмическая линейка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) увязка превышений;
- 2) вычисление высот пунктов тахеометрического хода.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Увязка превышений.* Вычисления начинают с тщательной проверки результатов вычислений углов наклона, горизонтальных проложений, превышений  $h_{пр}$ ,  $h_{обр}$  и  $h_{ср}$  в тахеометрическом журнале (см. табл. 41). После чего средние значения превышений по всему ходу алгебраически суммируются и вычисляется невязка

$$f_h = \Sigma h_{ср} - \Sigma h_{теор}. \quad (VI.42)$$

В разомкнутом ходе

$$\Sigma h_{теор} = H_{кон} - H_{нач}, \quad (VI.43)$$

где  $H_{кон}$  и  $H_{нач}$  — известные высоты конечного и начального пунктов, между которыми проложен ход.

В замкнутом ходе

$$\Sigma h_{теор} = 0. \quad (VI.44)$$

Допустимая невязка вычисляется по формуле

$$f_{h_{доп}} = 0,04 S \sqrt{n}, \quad (VI.45)$$

где  $s$  — средняя длина стороны хода в сотнях метров;  $n$  — число сторон в ходе.

В случае, если

$$f_h < f_{h_{доп}}, \quad (VI.46)$$

невязка распределяется с обратным знаком между средними значениями превышений пропорционально длинам сторон

$$v_{h_i} = - \frac{f_h}{\Sigma s} S_i, \quad (VI.47)$$

где  $v_{h_i}$  — поправка;  $i = 1, 2, \dots, n$  — порядковый номер стороны хода.

Контролем вычисления  $v_h$  служит равенство

$$\Sigma v_h = -f_h. \quad (VI.48)$$

Затем вычисляют исправленные значения превышений

$$h_{испр_i} = h_{ср_i} + v_{h_i}. \quad (VI.49)$$

Сумма исправленных превышений должна равняться разности отметок конечного и начального пунктов хода в разомкнутом ходе и нулю — в замкнутом, т. е.

в разомкнутом ходе

$$\Sigma h_{\text{испр}} = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}; \quad (\text{VI.50})$$

в замкнутом ходе

$$\Sigma h_{\text{испр}} = 0. \quad (\text{VI.51})$$

2. Вычисление высот пунктов тахеометрического хода.

Последовательно к высоте начального пункта хода  $H_{\text{нач}}$  прибавляют (алгебраически) исправленные превышения  $h_{\text{исп}}$  и вычисляют высоты всех остальных пунктов хода по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h_{\text{испр}i}, \quad (\text{VI.52})$$

т.е. высота последующей точки равна высоте предыдущей точки плюс (минус) исправленное превышение.

Контролем вычисления служит получение в результате вычислений значения высоты конечного пункта хода  $H_{\text{кон}}$ .

Пример. Вычислить высоты вершин тахеометрического хода, проложенного между пунктами ПП747 и ПП755 (см. рис. 81). Результаты измерений приведены в табл. 41.

Таблица 47

Вычисление высот пунктов тахеометрического хода

Номер пункта	s, м	$h_{\text{ср}}$ , м	$v_h$ , м	$h_{\text{испр}}$ , м	H, м
1	2	3	4	5	6
ПП 747					147,06
1/65	115,8	-0,61	-0,01	+0,60	147,66
2/65	205,7	-4,62	-0,02	-4,64	143,02
3/65	171,9	-1,58	-0,02	-1,60	141,42
4/65	134,9	-5,12	-0,02	-5,14	136,28
ПП 755	149,6	-2,54	-0,02	-2,56	133,72

$$\Sigma s = 777,9$$

$$\Sigma h_{\text{ср}} = -13,25 \text{ м}$$

$$\Sigma h_{\text{теор}} = -13,34 \text{ м}$$

$$f_h = +0,09 \text{ м}$$

$$i_{h_{\text{дон}}} = -0,13 \text{ м}$$

Исходными данными являются высоты пунктов  $H_{747}=147,06$  м и  $H_{755}=133,72$  м.

Вычисления представлены в табл. 47.

Значения горизонтальных проложений длин сторон хода  $s$  и средние значения превышений  $h_{ср}$  выписывают из граф 11 и 12 (см. табл. 41) в графы 2 и 3 (см. табл. 47).

Вычисляют алгебраическую сумму  $\Sigma h_{ср} = -13,25$  м, из которой вычитают теоретическую сумму  $\Sigma h_{теор} = 133,72 - 147,06 = -13,34$  м, получают невязку  $f_h = +0,09$  м. Так как она не превосходит допустимую  $f_{h_{доп}}$ , вычисленную по формуле (VI.45):

$$доп f_h = 0,04 \cdot 1,56 \sqrt{5} = 0,13 \text{ м,}$$

то ее распределяют с обратным знаком пропорционально длинам сторон. Поправки  $v_h$ , вычисленные по формуле (VI.47), записывают в графу 4. Сумма поправок  $\Sigma v_h = -0,09$  равна невязке  $f_h$  с обратным знаком.

После этого вычисляют по формуле (VI.49) исправно длинам сторон. Поправки  $v_h$ , вычисленные по формуле (VI.50)  $\Sigma h_{испр} = -13,34 = \Sigma h_{теор}$ .

По высоте  $H_{747}=147,06$  м и исправленным превышениям последовательно по формуле (VI.52) вычисляют высоты всех пунктов хода. Контролем вычисления высот пунктов хода служит получение в результате вычислений значения высоты конечного пункта  $H_{755}=133,72$  м.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Работа по вычислению высот пунктов хода зимой выполняется каждым студентом, в период летней практики одним из членов бригады по указанию руководителя.

## Задание VI.5

### Прямая угловая засечка

I. Задача: по известным координатам пунктов  $A$  и  $B$  (рис. 83) и дирекционным углам  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$  направлений вычислить координаты пункта  $P$   $x_P$  и  $y_P$ .

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 134.

III. Пособия и принадлежности: арифмометр, счеты, пятизначные таблицы натуральных значений тригонометрических функций, ручка.

IV. Указания по выполнению задания.

Прямая угловая засечка с пунктов хода применяется для определения положения боковых пунктов. Боковые пункты являются, с одной стороны, дополнительными пунктами геодезического обоснования, с другой стороны, служат хорошим средством контроля качества измерений при проложении хода. Иногда боковые пункты могут исключить необходимость прокладки диагонального хода.

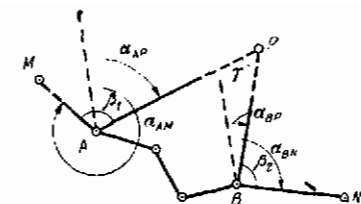


Рис. 83. Прямая угловая засечка

Вычисление приращений координат и координат пункта  $P$  следует выполнять по формулам:

$$x_P = x_A + \Delta x_{AP}, \quad (\text{VI.53})$$

$$\Delta x_{AP} = \frac{\Delta y_{BA} - \Delta x_{BA} \operatorname{tg} \alpha_{BP}}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}} = \frac{K_A}{T}, \quad (\text{VI.54})$$

$$x_P = x_B + \Delta x_{BP}, \quad (\text{VI.55})$$

$$\Delta x_{BP} = \frac{\Delta y_{BA} - \Delta x_{BA} \operatorname{tg} \alpha_{AP}}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}} = \frac{K_B}{T}, \quad (\text{VI.56})$$

$$y_P = y_A + \Delta y_{AP}, \quad (\text{VI.57})$$

$$\Delta y_{AP} = \Delta x_{AP} \operatorname{tg} \alpha_{AP} = \frac{\Delta x_{BA} - \Delta y_{BA} \operatorname{ctg} \alpha_{BP}}{\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP}}, \quad (\text{VI.58})$$

$$y_P = y_B + \Delta y_{BP}, \quad (\text{VI.59})$$

$$\Delta y_{BP} = \Delta x_{BP} \operatorname{tg} \alpha_{BP} = \frac{\Delta x_{BA} - \Delta y_{BA} \operatorname{ctg} \alpha_{AP}}{\operatorname{ctg} \alpha_{AP} - \operatorname{ctg} \alpha_{BP}}, \quad (\text{VI.60})$$

где

$$\Delta x_{BA} = x_B - x_A, \quad (\text{VI.61})$$

$$\Delta y_{BA} = y_B - y_A. \quad (\text{VI.62})$$

Формулами котангенсов для вычисления приращений  $\Delta y_{AP}$  и  $\Delta y_{BP}$  пользуются в том случае, когда тангенсы дирекционных углов  $\operatorname{tg} \alpha_{AP}$  и  $\operatorname{tg} \alpha_{BP}$  велики, т. е. когда углы близки к  $90^\circ$  или  $270^\circ$ . В этом случае тангенсы определяются недостаточно точно.

1* $x_B$	$\div 2086,87$	5. $\alpha_{AP}$	7° 24,8'	12. $K_A$	-8996,90	17. $K_B$	-2227,59
3. $x_A$	-1276,22	6. $\alpha_{BP}$	61 27,2	13. $\Delta x_{AP}$	+5267,23	18. $\Delta x_{BP}$	+1304,14
7. $\Delta x_{BA}$	$\div 3963,09$	9. $\text{tg} \alpha_{AP}$	$\div 0,13011$	14. $x_P$	+3991,01	19. $x_P$	-3991,01
2. $y_B$	-2456,88	10. $\text{tg} \alpha_{BP}$	+1,83820	15. $\Delta y_{AP}$	+685,32	20. $\Delta y_{BP}$	+2397,27
4. $y_A$	-744,93	11. $T$	-1,70800	16. $y_P$	-59,61	21. $y_P$	-59,61
8. $\Delta y_{BA}$	-1711,95						



Формулы (VI.53) — (VI.60) не только позволяют определить координаты пункта, но и дают возможность проконтролировать вычисления. Однако сходимость результатов, полученных по двум формулам, еще не гарантирует, что найденные координаты соответствуют точке на местности.

По этой причине засечку бокового пункта делают не менее как с трех пунктов хода. В этом случае задача решается в нескольких вариантах, выбираемых так, чтобы угол (см. рис. 83) при определяемом пункте  $P$  был не меньше  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

**Пример.** Вычислить координаты пункта  $P$  ( $x_P$  и  $y_P$ ) по следующим исходным данным:

$$\begin{aligned}x_A &= -1276,22 \text{ м}, & y_A &= +744,93 \text{ м}; \\x_B &= +2686,87 \text{ м}, & y_B &= -2456,88 \text{ м}, \\ \alpha_{AP} &= 7^\circ 25,6', & \alpha_{BP} &= 62^\circ 02,4' .\end{aligned}$$

**Примечание.** Если дирекционные углы  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$  не даны, то их вычисляют по заданным дирекционным углам сторон хода  $\alpha_{AM}$  и  $\alpha_{BN}$  и измеренным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (см. рис. 83) по формулам:

$$\begin{aligned}\alpha_{AP} &= \alpha_{AM} + \beta_1; \\ \alpha_{BP} &= \alpha_{BN} - \beta_2.\end{aligned}$$

Вычисление координат пункта  $P$  представлено в табл. 48.

Числа, стоящие слева от буквенных обозначений, указывают последовательность действий.

Теодолитная съемка — это измерения на местности, дающие возможность составить план этой местности с изображением на нем элементов ситуации.

Тахеометрическая съемка — это измерения на местности, дающие возможность составить план этой местности с изображением на нем ситуации и рельефа.

Таким образом, теодолитная съемка является одним из методов наземной горизонтальной съемки местности, тахеометрическая — одним из методов топографической съемки местности.

Теодолитные и тахеометрические съемки обычно применяются для составления плана небольших участков местности и преимущественно в крупных масштабах.

Геодезической основой теодолитной и тахеометрической съемок являются пункты теодолитных и тахеометрических ходов.

В производственных условиях съемка выполняется одновременно с проложением хода. При прохождении студентами первой геодезической практики методически целесообразно сначала проложить ход, а затем, после приобретения студентами навыков в производстве измерений, выполнять съемку.

### Задание VII.1

#### Теодолитная съемка

I. Задача: произвести съемку ситуации участка местности на основе проложенного хода с целью составления плана в заданном масштабе.

II. Литература: *Гиршберг М. А.*, Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 135—137.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Наземные съемки.* М., Недра, 1977, § 6.1—6.4.

*Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.* М., Недра, 1982.

*Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного и коммунального назначения.* М., Недра, 1982.

зяйственного, городского и поселкового строительства. СН 212—73. М., Стройиздат, 1974, § 5.22—5.30.

III. Приборы и принадлежности: теодолит технический со штативом, стальная 20-метровая лента с комплектом шпилек, рулетка, эклиметр, эккер, две дальномерные (либо нивелирные) рейки, 6 вех, топор, зонт топографический, абрис-журнал, линейка для ведения абриса, карандаши 2Т-ТМ для ведения абриса, нож для заточки карандаша, резинка мягкая, ручка.

IV. Указания по выполнению задания.

Теодолитная съемка выполняется обычно в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Съемке в масштабах 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 подлежат объекты ситуации, выражающиеся в масштабе плана и предусмотренные действующими условными знаками.

К таким объектам относятся: все населенные пункты, все строения в отдельности с указанием назначения, материала стен и этажности, промышленные объекты, гидротехнические сооружения, объекты коммунального хозяйства, дорожная сеть с сооружениями на ней, гидрография (реки, ручьи, озера, каналы, пруды, колодцы, источники, водохранилища и т. д.) участки с разным растительным покровом (пашня, луг, лес, кустарник, болото, огород, сад и т. д.), границы и ограждения с указанием типа, выходы подземных коммуникаций.

При съемке в масштабах 1 : 2000—1 : 500 не снимаются переносные и временные сооружения (ларьки, палатки, киоски, изгороди и т. п.), находящиеся внутри проездов и дворов, а также на строительных площадках.

Снимаются все опоры и столбы линий электропередач и связи.

Съемка рек, ручьев, каналов и водотоков при ширине их изображения на плане более 3 мм производится по двум берегам, а при ширине до 3 мм — по одному берегу.

Наименьшая площадь контуров, подлежащих съемке, 20 мм<sup>2</sup> на плане — для хозяйственно-ценных угодий или расположенных внутри них участков, не имеющих хозяйственного значения, 50 мм<sup>2</sup> на плане — для участков, не имеющих хозяйственного значения.

При съемке леса определяются порода, средняя высота деревьев, толщина их на уровне груди взрослого человека, средние расстояния между деревьями в различных частях участка, контуры редколесья, вырубок, га-

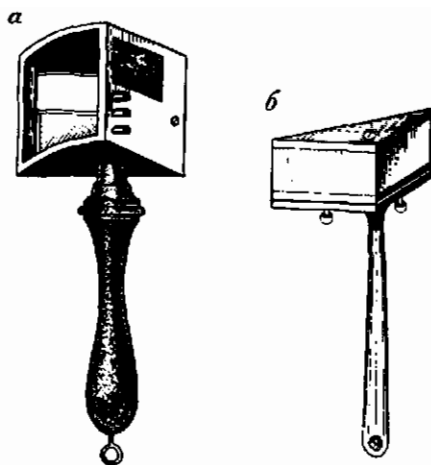


Рис. 84. Эккер:  
а — двухзеркальный; б — призмный

рей, полян, сельскохозяйственных угодий, расположенных в лесу.

Изгибы очертаний снимаемых объектов, если в масштабе плана они меньше 0,5 мм, спрямляются.

Средние ошибки в положении на плане объектов с четкими очертаниями относительно ближайших пунктов геодезического обоснования не должны превышать 0,5 мм, а в горных районах 0,7 мм. Ошибки во взаимном положении на плане точек близлежащих капитальных сооружений и зданий не должны превосходить 0,4 мм.

Теодолитная съемка сопровождается ведением схематического чертежа — абриса.

Абрис составляется от руки в достаточно крупном произвольном масштабе. На нем показывают опорные пункты и линии, с которых производилась съемка, расположение местных предметов и контуров с пояснительными надписями (пашня, луг и т. д.) и результаты измерений, произведенные при съемке.

Объекты ситуации рекомендуется вычерчивать утолщенными линиями, а линии, относящиеся к промерам, — тонкими. При наличии мелких деталей, не выражающихся на абрисе, делаются выноски в более крупном масштабе.

Существует несколько способов съемки ситуации.

1. Способ перпендикуляров (прямоугольных координат) применяется при съемке объектов ситуации, расположенных вблизи сторон теодолитного хода. При съемке этим способом положение точки объекта определяется путем измерения длины перпендикуляра (ординаты), опущенного из этой точки на сторону хода, и расстояния (абсциссы) от начала стороны. Расстояние от начала съемочной стороны до основания перпендикуляра измеряют стальной лентой, а длину перпендикуляра рулеткой с точностью до 0,01 м при съемке четких контуров и до 0,1 м в остальных случаях.

В зависимости от длины перпендикуляры строятся различными способами: перпендикуляры длиной менее 20 м — на глаз или при помощи ленты (рулетки), более длинные — эккером (рис. 84).

Допустимые значения длин перпендикуляров при съемке в различных масштабах приведены в табл. 49.

Таблица 49

Масштаб съемки	Допустимая длина перпендикуляра (м) при построении его	
	на глаз	эккером
1:500	4	20
1:1000	6	40
1:2000	8	60

При построении перпендикуляра на глаз наблюдатель становится в створе линии, на которую должен быть опущен перпендикуляр, лицом к точке, из которой опускается перпендикуляр, вытягивает руки в стороны по направлению линии. Затем сводит руки впереди и передвигается в створе линии до тех пор, пока сведенные ладони не будут направлены на точку, из которой опускается перпендикуляр. В этот момент наблюдатель находится в точке, являющейся основанием перпендикуляра.

Положение точки, являющейся основанием перпендикуляра, можно определить при помощи рулетки и ленты. В этом случае нуль рулетки совмещают со снимаемой точкой и из нее, как из центра, описывают дугу рулеткой, протянутой по направлению к ленте, уложенной в створе съемочной стороны хода. Наименьший отсчет по

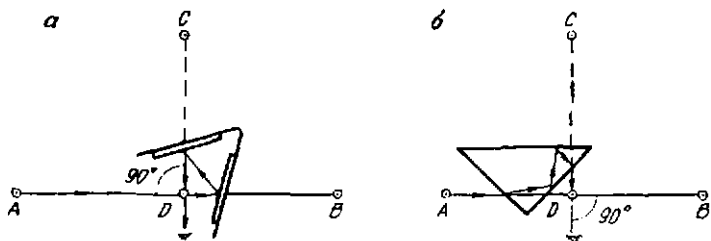


Рис. 85. Построение перпендикуляра:

а — двухзеркальным эккером; б — призмным эккером

рулетке соответствует длине перпендикуляра и определяет положение его основания.

Построение прямого угла при помощи эккера иллюстрирует рис. 85.

Если требуется в точке  $D$  построить перпендикуляр к линии  $AB$ , то в точке  $D$  становятся лицом в ту сторону, в какую нужно восставить перпендикуляр, направляют открытую часть эккера (двухзеркального) или открытую часть призмы (призмного эккера) на вежу, установленную в точке  $A$  (или  $B$ ). Увидев в зеркале (или призме) изображение вежи, выставляют вежу в точке  $C$  так, чтобы ее изображение, видимое через окошко у зеркала (или на второй открытой грани призмного эккера), служило продолжением изображения вежи  $A$  в зеркале (или призме).

Если бы требовалось из точки  $C$  опустить перпендикуляр на прямую  $AB$ , то нужно передвигаться с эккером в створе линии  $AB$  до тех пор, пока изображение точки  $C$ , видимое через окошко эккера, не оказалось продолжением изображения вежи  $A$  (или  $B$ ), видимого в зеркале у этого окошка или на грани призмы призмного эккера. Полученная точка  $D$  является основанием перпендикуляра.

Прежде чем приступить к работе с двухзеркальным эккером, необходимо убедиться в том, что плоскости зеркал его расположены под углом  $45^\circ$  (или, что углы между гипотенузой и катетами трехгранной прямоугольной призмы призмного эккера по  $45^\circ$ ).

Для проверки этого условия становятся в точке  $D$  (рис. 86), находящейся в створе  $AB$ , и строят углы  $ADC$  и  $BDC$ . Если в обоих случаях выставленная вежа  $C$  за-

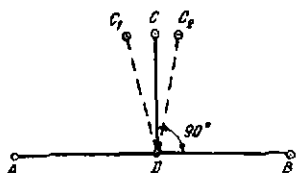


Рис. 86. Поверка эккера

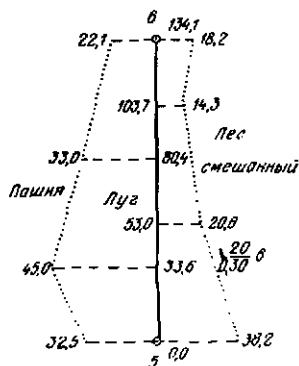


Рис. 87. Абрис съемки способом перпендикуляров

нимает одно и то же положение, то эккер исправлен. В противном случае устанавливают всуху  $C$  в середине между точками  $C_1$  и  $C_2$  и исправительным винтом поворачивают зеркало до тех пор, пока изображение вехи  $A$  (или  $B$ ) в зеркале не будет продолжением видимой в окошке вехи  $C$ . Призмный эккер можно исправить только в специальной оптико-механической мастерской.

Образец абриса съемки способом перпендикуляров приведен на рис. 87.

2. Способ линейных засечек. Этот способ применяется для съемки объектов ситуации с четкими очертаниями.

При съемке на съемочной линии с помощью стальной ленты отмечают точки основания засечек. Для облегчения нанесения точек на план рекомендуется выбирать их так, чтобы расстояние от начала съемочной линии до точки выражалось целым числом метров и, кроме того, чтобы они вместе с определяемой точкой составляли равносторонний треугольник (рис. 88).

Расстояние от точек основания засечек на съемочной линии до снимаемой точки измеряют рулеткой с округлением до сотых долей метра. Длины засечек не должны превосходить длины рулетки (20—50 м).

Съемку способом линейных засечек часто сочетают со съемкой способом перпендикуляров.

3. Способ угловых засечек. Способ применяется для определения положения точек, непосредственное измерение расстояний до которых от вершины хода затруднено (противоположный берег реки, оврага и т. п.).

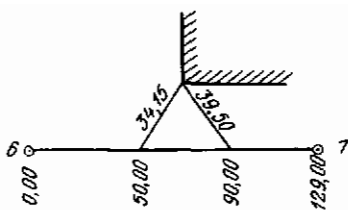


Рис. 88. Абрис съемки способом линейной засечки

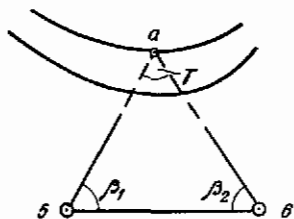


Рис. 89. Абрис съемки способом угловой засечки

Пункт 5

№ точки	Отсчеты по лимбу
6	0° 00'
a	300° 05'

Пункт 6

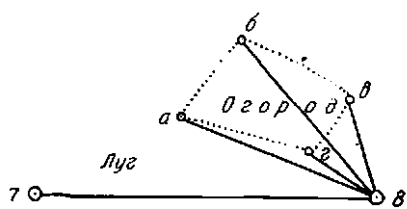
№ точки	Отсчеты по лимбу
5	0° 00'
a	56 10'

Для съемки точки *a* (рис. 89) на пунктах теодолитного хода, ближайших к определяемой точке, измеряют углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  между стороной хода и направлением на точку *a*. Для контроля следует определяемую точку засекать с трех известных пунктов хода. Угол засечки  $\gamma$  не должен быть меньше 30 и больше 150°.

4. Полярный способ (способ полярных координат). Способ состоит в определении положения точки путем измерения расстояния от пункта теодолитного хода (принимасмого за полюс) до нее и угла между стороной теодолитного хода (принимаемой за полярную ось) и направлением на определяемую точку (рис. 90).

Для съемки полярным способом устанавливают теодолит в точке хода, ориентируют лимб по направлению на предыдущую (или последующую) точку хода, вращением алидады наводят трубу последовательно на определяемые точки, делая каждый раз отсчеты по горизонтальному кругу теодолита (с округлением до 5', так как эти углы будут впоследствии строиться при помощи транспортира на плане). Расстояния до определяемых точек в зависимости от требуемой точности съемок измеряют дальномером или стальной лентой. Длина линий не должна превышать размеров, приведенных в табл. 50.





№ точек	Расстояния, м	Отсчеты по лимбу
7		0° 00'
а	100,5	21 05
б	99,2	49 00
в	50,0	73 30
г	40,5	34 25
7		0 00'

Рис. 90. Абрис съемки полярным способом

Полученные результаты измерений при съемке полярным способом записывают около абриса (см. рис. 90).

5. Способ обхода. Способ применяется для съемки таких объектов, которые из-за удаленности или препятствий не могут быть засняты с основного теодолитного хода.

В этих случаях вокруг снимаемого объекта прокладывают дополнительный ход, который привязывают к основному ходу (рис. 91, а). Если контур объекта не совпадает со сторонами хода, то в этом случае применяют способ перпендикуляров (см. рис. 91, б).

6. Способ створов. Способ применяется при съемке застроенных территорий.

Способ створов заключается в том, что положение объектов ситуации определяется относительно створной

Таблица 50

Масштаб съемки и метод определения расстояния	Полярные расстояния до контуров ситуации, м	
	четких	нечетких
При измерении нитяным дальномером		
1:2000	100	150
1:1000	60	100
1:500	40	80
При измерении лентой или оптическим дальномером		
1:2000	250	300
1:1000	180	200
1:500	120	150

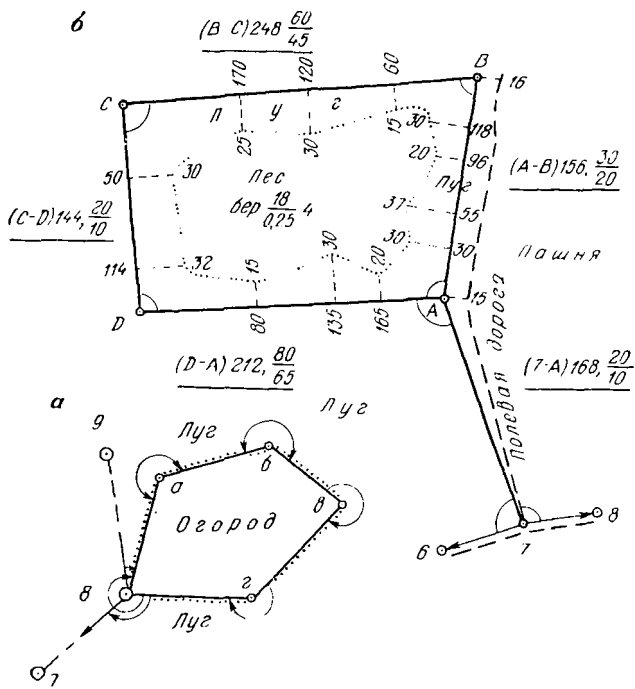


Рис. 91. Абрис съемки:

а -- способом обхода; б -- способом обхода и перпендикуляров

линии, концами которой могут быть пункты геодезической основы, уже снятые углы кварталов, зданий и т. д.

Для обеспечения съемки достаточным числом створных точек их намечают при помощи теодолита по линии створа через 20 м при съемке в масштабе 1 : 500, 40 м при съемке в масштабе 1 : 1000; 60 м при съемке в масштабе 1 : 2000.

Способ створов применяется в сочетании со способами перпендикуляров и линейных засечек. На рис. 92 приведен абрис внутриквартальной съемки.

Пример. На основе теодолитных ходов, представленных на рис. 80, выполнена съемка части землепользования поселка с целью составления плана в масштабе 1 : 2000.

Абрис теодолитного хода представлен на рис. 93. При измерении стороны хода между пунктами 1—2 (рис.

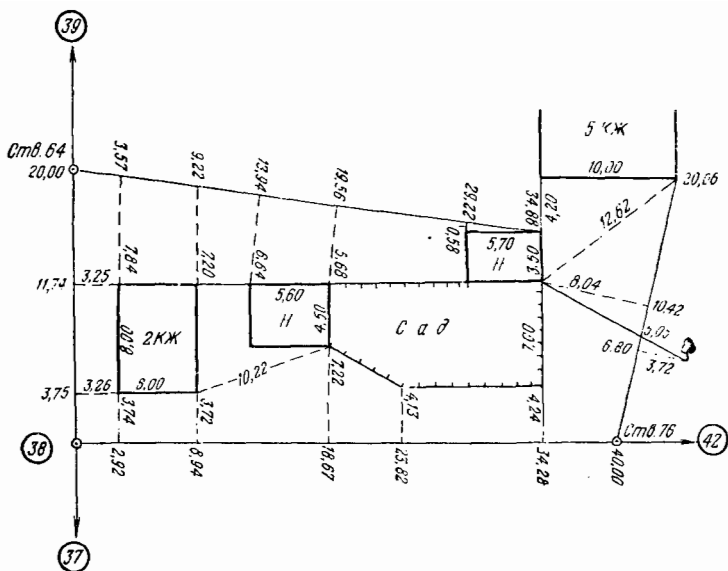


Рис. 92. Абрис внутриквартальной съёмки

93, а) и 2—3 (рис. 93, б) произведена съёмка методом перпендикуляров границы луга с кустарником, отмечена точка пересечения стороны 2—3 (см. рис. 93, б) с полевой дорогой (расстояние 111 м). Поворот этой дороги (точка *и*) определен методом угловых засечек с пунктов теодолитного хода 3 и 4 (рис. 93, в), кроме того, угловыми засечками определено положение точек *к* (поворота тропы) и столба линии связи соответственно с пунктом 4, 5 и 5, 6.

С пункта 8 диагонального хода сняты полярным способом точка *е*, границы огорода и пашни, точки *а*, *б*, *в*, *г* (рис. 93, г) граница между пашней и молодым хвойным лесом.

Полярные расстояния, измеренные нитяным дальномером, не превосходили предела, установленного для съёмки в масштабе 1 : 2000.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Во время учебной практики задание выполняется бригадой из пяти человек.

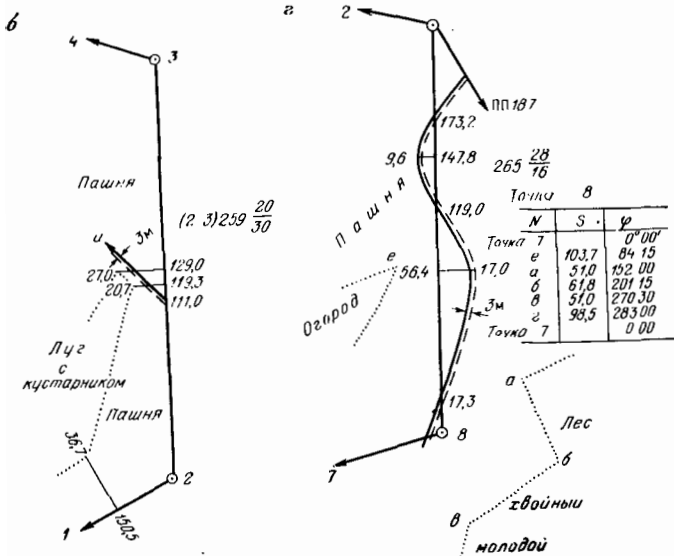
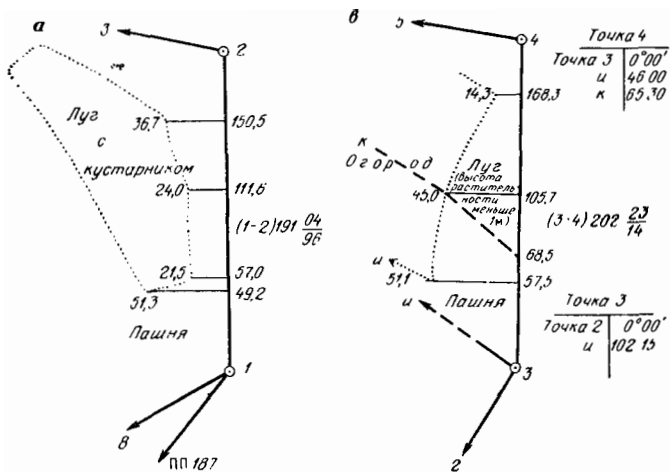


Рис. 93. Абрис теодолитного хода

Ознакомление с местностью и выявление объектов, подлежащих съемке, производится всем составом бригады под непосредственным руководством преподавателя.

Производство съемки со следующим распределением обязанностей: ведущий абрис, наблюдатель у теодолита и три мерщика.

Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

## Задание VII.2

### Тахеометрическая съемка с применением технического теодолита

I. Задача: пользуясь техническим теодолитом (тахеометром), выполнить тахеометрическую съемку полосы местности на основе проложенного тахеометрического хода.

II. Литература: *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 138.

*Инструкция* по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М., Недра, 1982.

*Инструкция* по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства СН 212—73. М., Госстройиздат, 1974, § 5.55—5.64.

*Руководство* по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 56—59.

III. Приборы, принадлежности и пособия: технический теодолит со штативом, 2 дальномерные (или шашечные нивелирные) рейки, 2 вехи, топор, зонт топографический, цветные флажки для сигнализации речникам, журнал тахеометрической съемки, линейка или треугольник, карандаши 2Т-ТМ, ручка, перочинный нож, мягкая резинка, тахеометрические таблицы, логарифмическая линейка.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) осмотр местности, подлежащей съемке с данной станцией; выбор контурных и высотных речных точек с составлением абриса;

2) производство съемки ситуации и рельефа.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Осмотр местности, подлежащей съемке с данной станцией; выбор контурных и высотных речных точек с*



Рис. 94. Выбор контурных точек

*составлением абриса.* До начала измерений на станции производят осмотр окружающей местности, во время которого выбирают контурные и высотные точки (пикеты) так, чтобы между станциями не осталось не снятых мест. Реечные точки на местности колышками не закрепляются.

В пределах заданной полосы местности должны быть сняты все объекты ситуации, выражающиеся в заданном масштабе плана (см. задание VII.1). На рис. 94 показан пример выбора контурных точек при съемке ситуации.

При выборе контурных точек учитывают изгибы снимаемых объектов, если в масштабе плана они меньше 0,5 мм, то спрямляются; участки сельскохозяйственных угодий и контуры растительного покрова площадью до 10 мм<sup>2</sup> на плане не снимаются; в отношении участков, не имеющих хозяйственного значения, этот минимум увеличен до 25 мм<sup>2</sup>.

При съемке рельефа высотные пикеты должны располагаться на характерных точках и линиях рельефа местности: вершина горы 5, 9, дно котловины, седловина 7, водораздел 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10; 5, 6, 16, тальвег, перегибы скатов, подошва возвышенности 14, 15, 16, 17, 18, урезы водоемов и другие точки, определяющие формы рельефа (рис. 95).

Пикеты, расположенные на таких объектах, как мосты, пересечения дорог, строения и т.д., являются одновременно контурными и высотными.

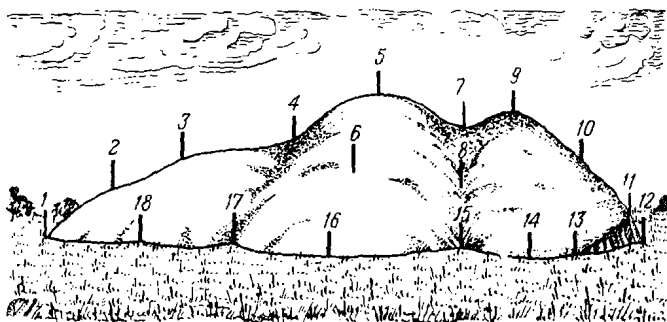


Рис. 95. Выбор высотных пикетов

Густота пикетов зависит от характера местности, масштаба съемки, ее назначения и принятой высоты сечения рельефа.

Наибольшие расстояния, рекомендуемые инструкцией, от прибора до пикетов при съемке и между пикетами приведены в табл. 51.

Съемка контуров и рельефа местности производится преимущественно полярным способом (при съемке недоступных точек применяют способ угловых засечек).

Желательно, чтобы реечник при наборе пикетов видел трубу тахеометра. Соблюдение этого правила позволит сократить время, необходимое наблюдателю для отыскания рейки, установленной на пикете.

Таблица 51

Масштаб съемки	Высота сече- ния рельефа, м	Наибольшее расстояние между пике- тами, м	Наибольшее расстояние от при- бора до пикета (м) при съемке	
			рельефа	контуров
1:500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60
1:1000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1:2000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
1:5000	2,0	50	250	100
	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150

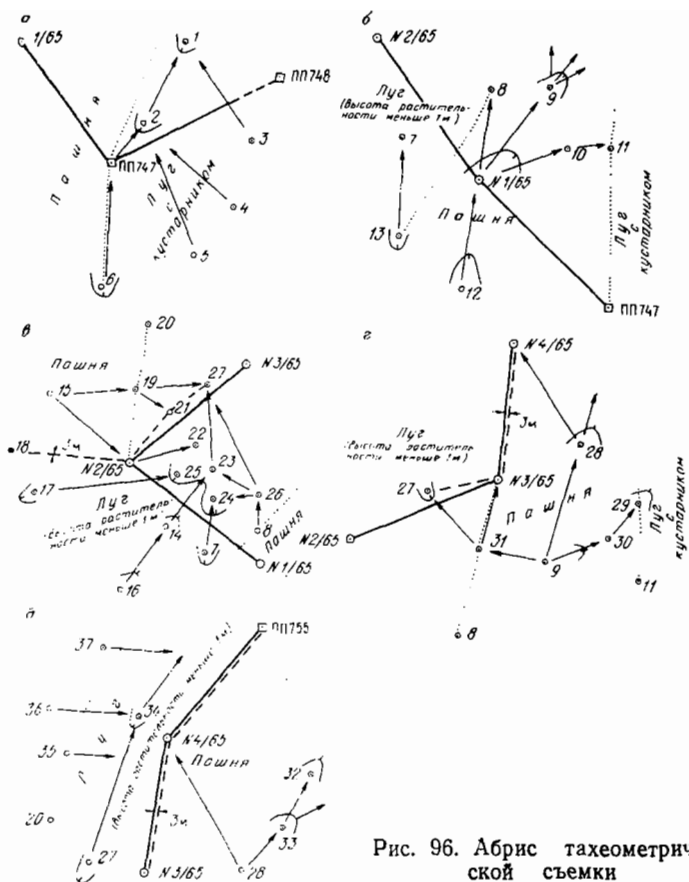


Рис. 96. Абрис тахеометрической съемки

При осмотре местности и выборе пикетов ведут схематический чертёж — абрис (рис. 96). От качества абриса зависит правильность изображения на плане ситуации и рельефа местности. Поэтому на ведение абриса должно быть обращено самое серьезное внимание.

На абрисе показываются опорные геодезические пункты, пикеты, объекты ситуации, характерные точки и линии рельефа местности, направления скатов местности и, в необходимых случаях, схематические горизонталы.

У пунктов обоснования и пикетов выписываются их номера, причем нумерация пикетов ведется сплошная в пределах всей снимаемой территории.



Заполняющие контуры условные знаки заменяются пояснительными подписями (пашня, луг и т. д.). На абрисе указывают название населенных пунктов, рек, водоемов, ширину рек, дорог и другие сведения, необходимые при составлении плана.

2. *Производство съемки ситуации и рельефа.* Съемка может выполняться одновременно с проложением тахеометрического хода или после того, как ход проложен.

До начала съемки проводят с речниками тренировку в усвоении сигналов для передачи им указаний наблюдателя.

Используется сигнализация либо звуковая (свистком), либо зрительная (флажками). Последняя предпочтительнее.

Если тахеометрическая съемка выполняется одновременно с проложением тахеометрического хода, то по окончании линейных и угловых измерений на станции, относящихся к проложению хода, ориентируют горизонтальный лимб по направлению на соседнюю (чаще на предыдущую) вершину хода, в которой предварительно должна быть установлена веха, обозначают цветной ленточкой на каждой рейке точку, на которую предполагается наводить трубу при измерении углов наклона.

Если съемка выполняется после проложения тахеометрического хода, то теодолит центрируют над точкой хода с линейной ошибкой не более 10 см, горизонтируют его и ориентируют по направлению на соседнюю (чаще—на предыдущую) вершину хода, измеряют высоту прибора  $i$  с округлением до 0,01 м и обозначают цветной ленточкой на каждой рейке точку, на которую предполагается наводить трубу при измерении углов наклона.

Рекомендуется до начала съемки привести место нуля вертикального круга к значению, равному  $0^{\circ}0'$ . Это облегчит вычисление углов наклона при съемке.

Сведения о месте нуля вертикального круга записывают в журнал тахеометрической съемки. Там же указывают номер станции, ее отметку, высоту прибора, высоту отмеченной на рейке точки наведения трубы, а также дату, погоду, фамилии наблюдателя и его помощника.

Наибольшее распространение при тахеометрической съемке получил способ измерения углов наклона с наведением визирной оси трубы на точку рейки, расположенную на высоте, равной высоте инструмента.

Наблюдатель	Помощник наблюдателя
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверка ориентирования лимба: наведенные трубы на пункт, по которому был ориентирован лимб, отсчет по горизонтальному кругу</li> <li>2. Наведение вертикальной нити сетки на ось рейки, установленной на пикете; производство дальномерного отсчета; при этом удобно нижнюю дальномерную нить наводить на целое число делений рейки; наведение средней нити сетки трубы на соответствующую высоту прибора на рейке</li> <li>3. Сигнал реечнику о переходе на следующий пикет</li> <li>4. Приведение пузырька уровня алидады вертикального круга в нуль-пункт, отсчет по вертикальному кругу с округлением до 1'</li> <li>5. Отчет по горизонтальному кругу с округлением до 5'</li> </ol>	<p>Запись номера наблюдаемого пункта и отсчета по горизонтальному кругу</p> <p>Запись номера пикета с проверкой его по абрису</p> <p>Запись дальномерного отсчета с глазомерным определением соответствия его расстоянию до пикета на местности</p> <p>Запись отсчета по вертикальному кругу и вычисление угла наклона с его знаком</p> <p>Запись отсчета по горизонтальному кругу и глазомерное сопоставление измеренного полярного угла с углом между начальным направлением и направлением на снимаемый пикет</p>

В этом случае облегчается вычисление превышений, так как

$$h = h', \quad (\text{VII.1})$$

и отметка пикета  $H_{\text{пик}}$  вычисляется по формуле

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h'. \quad (\text{VII.2})$$

Работа наблюдателя и его помощника при съемке с визированием на высоту прибора выполняется в последовательности, приведенной в табл. 52.

По окончании съемки на станции наводят трубы на пункт, по которому был ориентирован лимб. Расхождение между полученным отсчетом по горизонтальному кругу и начальным его значением не должно быть больше удвоенной точности отсчитывания.

Совмещение одной из дальномерных нитей с круглым отсчетом по рейке при определении дальномерного от-

счета упрощает определение последнего, но требует дополнительного вращения трубы в вертикальном направлении.

Если дальномерный отсчет определять после наведения средней нити сетки на соответствующую высоту прибора на рейке, установленной на пикете, то отсчеты по дальномерным нитям выражаются некруглыми числами, что увеличивает объем вычислений при определении дальномерного отсчета.

Если при съемке пикетов измеряют угол наклона, наводя среднюю нить сетки на точку, расположенную на высоте  $v$ , не равной высоте прибора  $i$ , то увеличивается объем вычислений при определении отметок пикетов, т. е.

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h' + \Delta, \quad (\text{VII.3})$$

где

$$\Delta = i - v. \quad (\text{VII.4})$$

При тахеометрической съемке способом двухнитяной тахеометрии (см. задание VI.2) измерение расстояний и углов наклона производится при одном и том же положении трубы, что требует меньше времени на производство измерений, но увеличивает объем вычислительной работы.

При любом способе тахеометрической съемки рекомендуется сразу же по окончании измерений на станции вычислять при помощи логарифмической линейки горизонтальные проложения  $s_{\text{пик}}$  полярных расстояний и превышения  $h'$ . Если съемка производится после проложения хода, то следует вычислять и отметки пикетов, округляя их до десятых долей метра.

**Пример.** На основе тахеометрического хода, который описан в задании VI.2, а его вычислительная обработка — в примере к заданиям VI.3 и VI.4, произведена съемка полосы местности для составления плана в масштабе 1 : 2000 с высотой сечения рельефа, равной 1 м.

Съемка производилась одновременно с проложением тахеометрического хода. Пример обработки результатов съемки приведен в табл. 53—57.

С начальной станции ПП 747 снято шесть пикетов (см. рис. 96, а), один из них 6 контурно-высотный, расположен на границе пашни и луга с кустарником, остальные высотные. Пикеты 6, 2 и 1 станции ПП 747 расположены на линии тальвега.

Номер пикета	Горнока- тальный круг	Вертикальный круг	Угол наклона $\gamma$	$l$ , см	$s$ , м	Превышение $h'$ , м	$l-d$ , м	Исправленное превышение $h$ , м	В. высота
1/65	0° 00'								
1	69 40	358° 07,5'	- 1° 52'	113	112,9	- 3,68	0,00	- 3,68	143,4
2	75 00	358 00,0	- 2 00	45	44,9	- 1,56	0,00	- 1,56	145,5
3	109 05	0 00,0	0 00	112	112,0	0,00	0,00	0,00	147,1
4	144 55	1 20,0	+ 1 20	122	121,9	+ 2,84	0,00	+ 2,84	149,9
5	178 40	2 08,5	+ 2 08	124	123,8	+ 4,64	0,00	+ 4,64	151,7
6	224 55	2 28,0	+ 2 28	115	114,8	- 4,94	0,00	+ 4,94	152,0
1/65	0 00								

Круг лево

Наблюдатель А. Иванов

Записывал и вычислял А. Петров

Номер ликейта	Горизон- тальный круг	Вертикальный круг	Угол наклона $\nu$	$l$ , см	$s$ , м	Повышение $h'$ , м	$l - \nu$ , м	Исправленное повышение $h$ , м	НБ СОТ
Круг лево									
ПП 747	0° 00'								
7	180 00	358° 13,5'	- 1° 46'	96	95,9	- 2,96	- 2,74	- 5,70	142,0
8	226 10	358 54,0	- 1 06	82	82,0	- 1,57	- 0,24	- 1,81	145,8
9	249 00	358 59,5	- 1 00	116	116,0	- 2,04	- 0,24	- 2,28	145,4
10	288 30	359 22,5	- 0 38	88	88,0	- 0,97	- 1,24	- 2,21	145,4
11	289 40	358 43,0	- 1 17	128	127,9	- 2,87	- 1,24	- 4,11	143,6
12	60 00	1 54,0	+ 1 54	115	114,9	+ 3,80	0,00	+ 3,80	151,5
13	97 20	0 38,0	+ 0 38	128	128,0	+ 1,43	- 0,24	+ 1,19	148,8
ПП 747	0 00								

## Записывал и вычислял А. Петров

Номер пикета	Горизонтальный круг	Вертикальный круг	Угол наклона $\gamma$	$l$ , см	$s$ , м	Повышение $h'$ , м	$l-v$ , м	Исправленное превышение $h$ , м	Высота $H$ , м
Ст. № 1/65	0° 00'	359° 59,0'	- 0° 01'	54	54,0	0,00	0,00	0,00	143,0
14	8 35	3 37,0	+ 3 37	91	90,5	+ 5,75	0,00	+ 5,75	148,8
15	171 35	2 33,0	+ 2 33	130	129,8	+ 5,82	0,00	+ 5,82	148,8
16	53 55	1 44,0	+ 1 44	126	125,9	+ 3,85	0,00	+ 3,85	146,9
17	85 25			118	118,0	-			
18	110 00	359 55,0	- 0 05	42	42,0	- 0,05	0,00	- 0,05	143,0
19	242 05			128	128,0	-			
20	233 40			59	59,0	-			
21	268 00	355 40,0	- 4 20	46	45,7	- 3,44	0,00	+ 3,44	139,6
22	302 15	356 21,0	- 3 39	56	55,8	- 3,54	0,00	+ 3,54	139,5
23	313 00	356 55,0	- 3 05	68	67,8	- 3,63	0,00	- 3,63	139,4
24	328 55	354 59,0	- 5 01	41	40,7	- 3,56	0,00	- 3,56	139,5
25	321 30	0 17,0	+ 0 17	124	124,0	+ 0,63	0,00	+ 0,63	143,6
26	321 30								
Ст. № 1/65	0 00								

Круг лево

## Записывал и вычислял А. Петров

Номер пикета	Горизонтальный круг	Вертикальный круг	Угол наклона $\nu$	$l$ , м	$s$ , м	Превышение $h'$ , м	$i \rightarrow e$ , м	Исправленное превышение $h$ , м	Высота
Ст. № 2/65	0° 00'								
27	3 05	357° 27,0'	- 2° 34'	75	74,9	- 3,36	0,00	- 3,36	138,1
28	193 40	0 17,5	+ 0 17	92	92,0	+ 0,46	0,00	+ 0,46	141,9
29	218 30	1 13,0	+ 1 12	116	115,9	+ 2,43	- 1,68	+ 0,75	142,2
30	253 05	1 41,5	+ 1 41	121	120,9	+ 3,55	- 1,68	+ 1,87	143,3
31	305 10	1 22,0	+ 1 21	79	79,0	+ 1,86	0,00	+ 1,86	143,3
Ст. № 2/65	0 00								

Круг лево

Погода: ясно, слабый ветер

Наблюдатель А. Иванов

МО = 0°00,1'

Записывал и вычислял А. Петров

Номер пикета	Горизонтальный круг	Вертикальный	Угол наклона $\gamma$	$l$ , м	$s$ , м	Превышение $h'$ , м	$l - s$ , м	Исправленное превышение $h$ , м	Висота $H$ , м
3/65	0° 00'								
32	272 30	0° 46,0'	+ 0° 46'	116	116,0	+ 1,55	0,00	+ 1,55	137,8
33	295 05	1 46,0	+ 1 46	119	118,9	+ 3,67	0,00	+ 3,67	140,0
34	94 45	358 46,0	- 1 14	14	14,0	-- 0,30	0,00	- 0,30	136,0
35	66 15	2 50,5	+ 2 50	107	106,7	+ 5,28	0,00	+ 5,28	141,6
36	91 30	3 42,5	+ 3 42	121	120,5	+ 7,79	0,00	+ 7,79	144,1
37	143 00	2 04,0	+ 2 04	119	118,9	+ 4,26	0,00	+ 4,26	140,6
3/65	0 00								

Круг лево



Полярные расстояния не превосходили предела, указанного в табл. 50. Углы наклона измерялись при круге лево при наведении средней нити сетки на высоту прибора, отмеченную на рейке.

Превышения  $h=h'$  были вычислены по формуле (VI.3), а отметки пикетов — по формуле (VII.2), с округлением до десятых долей метра.

На станции 1/65 (см. рис. 96, б) было снято семь пикетов, три из них 8, 11 и 13 контурно-высотные, расположены на границах нечетко выраженных контуров, пикеты 12, 9 и сама станция 1/65 находятся на водораздельной линии хребтов, а пикеты 13 и 7 на линии тальвега лощины.

Углы наклона были измерены при наведении средней нити сетки на точки рейки, расположенные на высоте соответственно:  $v_7=4,00$  м,  $v_8=1,50$  м,  $v_9=1,50$  м,  $v_{10}=3,00$  м и т. д.

На станции 2/65 (см. рис. 96, в) снято 13 пикетов (см. табл. 55); на станции 3/65 (см. рис. 96, г) пять пикетов, на станции 4/65 (см. рис. 96, д) шесть пикетов.

Порядок вычисления и заполнения журнала съемки рассмотрим на примере пикета 8 (см. табл. 54).

При наведении средней нити сетки трубы на точку, расположенную на высоте 1,50 м, установленной на пикете 8, были сделаны отсчеты: дальномерный  $l=82$  по горизонтальному кругу  $-226^{\circ}10'$  и по вертикальному кругу  $L=358^{\circ}54,0'$ .

В процессе обработки журнала вычислены: угол наклона  $v=L-MO=358^{\circ}54,0'-360^{\circ}00'=-1^{\circ}06,0'$ , горизонтальное проложение  $s=100l-\Delta s_v=82,0-0,0=82,0$  м, превышение  $h'=stg v=82,0 \times tg(-1^{\circ}06,0')=-1,57$  м и отметка пикета 8  $H_8=H_{1/65}+h+i-v=147,66-1,57-0,24=145,8$  м округленная до десятых долей метра.

Таким образом вычисляют отметки всех остальных пикетных точек.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Во время учебной практики задание выполняет бригада студентов из пяти человек со следующим распределением обязанностей: наблюдатель, помощник наблюдателя, вычислитель и два речника.

Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

**Тахеометрическая съемка с применением тахеометров**

I. Задача: пользуясь тахеометром, выполнить тахеометрическую съемку полосы местности на основе проложенного тахеометрического хода.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 142.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 11—22.

*Баканова В. В.* Геодезия. М., Недра, 1980, § 61.

III. Инструменты и принадлежности: тахеометр со штативом, 2 специальные рейки к тахеометру (при их отсутствии — шашечные нивелирные рейки), 2 вехи, топор, зонт топографический, журнал тахеометрической съемки, линейка или треугольник, карандаши 2Т-ТМ для ведения абриса, ручка, перочинный нож, мягкая резинка.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) изучение устройства редуцированных тахеометров, применяемых при тахеометрической съемке;

2) исследования и поверки тахеометра;

3) осмотр местности, подлежащей съемке с данной станции; выбор контурных и высотных точек (пикетов) с составлением абриса;

4) производство съемки ситуации и рельефа.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Устройство редуцированных тахеометров, применяемых при тахеометрической съемке.* В настоящее время при тахеометрической съемке широко используются номограммные тахеометры: Дальта 020, 010А (ГДР), ТА-Д4 (Венгрия), ТА-2 (СССР); ТД, ТН (СССР) и внутрибазные ТВ (СССР), ВРТ 006 (ГДР) и др.

Наиболее широкое применение при тахеометрической съемке получили тахеометры Дальта 020 и его дальнейшее совершенствование Дальта 010 А\* (рис. 97), представляющий собой повторительный теодолит.

Зрительная труба тахеометра дает прямое изображение, снабжена окуляром 7 и объективом 4. Наведение на

---

\* Цифры указывают значения средней квадратической ошибки определения горизонтального проложения, выражаемые в сантиметрах на 100 м.

резкость производится кремальерой 6. Труба имеет закрепительный и наводящий винты 9 и оптический визир 5.

Тахеометр имеет вертикальный круг 3, круглый уровень 10.

Подставка тахеометра 12 опирается на три подъемные винта 1.

Скрепление горизонтального лимба с алидадой достигается нажатием вниз горизонтального рычага закрепительного устройства 11. Если после этого открепить винт алидады, то алидада и лимб будут вращаться вместе, не изменяя взаимного положения. Для разъединения лимба и алидады надо поднять горизонтальный рычаг закрепительного устройства до выступа защелки. При таком положении рычага лимб остается неподвижным, а алидада может вращаться, причем это вращение регулируется закрепительным и наводящим винтами алидады (см. рис. 97).

Для ориентирования лимба по заданному направлению на местности разъединяют лимб и алидаду и поворачивают алидаду до тех пор, пока отсчет по лимбу не будет близкий к  $0^{\circ}$ . Закрепляют закрепительный винт алидады и устанавливают алидаду при помощи наводящего винта на отсчет, равный  $0^{\circ}0'$ , затем скрепляют лимб и алидаду, нажав вниз горизонтальный рычаг закрепительного устройства, открепляют закрепительный винт алидады и наводят трубу на объект.

Для измерения углов необходимо разъединить лимб и алидаду, подняв рычаг закрепительного устройства до выступа защелки.

Изображение горизонтального и вертикального кругов передается специальной оптической системой в поле зрения шкалового микроскопа (рис. 98).

Для подсветки кругов имеются зеркало 2 и стеклян-

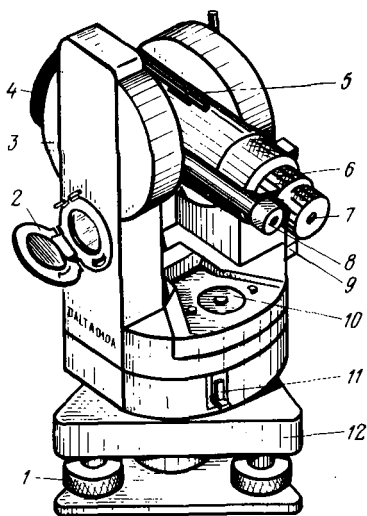


Рис. 97. Тахеометр Дальта 010А

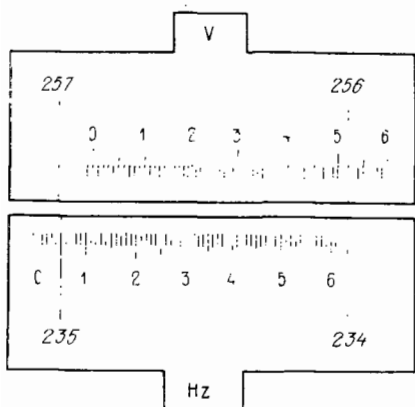


Рис. 98. Поле зрения отсчетного микроскопа тахеометра Дальта 010А

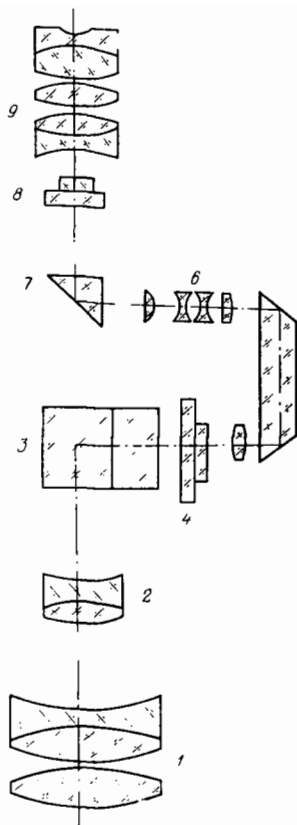


Рис. 99. Оптическая схема тахеометра Дальта 010А

ная пластинка. Отсчеты по кругам можно производить через отсчетный микроскоп 8 (см. рис. 97) до 0,1'.

Оптическая система тахеометра Дальта 010А представлена на рис. 99.

Трехлинзовый ахроматический объектив 1, фокусирующая система линз 2 и призмная система 3 дают изображение рейки в плоскости номограммы 4, состоящей из основной дуги и кривых горизонтальных проложений и превышений.

Полученное изображение рейки, наблюдаемое в окуляр 9, одновременно с изображением кривых номограммы передается на сетку нитей 8 через призмы 5, 7 и оборачивающую систему 6 в поле зрения трубы тахео-



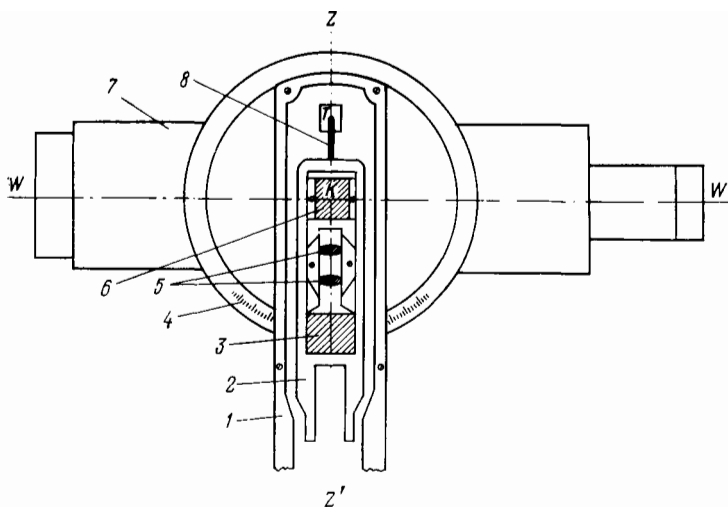


Рис. 102. Схема компенсатора тахеометра Дальта 010А

ведения основной дуги номограммы и точкой пересечения кривой превышений с изображением рейки.

На рис. 101 показано поле зрения тахеометра Дальта 010 А при наведении основной кривой номограммы на нуль-пункт рейки. Отсчеты по кривым номограммы и результаты вычислений горизонтальных проложений и превышений представлены в табл. 58.

Тахеометр Дальта 010 А имеет компенсатор, заменяющий контактный уровень при вертикальном круге.

Компенсатор, схема которого приведена на рис. 102, представляет собой металлическую скобу-маятник 2, подвешенную на шарнирной пружине 8 в точке Т под-

Таблица 58

Название кривой номограммы	Коэффициент	Отсчеты, см	$s (h')$ , м
По верхней кривой горизонтальных проложений	100	29,2	29,2
По нижней кривой горизонтальных проложений	200	14,6	29,2
По кривой превышений	+20	21,7	+4,34

ставки 1 трубы 7. В скобе помещены призмы 3, 6 и объектив 5, передающие изображение штрихов вертикального круга 4 в плоскость отсчетной шкалы микроскопа, которая находится внутри оси вращения трубы в точке К, расположенной за пределами рисунка.

При горизонтальном положении визирной оси *W*W трубы оптическая ось объектива микроскопа 5 при помощи призмы 3 проецируется на штрих 90 или 270° вертикального круга.

Колебания компенсатора гасятся в течение одной секунды, после чего он занимает отвесное положение с точностью 1".

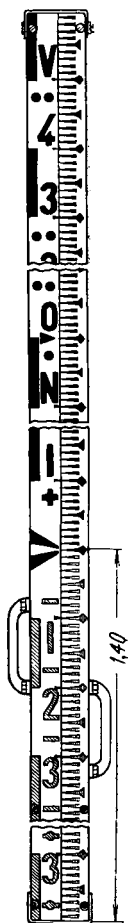
Компенсатор позволяет измерять вертикальные углы и превышения прибором, ось которого отклонена от отвесного положения в пределах  $\pm 4'$ .

Применение компенсатора вместо уровня при вертикальном круге повышает производительность труда и точность измерения вертикальных углов.

При работе тахеометром Дальта можно пользоваться любой вертикальной рейкой. Для ускорения целесообразно применять специальную 4-метровую складную рейку, нуль-пункт которой вынесен на высоту 1,40 м над основанием (рис. 103), или рейку с выдвигной пяткой, нуль-пункт, которой устанавливают на высоту над основанием, равную высоте прибора.

Широкое применение в практике работ нашел тахеометр Дальта 020.

Тахеометр Дальта 020 (рис. 104, а) устанавливают на штатив 1. Прибор имеет подставку 4, три подъемных винта 2 и центрир 15 для центрирования прибора, закрепительный винт втулки 3, в которую вставляется верхняя часть прибора; лимб имеет наводящий винт 14, закрепительное устройство 5 с рычагом и защелкой, цилиндрический уровень 6. Отсчеты производят в окуляр отсчетного микроскопа 7.



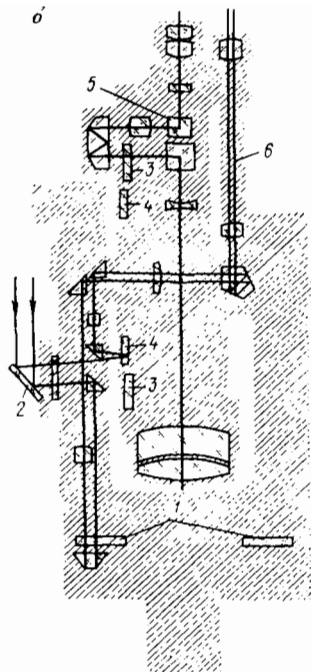
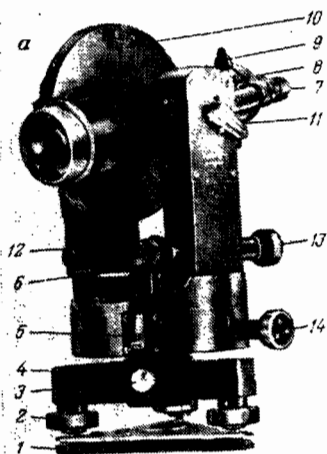


Рис. 104. Тахеометр Дальта 020:

*a* — общий вид; *б* — оптическая схема тахеометра Дальта 020

Зрительная труба имеет окуляр 8, кремальеру 9, закрепительный 11 и наводящий 13 винты.

Вертикальный круг, имеющий закрепительный винт 12 и контактный уровень, помещен в кожух 10.

Как видно из рис. 104, б, тахеометр имеет два вертикальных круга: градуированный круг 4, вращающийся вместе с трубой 5, и неподвижно прикрепленный к подставке трубы круг 3 с номограммой, состоящей из основной дуги 1 (рис. 105) и кривых горизонтальных проложений 3 и превышений 2. Изображения горизонтального 1 (см. рис. 104, б) и вертикального 4 кругов передаются специальной оптической системой в поле зрения шкалового отсчетного микроскопа 6. Для подсветки кругов имеется зеркало 2 и стеклянная пластинка. Шкалы микроскопа позволяют производить отсчитывание по кругам до 0,1'.

В поле зрения тахеометра Дальта 020 (см. рис. 105) видны вертикальная нить 4 и дальномерные штрихи 5,





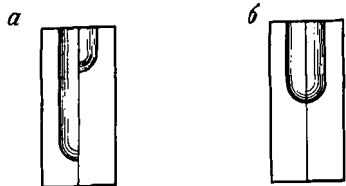


Рис. 107. Установка контактного уровня:

*a* — не установлен; *b* — установлен

кого столика Карти 250 (рис. 108).

Для установки столика Карти 250 его подставку 1 прикрепляют к штативу, а во втулку 3 вставляют и закрепляют цилиндрический корпус наружной втулки осевой системы тахеометра. Затем винтом 5, закрепляющим щип на корпусе тахеометра,

вставляемым в гнездо 4, соединяют подвижный столик 2 с алидадой 6 тахеометра, а на поверхность 15 круга 16 накладывают чертежную основу в виде круга диаметром 250 мм и прижимают ее кольцом 14 с зажимом 13. После скрепления алидады и столика мостик 12 перемещает вдоль него салазки 18 с прикрепленной винтом 9 сменной масштабной линейкой 8, лупой 7 и ме-

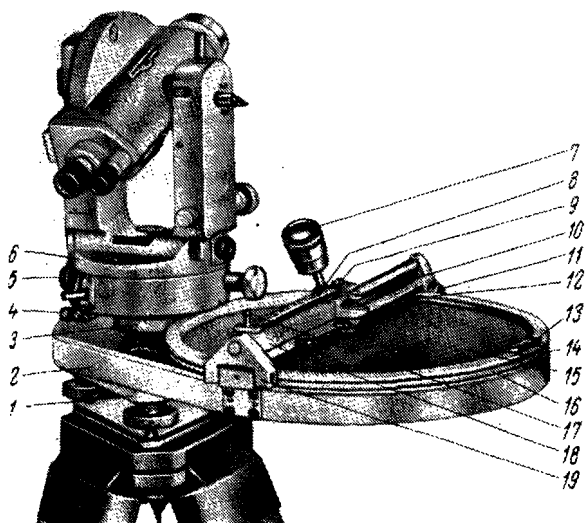


Рис. 108. Картографический столик Карти 250 с тахеометром Дальта 010

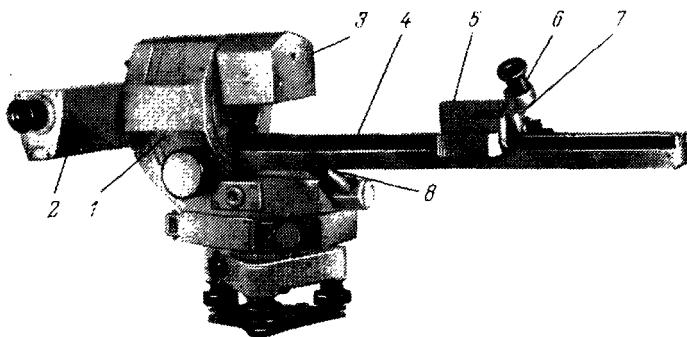


Рис. 109. Тахеометр ТВ

ханизмом для накальвания точек *10* располагаются параллельно коллимационной плоскости трубы тахеометра и вращаются вместе с алидадой.

Для сохранения ориентировки поверхности круга относительно начального направления во время съемки на станции внутри столика имеется зубчатая передача, сообщающая кругу вращение в направлении, противоположном вращению столика. К мостику прикреплен индекс для отсчитывания по линейке, передвигаемой при помощи упора *17*. Вычерчивание на основе, так же как и ее замена, производится при поднятом на опоре *19* мостике, для чего открепляют винты *11*. Столик Карти 250 снабжается четырьмя линейками для масштабов  $1 : 1000$ ,  $1 : 2000$ ,  $1 : 2500$  и  $1 : 5000$ . Вычерчивание на основе производится при приподнятом на опоре *19* мостике.

Производство тахеометрической съемки застроенных территорий и труднодоступных участков местности облегчается применением внутрибазных тахеометров ТВ (рис. 109) и BRT 006.

Тахеометр ТВ представляет собой неповторительный теодолит.

На колонке *1* укреплены корпус неподвижной пентапризмы *3*, а с противоположной стороны зрительная труба *2*. Вдоль базовой линейки *4*, наглухо скрепленной с колонкой, перемещается подвижная пентапризма *5* с лу-



Рис. 110. Оптическая схема дальномерного узла тахеометра ТВ

пой 6 и юстировочным рычажком 7. Микроскоп 8 крепится к подставке тахеометра.

Установка необходимого отсчета на лимбе производится перестановкой его с помощью специальной шестерни.

Принцип отсчитывания по горизонтальным и вертикальному кругам такой же, как у теодолита ТЗ0 (см. задание III.2).

Зрительная труба тахеометра ТВ ломаная, дает прямое изображение наблюдаемых объектов.

Рассмотрим оптическую схему дальномерного узла тахеометра. Через верхнюю пентапризму 8, юстировочный клин 7, призму 5, объектив 4, линзу 3, разделительное устройство 2 и окуляр 1 наблюдают верхнее полуизображение предмета (рис. 110).

Через подвижную пентапризму 9, кольцеобразные клинья компенсатора 6, оптическую систему 5, 4, 2, 1 наблюдают нижнее полуизображение предмета.

Для определения расстояния необходимо переместить вдоль базовой линейки каретку с нижней пентапризмой до совмещения в поле зрения трубы (рис. 111) двух наблюдаемых полуизображений предмета и произвести отсчет по шкале линейки.

Так как тахеометр ТВ имеет компенсатор 6, редуцирующий параллактический угол дальномера, то отсчет по шкале линейки  $l_s$  будет соответствовать горизонтальному проложению  $s$ , определяемому по формуле

$$s = K_s l_s, \quad (\text{VII.7})$$

где  $K_s$  — коэффициент дальномера.

Поскольку шкала линейки разделена через 0,5 см, а номинальное значение коэффициента  $K_s = 200$ , то отсчет

в делениях шкалы соответствует горизонтальному проложению, выражаемому в метрах.

В измеренное расстояние вводится поправка за температуру, если температура измерения отличается от температуры определения  $K_s > 20^\circ\text{C}$  и поправка за теоретическую ошибку, определяемая по шкале на кожухе прибора.

При углах наклона больше  $20^\circ$  в измеренное расстояние вводится поправка за приведение длины линии к горизонту.

Превышение  $h'$  с помощью ТВ определяется по формуле

$$h' = s \operatorname{tg} v, \quad (\text{VII.8})$$

где  $v$  — угол наклона линии визирования.

Тахеометр BRT 006 в отличие от ТВ имеет систему редуцирования, которая может быть в случае необходимости выключена. Это дает возможность измерять как горизонтальные проложения длин линии, так и наклонные расстояния.

Тахеометрами ТВ и BRT 006 расстояния до 60 м можно измерять без использования рейки (визирной целью в этом случае служат различные вертикальные местные предметы) и до 180 м с использованием вехи с дополнительным базисом величиной 60 см.

Средняя относительная ошибка измерения расстояния составляет от 1 : 500 до 1 : 1000.

2. *Исследования и поверки тахеометра.* Поверки номограммного тахеометра. В номограммных тахеометрах должны быть соблюдены те же геометрические условия, что и в технических теодолитах (см. задания III.4).

Кроме того, необходимо поверить положение номограммы и определить фактические значения коэффициентов кривых.

а) Положение номограммы должно удовлетворять условию, по которому при горизонтальном положении визирной оси трубы кривые превышений с коэффициентами  $+10$  и  $-10$  должны пересекаться в точке пересечения

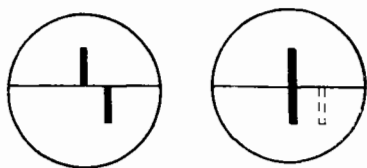


Рис. 111. Поле зрения трубы тахеометра ТВ

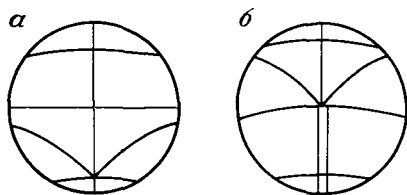


Рис. 112. Поверка номограммы тахеометра:

а — Дальта 020, б — Дальта 010А

основной дуги и вертикальной нити (рис. 112). Схема правильного положения кривых превышений для тахеометра Дальта 020 приведена на рис. 112, а, а для Дальта 010А на рис. 112, б.

Для проверки устанавливают отсчет по вертикальному кругу, равный нулю (в тахеометре Дальта 020 пузырек уровня при вертикальном круге должен быть предварительно при помощи наводящего винта приведен на середину). Если точка пересечения указанных ветвей кривой превышения не находится на вертикальной нити, то снимают кожух, закрывающий алидаду вертикального круга, исправительными винтами номограммы, находящимися над цилиндрическим уровнем, приводят номограмму в требуемое положение.

Убедившись повторным наблюдением в соблюдении поверяемого условия, надевают кожух, закрепляя его соответствующими винтами.

Проверку положения кривой превышений можно произвести иначе.

Определяют при помощи нивелира (см. задание VIII.8) превышение линии, длина которой около 100 м, а превышение не более 1,5 м. Концы линии должны быть предварительно закреплены кольями. Устанавливают тахеометр на более высоком конце линии, а нивелирную рейку на втором, более низком конце линии. Измерив высоту прибора, визируют на точку рейки, расположенную на высоте  $h+i$  над основанием. Точка пересечения ветвей  $+10$  и  $-10$  кривой превышений с основной дугой номограммы должна в этот момент находиться на вертикальной нити. Исправление производится описанным выше способом.

б) Фактическое значение  $K$ , коэффициента кривой

горизонтальных проложений определяется путем сравнения значений горизонтального проложения линии местности длиной около 150 м, измеренной при помощи номограммы  $s$  и вычисленной по результатам измерения стальной 20-метровой лентой  $s_{\text{лент}}$  (см. задание IV.1)

$$K_s = 100 (s_{\text{лент}}/s). \quad (\text{VII.9})$$

Значение  $K_s$  вычисляется до сотых долей единицы. Таких определений должно быть сделано не меньше десяти.

Если расхождения между отдельными значениями  $K_s$  не превосходят  $\pm 0,2$ , то вычисляют среднее значение  $K_s$ , округляемое до десятых долей единицы. Если  $K_s - 100 \leq \leq \pm 0,2$ , можно пользоваться значением коэффициента  $K_s = 100$ .

в) Фактические значения коэффициентов кривых превышений определяются путем сравнения значений превышений  $h_{\text{нив}}$ , полученных из геометрического нивелирования, и  $h$ , вычисленных по формуле

$$h = h' + i - v; \quad (\text{VII.10})$$

где  $h'$  — превышение, определенное по номограмме;  $i$  — высота прибора;  $v$  — высота точки наведения основной кривой номограммы.

Для определения коэффициентов кривых выбирают линии длиной около 100 м с превышением ее концов от 8 до 20 м.

Значение фактического коэффициента  $K_{h_{\text{факт}}}$  вычисляется по формуле до сотых долей единицы

$$K_{h_{\text{факт}}} = K_h (h_{\text{нив}}/h), \quad (\text{VII.11})$$

где  $K_h$  — значение коэффициента, подписанное у той кривой, по которой производится отсчет по рейке.

Таких определений значений коэффициентов кривых превышений надо выполнить не меньше, чем на 10 линиях.

Если расхождения между фактическими и номинальными ( $\pm 10$  и  $\pm 20$ ) значениями коэффициентов не превосходят соответственно 0,1 и 0,2, то можно при съемке пользоваться значениями их, подписанными у кривых.

Значение коэффициента, полученное при отсчитывании по кривой с  $K_h = \pm 100$ , не должно отличаться от 100 больше, чем  $\pm 0,4$ .

Поверки столика Карти 250: а) механизм для накалывания точек должен передвигаться вдоль па-

*параллельного коллимационной плоскости трубы тахеометра диаметра круга 16* (см. рис. 108). Для проверки устанавливают на местности тахеометр с прикрепленным столиком и визируют на какую-либо точку, накалывая ее возможно дальше от центра круга. Затем переводят трубу через зенит, снова визируют на ту же точку и делают новый накол около предыдущего. Если расстояние между наколами больше 0,4 мм, то поворачивают столик так, чтобы игла оказалась посередине между наколами, и исправительными винтами сетки нитей трубы перемещают сетку до совпадения изображения точки с вертикальной нитью;

*б) нуль-пункт масштабной линейки должен находиться над центром круга 16* (см. рис. 108). Визируя на точку местности, иглу устанавливают у нуль-пункта линейки и делают накол. То же повторяют после перевода трубы через зенит.

Если наколы не совпадают, то устанавливают иглу посередине между ними и карандашом отмечают соответствующее положение отсчетного индекса.

Проверки тахеометра Т В. Для тахеометров двойного изображения кроме проверок, аналогичных с номограммными тахеометрами, необходимо повернуть дальномерное и редуцирующее устройство.

Для этого многократно измеряется длина линии с большим углом наклона, причем прибор и рейка (или веха) меняются местами. При несовпадении результатов измерений в прямом и обратном направлениях берется среднее значение измеренных величин, с помощью которого выполняется исправление специальными исправительными винтами.

3. *Осмотр местности, подлежащей съемке с данной станции; выбор контурных и высотных точек (пикетов) с составлением абриса* производится так же, как при съемке с помощью технического теодолита (см. задание VII.2).

4. *Производство съемки ситуации и рельефа.* После установки тахеометра на станции и ориентирования лимба трубу тахеометра наводят на рейку так, чтобы вертикальная нить проецировалась на ось рейки, основная дуга была совмещена с изображением нуль-пункта рейки тахеометра Дальта или с изображением точки, расположенной на высоте  $v$  над основанием рейки, если употребляется рейка с нижним выдвижным концом, с изображе-



Дата 20.07. 1981 г.

Ст. ПЗ 747

Погода: переменная облачность, слабый ветер

Наблюдатель А. Иванов

Записывал и вычислял А. Петров

Номер точки визирования	Горизонтальный круг	s, м	h', м	H, м	Описание пикета
1/65 1	0° 00' 69 40	113	-3,7	143,4	Высотный (тальвег), на лугу с кустарником
2	75 00	44,8	-1,57	145,5	То же
3	109 05	112	0	147,1	Высотный на лугу с кустарником
4	144 55	122	+2,9	150,0	Высотный на лугу с кустарником
5	178 40	124	+4,6	151,7	То же
6	224 55	115	+4,9	152,0	Граница пашни и луга с кустарником
1/65	0 00				

нием нуля-пункта, установленного на высоте  $i$ , равной высоте прибора.

Если тахеометр без компенсатора, пузырек уровня при вертикальном круге в нуля-пункт приводят наводящим винтом и определяют по кривым номограмм горизонтальное проложение  $s$  и превышение  $h'$ .

При расстояниях до 100 м полученные горизонтальные проложения округляют до 0,2 м, а превышение до 0,02 м, при больших расстояниях соответственно до 1 и 0,1 м.

Полученные результаты записывают в журнал формы, приведенной в табл. 60.

Реечнику дают сигнал о переходе на следующий пикет, делают отсчет по горизонтальному кругу и записывают его в тот же журнал.

Также производится съемка всех пикетов. Работа на станции завершается повторным визированием на пункт, по направлению, на который был ориентирован лимб.

В журнале (см. табл. 60) вычисляются отметки пикетных точек  $H_{\text{пик}}$  по одной из формул:

а) при визировании на нуль-пункт рейки Дальта, вынесенной на высоту 1,40 м над основанием,

$$H_{\text{пик}} = H_0 + h', \quad (\text{VII.12})$$

где

$$H_0 = H_{\text{ст}} + i - 1,40, \quad (\text{VII.13})$$

$H_{\text{ст}}$  — высота станции;  $i$  — высота прибора;

б) при визировании на точку рейки, расположенную на высоте  $v$  над основанием,

$$H_{\text{пик}} = H_0 + h', \quad (\text{VII.14})$$

где

$$H_0 = H_{\text{ст}} + i - v; \quad (\text{VII.15})$$

в) при визировании на нуль-пункт рейки, находящейся на высоте, равной высоте прибора,

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h'. \quad (\text{VII.16})$$

Высоты пикетов округляют до 0,1 м.

При тахеометрической съемке с применением столика Карти 250 отсчитанное по рейке горизонтальное положение сразу же откладывают, передвигая с помощью упора 17 (см. рис. 108) масштабную линейку до отсчетного индекса и накальвают точку (пикет) на чертежную основу. По окончании съемки всех пикетов на данной станции поднимают мостик 12, зарисовывают ситуацию и проводят горизонталь.

Недостатком применения столика Карти 250 является необходимость замены чертежной основы на каждой станции, вследствие чего отсутствует связь между пикетами, снятыми с соседних станций.

Тахеометрическая схемка с помощью тахеометра ТВ производится так же, как съемка с помощью других тахеометров с учетом особенностей определения горизонтальных проложений.

Пример. На тахеометрической станции ПП 747 выполнена съемка тахеометром Дальта 020 № 71948, снабженным специальными рейками с нижним подвижным концом, позволяющим установить нуль-пункт рейки на высоте, равной высоте прибора над основанием.

Журнал результатов съемки приведен в табл. 60, а абрис на рис. 96, а.

Порядок заполнения журнала рассмотрим на примере съемки пикета 2.

Были сделаны отсчеты: по кривой горизонтальных проложений  $l_s=0,448$  м, по кривой превышений с коэффициентом  $K_h=-10$ ;  $l_h=0,157$ , по горизонтальному кругу  $75^{\circ}00'$ .

Вычислены значения  $s=100 \times l_s=44,8$  м,  $h'=-10 \times 0,157=-1,57$  м, которые записаны соответственно в графах 3 и 4 журнала.

В процессе обработки журнала, выполненной сразу же после измерений, вычислены  $H_0=147,06+1,40-1,40=147,06$  и  $H_2=147,06-1,57=145,5$  и записаны в графе 5.

При расстояниях свыше 100 м горизонтальные проложения округляются до целых метра, а превышения до десятых метра. Поэтому, например, при съемке пикета I имеем  $s=113$  м, а  $h=-3,7$  м.

Подобным же образом вычислены горизонтальные проложения, превышения и высоты остальных пикетов на станции.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Во время учебной практики задание выполняется бригадой студентов из пяти человек со следующим распределением обязанностей: наблюдатель, помощник наблюдателя, вычислитель и два речника.

Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

### Задание VII.4

#### Составление плана по результатам теодолитной съемки

I. Задача: нанести на план заданного масштаба теодолитные ходы по вычисленным координатам их вершин и ситуацию по абрису. План оформить в соответствии с обязательными условными знаками.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 139—140.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 100—103.

III. Материалы, приборы и пособия: чертежная бумага лучшего качества, чертежная доска, готовальня, транспортир (диаметром 18—20 см) с поперечным масштабом, прибор для построения координатной сетки (линей-

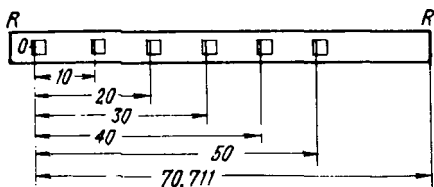


Рис. 113. Малая координатная линейка Ф. В. Дробышева

ка Ф. В. Дробышева, штангенциркуль с нормальной линейкой), синусная (пропорциональная) линейка, чертежная линейка, треугольник, карандаши 3Т-5Т, перочинный нож, резинки: мягкая (для карандаша) и жесткая (для туши), тушь (черная, зеленая, сиена), чертежная ручка, чертежные перья, кнопки, таблицы условных знаков для топографических планов.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) построение координатной сетки;
- 2) нанесение пунктов хода по прямоугольным координатам;
- 3) нанесение ситуации по абрису;
- 4) оформление плана в туши.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Построение координатной сетки.* Сетка строится в виде системы квадратов со сторонами 10 см. Общие размеры ее установлены: 40×40 см для планов масштаба 1:5000 и 50×50 см для планов более крупных масштабов.

Такую сетку чаще всего строят при помощи малой координатной линейки Ф. В. Дробышева (рис. 113). В основе устройства ее лежит соотношение  $5^2 + 5^2 = 7,0711^2$ . В корпусе линейки имеется шесть прорезей, один край каждой из которых скошен и представляет собой дугу окружности радиуса, кратного 10 см. Центром окружностей является нуль-пункт линейки. Расстояние от нуля до скошенного ребра на конце линейки равно 70,711 см (гипотенуза треугольника с катетами, равными 50 см).

Линейка Ф. В. Дробышева должна удовлетворять таким условиям:

- 1) *скошенное ребро линейки должно быть прямой линией.* Для проверки прочерчивают вдоль этого ребра линию, после чего линейку поворачивают на 180°, при-

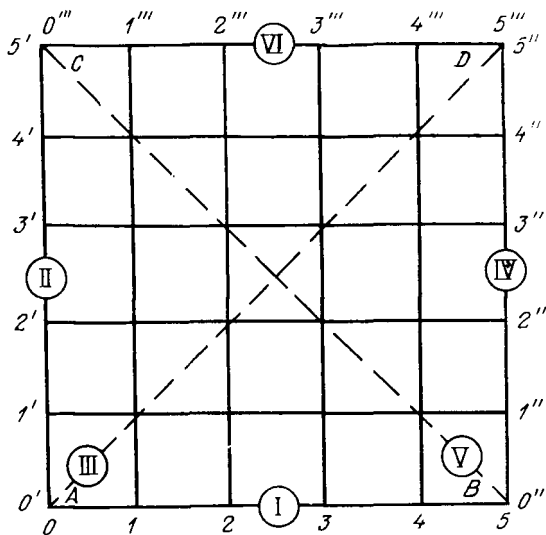


Рис. 114. Построение координатной сетки малой линейкой  
Ф. В. Дробышева

кладывают ребро линейки к концам прочерченной линии и снова прочерчивают линию. Обе прочерченные линии должны совпадать;

2) расстояние между скошенными краями соседних прорезей должно равняться 10 см, а расстояние от нуля до скошенного ребра на конце линейки — 70,711 см. Для проверки кладут линейку на предварительно прочерченную линию так, чтобы прочерченная линия была видна через прорези, а ноль линейки находился на ней.

Карандашом, заточенным в виде лопаточки, прочерчивают дуги вдоль скошенных краев всех прорезей и конца линейки. Затем проверяют длины полученных отрезков прямой, пользуясь измерителем и поперечным масштабом. Расхождения не должны превышать 0,1 мм. Общую длину линейки проверяют при помощи штангенциркуля и нормальной линейки.

Порядок построения координатной сетки общим размером 50×50 см с помощью малой линейки Ф. В. Дробышева иллюстрируется рис. 114.

Прежде всего кладут линейку на лист бумаги вблизи его края так, чтобы на листе поместилась вся координатная сетка.

натная сетка. Вдоль скошенного ребра прочерчивают карандашом, заточенным в виде лопаточки, прямую линию. Накладывают линейку на линию так, чтобы прочерченная линия была видна через прорезы, а нуль линейки находился на линии (положение I) и прочерчивают карандашом дуги вдоль скошенных краев прорезей, получая точки  $O$  ( $A$ ),  $1$ ,  $2$ , ...,  $5$  ( $B$ ).

Далее линейку поворачивают около точки  $A$  сначала примерно на  $90^\circ$  (положение II) и прочерчивают дуги  $1'$ ,  $2'$ , ...,  $5'$ , а затем примерно на  $45^\circ$  (положение III) и прочерчивают дугу  $d_{III}$  вдоль скошенного края на конце линейки. После этого перекаладывают линейку в положение IV, следя за совмещением нуля с точкой  $B$ , и прочерчивают дуги  $1''$ ,  $2''$ , ...,  $5''$ . В пересечении дуг  $d_{III}$  и  $5''$  находится вершина  $D$  квадрата. Повернув линейку в положение V, прочерчивают дугу  $C_V$ , пересечение которой с дугой  $5'$  определяет положение вершины  $C$  квадрата. Наконец, прикладывают нуль линейки к точке  $C$  (положение VI) и проверяют, проходит ли дуга  $5'''$  через точку  $D$ : расхождение не должно быть больше  $0,1$  мм. При соблюдении этого условия прочерчивают дуги  $1'''$ ,  $2'''$ , ...,  $4'''$  и проводят прямые линии через точки пересечения соответствующих дуг со сторонами квадрата  $ABCD$ , получая сетку квадратов со сторонами в  $10$  см. Построенную сетку проверяют, сравнивая диагонали квадратов между собой и длины сторон с  $10$ -сантиметровыми отрезками, взятыми в раствор измерителя по нормальному поперечному масштабу. Отклонения не должны превышать  $0,1$ — $0,2$  мм.

Подобным же образом строится координатная сетка с помощью штангенциркуля и нормальной (метровой) линейки.

Линии координатной сетки подписывают значениями координат, кратными числу километров, равному  $0,1 T$ , где  $T$  — число тысяч в знаменателе численного масштаба составляемого плана. Эти значения должны быть такими, чтобы в пределах сетки могли быть нанесены все пункты ходов по их координатам.

*2. Нанесение пунктов хода по прямоугольным координатам.* Для нанесения пункта по координатам сначала определяют квадрат сетки, в котором должен находиться пункт. Затем на противоположных сторонах этого квадрата откладывают с помощью измерителя и поперечного масштаба отрезки, соответствующие разно-

стям одноименных координат пункта. Накладку пункта проверяют путем откладывания отрезков, равных расстояниям координат с противоположной стороны квадрата и наносимого пункта. Расхождение в положении пункта на плане не должно быть больше 0,2 мм.

Правильность накладки двух соседних пунктов проверяют по длине горизонтального проложения между ними и по дирекционному углу этой линии. Для этого берут по поперечному масштабу в раствор измерителя отрезок, соответствующий вычисленному значению горизонтального проложения, одну ножку измерителя ставят в предыдущий нанесенный пункт и проверяют, совпадает ли вторая ножка с только что нанесенным пунктом. Расхождение не должно превышать 0,2 мм.

Правильность направления нанесенной линии в соответствии с ее дирекционным углом проверяют при помощи транспортира.

3. *Нанесение ситуации по абрису.* Ситуацию наносят на план в точном соответствии с абрисом в последовательности производства съемки. Способ накладки зависит от способа съемки: подробные указания об этом приведены в примере к настоящему заданию.

Накладка ситуации в сущности бесконтрольна; от исполнителя требуется очень большое внимание. Накладку наиболее важных объектов следует повторять, чтобы убедиться в отсутствии грубых ошибок.

По окончании накладки ситуации рекомендуется слить план с местностью.

4. *Оформление плана в туши.* План оформляется в соответствии с обязательными знаками.

Пример. Составить в масштабе 1 : 2000 план участка местности по данным, приведенным в заданиях VI.1, VI.3 и VII.1.

Составление плана в масштабе 1 : 2000 начинаем с построения координатной сетки, образующей квадрат  $50 \times 50$  см.

Учитывая экстремальные значения вычисленных в табл. 44 абсцисс и ординат замкнутого полигона:  $x_2 = +2951,30$  м,  $x_6 = +2351,24$  м,  $y_1 = -915,01$  м,  $y_4 = -1410,36$  м, подписываем координатную сетку так, чтобы план снятого участка расположился в середине листа, т. е. абсциссы горизонтальных линий получают значение: +2200, +2400, +2600, +2800, +3000, +3200, а

ординаты вертикальных линий: —600, —800, —1000, —1200, —1400, —1600.

Приступаем к накладке пунктов теодолитных ходов по вычисленным координатам.

Сначала накладываем пункты замкнутого полигона по координатам пунктов, приведенных в табл. 44.

Полигонометрический пункт ПП 187 с координатами  $x_{\text{ПП}187} = +2450,41$  м,  $y_{\text{ПП}187} = -987,34$  м находится в квадрате сетки, ограниченном горизонтальными линиями, подписанными +2400 и +2600 м, и вертикальными —800 и —1000 м. Для нанесения этого пункта откладываем с помощью измерителя к северу от южной стороны ( $x_{\text{ю}} = +2400$  м) квадрата, вдоль западной ( $y_{\text{з}} = -1000$  м) и восточной ( $y = -800$  м) его сторон, отрезок с помощью поперечного масштаба, соответствующий в масштабе 1:2000 разности  $x_{\text{ПП}187} - x_{\text{ю}} = (+2450,41) - (+2400) = 50,41$  м.

Для контроля откладываем к югу от северной ( $x_{\text{с}} = +2600$  м) стороны квадрата, вдоль западной и восточной его сторон, отрезок, соответствующий разности  $x_{\text{с}} - x_{\text{ПП}187} (+2600) - (+2450,41) = 149,59$  м. Совпадение новых наколов с прежними свидетельствует об отсутствии ошибок. Несовпадение не должно превосходить величину 0,2 мм.

Затем откладываем к востоку от западной стороны квадрата, вдоль южной и северной его сторон, отрезок, соответствующий разности  $y_{\text{ПП}187} - y_{\text{з}} = (-987,34) - (-1000) = 12,66$  м. Для контроля откладываем к западу от восточной стороны квадрата, вдоль северной и южной его сторон, отрезок, соответствующий разности  $y_{\text{в}} - y_{\text{ПП}187} = (-800) - (-987,34) = 187,34$  м.

Последовательно прикладывая ребро линейки к отмеченным точкам на противоположных сторонах квадрата прочерчиваем линии, точка пересечения которых и определяет положение ПП 187.

Подобным же образом накладывают пункт 1. После накладки этого пункта берем в раствор измерителя по поперечному масштабу отрезок, соответствующий горизонтальному проложению между ПП 187 и 1, равному 356,67, отклонение не должно быть больше 0,2 мм. Соединив на плане точки ПП 187 и 1 прямой линией, измеряем транспортиром ее дирекционный угол: он оказался равным  $11,7^\circ$  при вычисленном значении  $11^\circ 41,3'$ , что свидетельствует о надежности нанесения пунктов. Эти



точки накалываем на плане иглой измерителя и обозначаем принятыми условными знаками.

Точно так же наносим и контролируем накладку всех остальных пунктов теодолитных ходов.

Накладку ситуации начнем с объектов, снятых с пунктов 1 и 2 и с линии между ними, пользуясь абрисом, представленным на рис. 93, а.

Для нанесения границы луга с кустарником, характерные точки которого сняты способом перпендикуляров, откладываем с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния 49,2, 57,0, 111,6 и 150,5 м от пункта 1 до оснований соответствующих перпендикуляров и подписываем эти расстояния без нажима карандаша, чтобы легче было удалить подпись с плана.

При помощи треугольника строим в отмеченных точках перпендикуляры и откладываем соответственно их длины с помощью измерителя и масштабной линейки.

Концы перпендикуляров, определяющие положение границы луга с кустарником, соединяем от руки плавной линией, отмечаем точку пересечения этой линии с дорогой.

Завершив нанесение точек, снятых с линий теодолитного хода при помощи линейных измерений, приступаем к накладке точек, снятых угловыми засечками и полярным способом.

Для нанесения поворота грунтовой дороги (на абрисе точка *и*) прикладываем центр транспортира к пункту 3 так, чтобы нулевой диаметр был совмещен с линией 2—3, а полуокружность его располагалась влево от этой линии. Сделав карандашом пометку у отсчета  $102^{\circ}15'$ , снимаем его и соединяем карандашом по линейке эту отметку с пунктом 3.

Прикладываем транспортир к пункту 4, совмещаем его нулевой диаметр с линией 3—4, располагая полуокружность транспортира влево от этой линии, и делаем пометки, соответствующие отсчетам  $46^{\circ}00'$  и  $65^{\circ}30'$ . Затем снимаем транспортир, прочерчиваем соответствующие направления из пункта 4 и подписываем их. Точка пересечения направлений, прочерченных из пунктов 3 и 4, определяет положение точки *и* поворота грунтовой дороги. Подобным образом была нанесена на план точка *к* (поворот полевой дороги).

При нанесении на план точек, снятых засечками, надо внимательно следить, чтобы были отмечены точки пе-

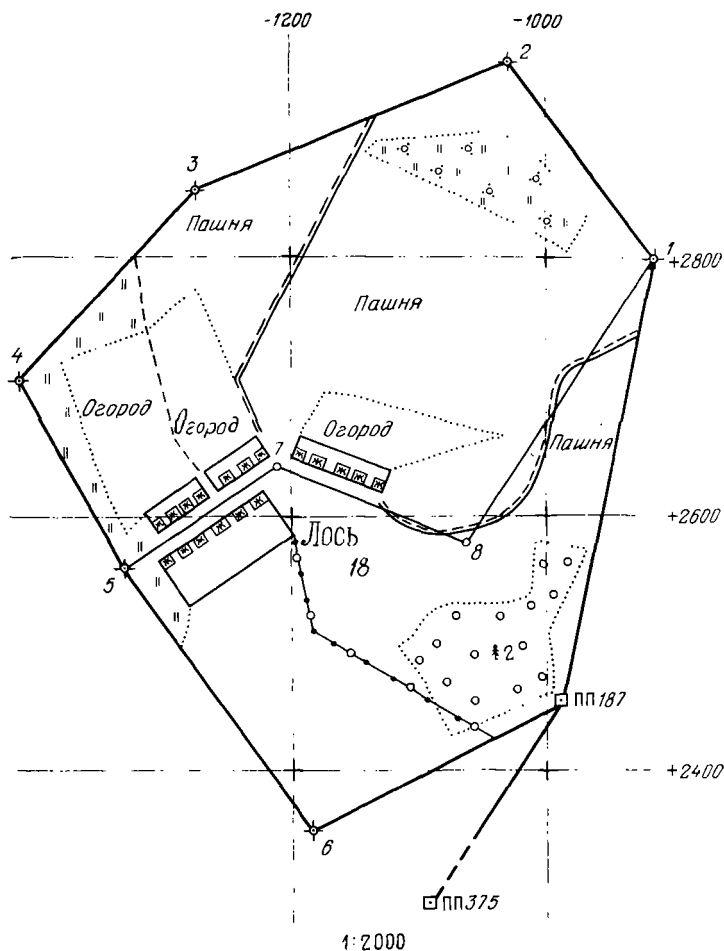


Рис. 115. План теодолитной съемки масштаба 1 : 2000

ресеци именно тех направлений, которые относятся к соответствующим снятым точкам ситуации.

С пункта 8 полярным способом были сняты угол огорода (точка *e*) и изгибы границы молодого хвойного леса (точки *a*, *b*, *v*, *z*), причем полярные углы измерялись от начального направления 7—8 (см. рис. 93, *z*).

Поэтому транспортер располагаем так, чтобы центр

его совпадал с пунктом 8, нулевой диаметр был совмещен с начальным направлением 7—8, а полуокружность находилась влево от начального направления при нанесении на план точек, соответствующих углам  $84^{\circ}15'$ ,  $152^{\circ}00'$  и вправо углам  $201^{\circ}15' - 180^{\circ} = 21^{\circ}15'$  (на точку б);  $270^{\circ}30' - 180^{\circ} = 90^{\circ}30'$  (на точку в) и  $283^{\circ}00' - 180^{\circ} = 53^{\circ}00'$  (на точку г), считая по ходу часовой стрелки от конца диаметра, противоположного начальному направлению.

Последовательно прикладывая ребро линейки к точке 3 и к пометкам, откладываем вдоль ребра соответствующие полярные расстояния ( $s_{3-e} = 103,7$  м и т. д.).

Соединения полученные точки а, б, в, г с ранее нанесенными точками границы молодого хвойного леса, получаем его изображение на плане.

Дальнейшую накладку ситуации производим подобно описанному, строго руководствуясь абрисом.

Оформленный план представлен на рис. 115.

Состав исполнителей и распределение обязанностей.

Во время учебной практики задание выполняется бригадой студентов из 5 человек с распределением обязанностей по указанию руководителя.

### Задание VII.5

#### Составление плана по результатам тахеометрической съемки

I. Задача: нанести на план заданного масштаба тахеометрический ход по координатам его вершин, ситуацию и горизонтالي в соответствии с журналом съемки и абрисом. План оформить в соответствии с условными знаками.

II. Литература: *Гиришберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 140.

*Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500* (Главное управление геодезии и картографии). М., Недра, 1969.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 59—61.

III. Материалы, приборы и пособия: чертежная бумага лучшего качества, чертежная доска, готовальня, транспортир (лучше круглый, диаметром 18—20 см), поперечный масштаб, прибор для построения координатной сетки (линейка Ф. В. Дробышева либо штангенциркуль с нормальной линейкой), синусная (пропорциональная) линейка, чертежная линейка, треугольник, карандаши 3Т—5Т, перочинный нож, резинки: мягкая (для карандаша) и жесткая (для туши), тушь (черная, зеленая, сиена), чертежная ручка, чертежные перья, кнопки, таблицы условных знаков для топографических планов.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) построение координатной сетки;
- 2) нанесение тахеометрического хода по координатам его вершин;
- 3) нанесение ситуации и проведение горизонталей;
- 4) оформление плана в туши.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Построение координатной сетки.* 2. *Нанесение тахеометрического хода по координатам его вершин.* Порядок построения координатной сетки и нанесения на план пунктов по их координатам описан в задании VII.4.

3. *Нанесение ситуации и проведение горизонталей.* Ситуацию наносят в точном соответствии с журналом съемки и с абрисом. Работу надо производить последовательно: только после нанесения всего снятого на одной станции можно переходить к следующей (см. задание VII.4).

Сопоставление тождественных контуров и одноименных горизонталей, наносимых по результатам с двух соседних станций, позволит судить о качестве съемки. Расхождения не должны превосходить допусков, установленных инструкцией. В случае необходимости снимают дополнительные пикеты.

Контуров, ситуацию желательно закреплять тушью до интерполирования горизонталей.

Высотные пикеты обозначаются на плане кружками диаметром 0,8 мм. Справа от кружка проводят горизонтальную линию длиной 7 мм; над ней выписывают номер пикета и под ней — отметку последнего.

Одновременно с накладкой пикетов следует наносить водоразделы, тальвеги и направления скатов, по которым должно быть проведено интерполирование для проведения горизонталей.

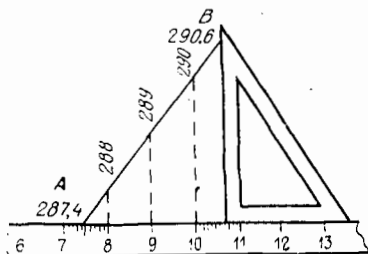


Рис. 116. Интерполирование горизонталей при помощи треугольника и линейки

Из многочисленных способов определения положения горизонталей на линиях скатов наиболее простыми являются следующие.

Интерполирование горизонталей при помощи треугольника и линейки с миллиметровой шкалой\* проиллюстрируем следующим примером.

Пусть требуется найти положение горизонталей с высотой сечения, равной 1 м, между точками  $A$  и  $B$  с высотами  $H_A = 287,4$  м,  $H_B = 290,6$  м.

Прикладываем к точке  $A$  (рис. 116) штрих шкалы линейки, соответствующий  $287,4 - 280,0 = 7,4$  см, а к штриху линейки, соответствующему  $290,6 - 280,0 = 10,6$  см, — короткое ребро треугольника. Затем поворачиваем линейку около точки  $A$  до тех пор, пока это ребро треугольника не пройдет через точку  $B$ . Удерживая линейку в таком положении, передвигаем вдоль нее треугольник и в местах совпадения его короткого ребра со штрихами 10,9 и 8 см шкалы линейки делаем карандашом пометки на плане: через них проходят горизонталы с высотами 290, 289 и 288 м.

Интерполирование горизонталей с помощью восковки с нанесенными на ней параллельными и равноотстоящими одна от другой линиями проиллюстрируем на том же самом примере.

Исходя из заданной высоты сечения рельефа ( $h =$

\* Этот способ основан на известном положении геометрии: «Если на одной из двух прямых линий отложить равные отрезки, то проведенные через их концы параллельные прямые при пересечении со второй линией разделят ее на равные части».

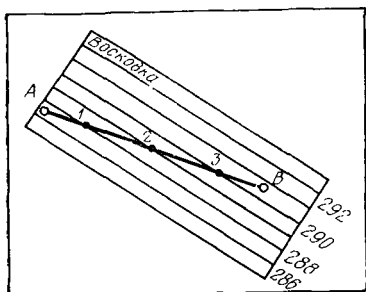


Рис. 117. Интерполирование горизонталей при помощи восковки

В случае, если при выбранном расстоянии между линиями на восковке уложить ее на плане соответственно отметкам точек *A* и *B* невозможно, то следует взять другую восковку с меньшим расстоянием между параллельными линиями. При достаточном опыте интерполирование горизонталей производят на глаз.

При проведении горизонталей через намеченные интерполированием точки учитывают, что: 1) перегибы горизонталей должны находиться на скелетных линиях рельефа; 2) горизонталю должны в общем следовать очертаниям таких объектов ситуации, как озера, болота и т. д.; 3) горизонталю обрываются при пересечении с искусственными сооружениями (спланированные площадки, строения, улицы, площади, дороги, изображенные двойными линиями); 4) при расстояниях между горизонталями свыше 2 см обязательно проводятся полугоризонталю; 5) отдельные вершины и котловины, не выражающиеся основными горизонталями и полугоризонталями, изображаются вспомогательными горизонталями с произвольной высотой сечения.

При составлении плана надо руководствоваться правилом: не переходить к следующей станции, пока не закончена работа на данной.

Проверка плана производится до вычерчивания горизонталей тушью как путем глазомерного сличения плана с местностью, так и выполнением контрольных измерений.

Глазомерное сличение плана с местностью позволяет путем последовательного обхода всей снятой территории

(= 1 м) и отметок точек *A* и *B* производим оцифровку линий на восковке.

Затем, наложив на линию *AB* восковку, перемещаем ее и поворачиваем до тех пор, пока точки *A* и *B* не окажутся между линиями восковки в местах, соответствующих их отметкам. Точки 1, 2 и 3 намечаем на линии *AB*: через них проходят горизонталю с отметками 288, 289 и 290 м (рис. 117).

выявить, нет ли грубых ошибок в положении объектов ситуации и в изображении основных форм рельефа.

Контрольные измерения осуществляются с контрольной станции или вершин поверочного тахеометрического хода, прокладываемого на местности, в отношении качества съемки которой возникают сомнения.

Контрольные пикеты снимаются так же, как обычные пикеты при съемке (см. задание VII.3 и VII.4). Положение контрольных пикетов сравнивают с изображением соответствующих объектов ситуации, а значения высот пикетов, вычисленных по результатам измерений на местности, сопоставляют со значениями, определенными интерполированием между горизонталями.

При оценке допустимости полученных расхождений руководствуются инструкцией по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

4. *Оформление плана в туши* производится в соответствии с общеобязательными условными знаками.

В учебных условиях закрепляются тушью все высотные пикеты.

Если они чрезмерно сгущены, то вычерчивают те из них, которые определили направление горизонталей. Во всяком случае число вычерченных пикетов должно быть порядка 10—12 на квадратный дециметр плана.

Пример. Составить план местности в масштабе 1:2000 с проведением горизонталей через 1 м по высоте по данным, приведенным в примерах в заданиях VI.2 и VII.2.

Координатную сетку строят при помощи малой линейки Ф. В. Дробышева так, как описано в примере к заданию VII.4.

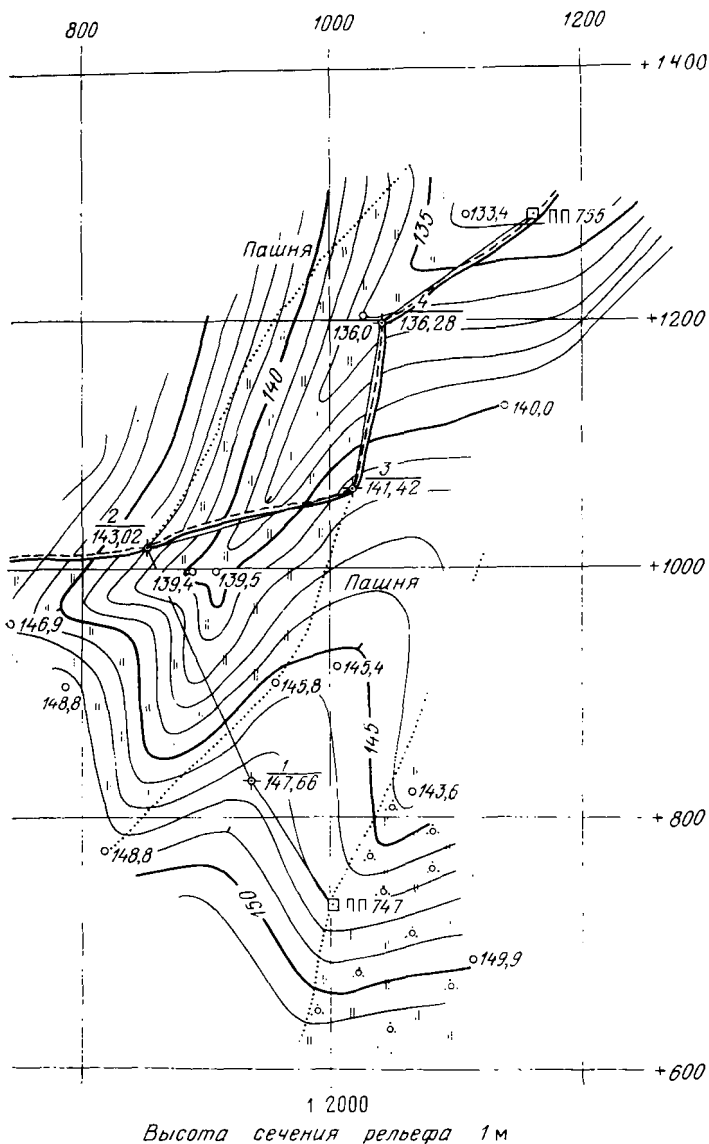
Учитывая вычисленные значения координат вершин тахеометрического хода (см. табл. 46), выходы линий координатной сетки подписывают так:

а) горизонтальные линии (абсциссы): +600, +800, +1000, +1200, +1400 и +1600 м;

б) вертикальные линии (ординаты): +600, +800, +1000, +1200 и +1400 м.

Пункты тахеометрического хода наносим на план по их координатам, руководствуясь указаниями, приведенными в задании VII.4.

Для нанесения на план результатов съемки укладывают транспортир так, чтобы центр его совпал с пунктом



**Рис. 118.** План тахеометрической съемки в масштабе 1 : 2000





ГЛАВА VIII  
НИВЕЛИРОВАНИЕ IV КЛАССА  
И ТЕХНИЧЕСКОЕ

---

Геодезические работы, в результате которых определяются превышения — разности высот точек местности, называются нивелированием. Существует несколько способов нивелирования. В данной главе изучается геометрическое нивелирование, при котором определение превышений основано на принципе горизонтального луча зрения. Основные приборы геометрического нивелирования — нивелиры и нивелирные рейки.

В зависимости от точности высотных определений нивелирование подразделяется на классы: I, II, III, IV и техническое нивелирование. Нивелирование названных классов предназначено для создания государственной высотной опорной сети, техническое нивелирование выполняется для создания высотного обоснования при топографических съемках, для определения продольного профиля при трассировании линейных сооружений (дорог, каналов и т. п.), для определения высот точек при нивелировании поверхности и т. д.

В зависимости от назначения технического нивелирования установлено несколько различающихся между собой допусков и программ производства работ.

### *Задание VIII.1*

#### **Устройство нивелиров и реек**

I. Задача: изучить нивелиры и рейки, применяемые при нивелировании IV класса и техническом.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, § 101—103, 109.

*Инструкция* по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1973.

*Инструкция* по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. М., Недра, 1982.

III. Приборы: нивелир с уровнем (типа Н-3, НЗ, НВ-1, Н-10, НТ); технический нивелир с компенсатором; штатив; комплект нивелирных реек, тетрадь, ручка.

#### IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) изучение устройства нивелиров с уровнями;
- 2) ознакомление с устройством нивелиров с компенсаторами;
- 3) изучение устройства реек.

#### V. Указания по выполнению задания.

1. *Устройство нивелиров с уровнями.* В зависимости от конструкции приспособления для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение различают нивелиры с цилиндрическими уровнями и нивелиры с компенсаторами (их называют нивелирами с самоустанавливающейся линией визирования). Изучение нивелиров следует начинать с нивелиров с уровнями как наиболее простых по конструкции и широко применяемых в производстве.

До настоящего времени для выполнения нивелирования IV класса и технического чаще всего применялись отечественные нивелиры с уровнями НЗ (рис. 119), НТ (рис. 120), труба каждого из которых с наглухо прикрепленным к ней уровнем может поворачиваться на небольшой угол в вертикальной плоскости при помощи элевационного винта 12 (рис. 121).

Рассмотрим схему нивелира НЗ (см. рис. 121). Подставка 3 жестко скреплена с пластинчатой пружиной 1, имеет три подъемные винта 2.

Нивелир снабжен контактными уровнем 5, имеющим призмную систему 6, исправительные винты которого закрыты защитной крышкой 11.

Зрительная труба устанавливается во втулку 4, имеет объектив 7, фокусирующую линзу 8, сетку нитей 9 и окуляр 10.

Нивелиры НЗ и НТ снабжены системой призм, передающих изображения половинок концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения трубы.

Нивелир НТ (рис. 120), схема которого приведена на рис. 122, не имеет закрепительного и наводящего винтов. Наведение трубы на рейку осуществляется вращением зрительной трубы от руки. Вместо подставки НТ имеет шаровую пятую, которая используется при горизонтировании прибора.

В настоящее время согласно государственному стандарту на нивелиры (ГОСТ 10528—76) заводами СССР вместо нивелиров НВ-1, НЗ и НТ будут выпускаться нивелиры Н-3 и Н-10, обеспечивающие определение превы-

Рис. 119. Нивелир НЗ

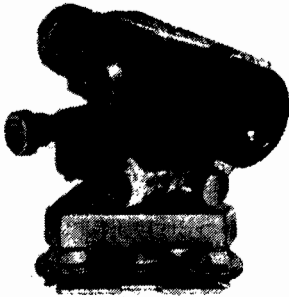
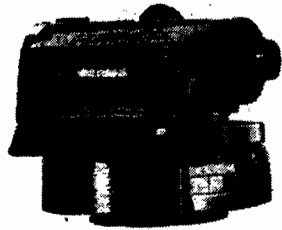


Рис. 120. Нивелир НТ



шений со средней квадратической ошибкой на 1 км двойного хода не более соответственно 3 и 10 мм.

В отечественной практике находят применение при производстве нивелирования IV и технического также нивелиры с уровнями Ni030 и Ni060, выпускаемые народным предприятием К. Цейсс (ГДР).

2. *Ознакомление с устройством нивелиров с компенсаторами.* Из нивелиров с компенсаторами, предназначенных для нивелирования IV класса и технического, известны отечественные нивелиры НС4 и НТСК (Н-10 КЛ).

Нивелир НС4 (рис. 123) имеет призмный компенсатор, автоматически приводящий линию визирования в горизонтальное положение при наклоне трубы в пределах  $\pm 15'$ .

Зрительная труба имеет объектив 1, фокусирующую линзу 2, визирную сетку 5 и окуляр 6.

Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм 3 и 4 (рис. 124). Призма 3 подвешена к верхней части корпуса на двух парах скрещивающихся нитей. Колебания компенсатора гасятся демпфером 8 поршневого типа. Компенсатор снабжен ограничителем 7, предохраняющим нити подвески от обрывов.

Нивелир НТС (рис. 125) имеет призмный компенсатор, состоящий из двух пентапризм: большой 2 и малой 5, склеенных между собой и укрепленных неподвижно на площадке, наглухо скрепленной с корпусом зрительной трубы, и подвижной прямоугольной призмы 6, подвешенной в рамке на двух свободно посаженных ша-

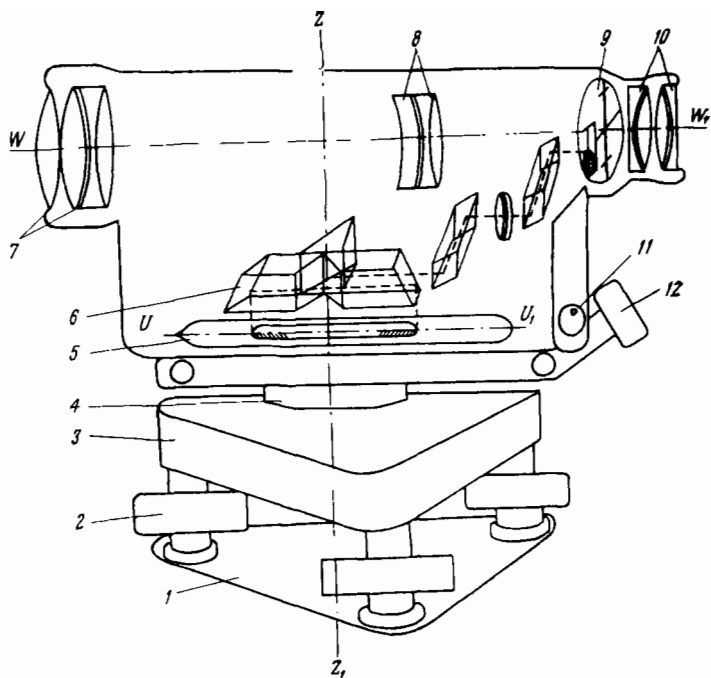


Рис. 121. Схема нивелира НЗ

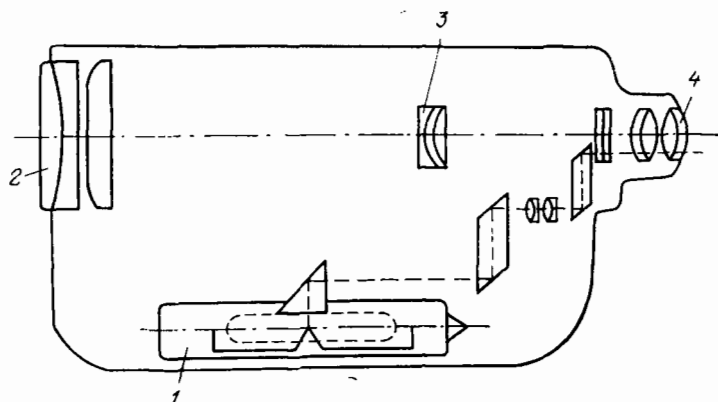


Рис. 122. Схема нивелира НТ:

1 — контактный уровень; 2 — объектив; 3 — фокусирующие линзы; 4 — окуляр

Рис. 123. Нивелир НС4

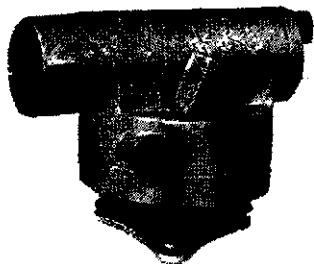
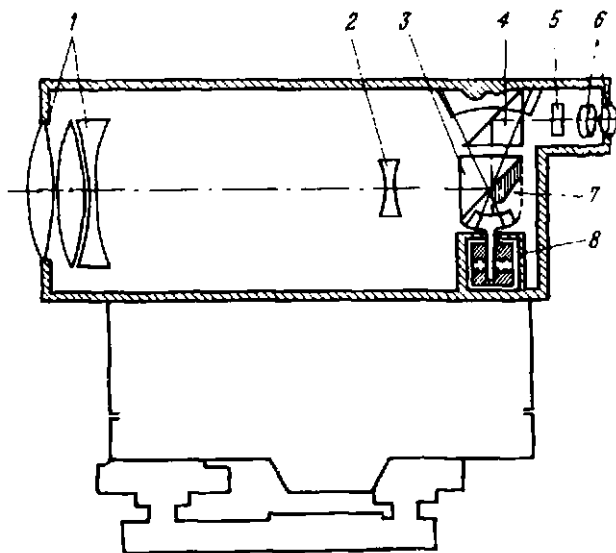


Рис. 124. Схема нивелира НС4



риководшишниках. Колебания гасятся воздушным демпфером. Зрительная труба имеет объектив 1, окуляр 4 и сетку нитей 3. Схема прибора представлена на рис. 126.

Согласно государственному стандарту на нивелиры (ГОСТ 10528—76) вместо нивелиров НС4 и НТС будут выпускаться нивелиры с компенсатором соответственно Н-ЗК и Н-10К. При наличии лимба в приборе в шифр будет добавляться буква Л, т. е. Н-ЗКЛ и Н-10КЛ.

Для производства нивелирования IV класса и технического в СССР распространены нивелиры с компенса-

Рис. 125. Нивелир НТС

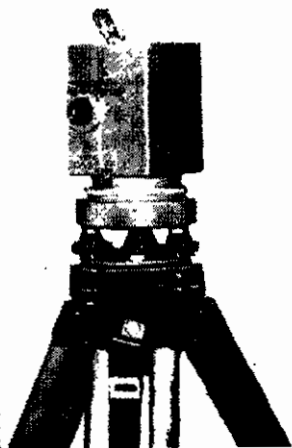
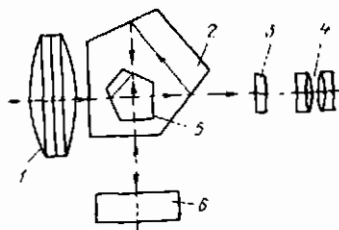


Рис. 126. Схема нивелира НТС



торами, выпускаемые за рубежом: заводом МОМ (ВНР) NiB3, NiB4, NiB5, NiB6 и народным предприятием К. Цейсс (ГДР) Ni025.

При изучении устройства нивелиров особое внимание следует обратить на правила обращения с прибором, на назначение отдельных частей прибора и на усвоение таких понятий, как визирная ось трубы ( $W\bar{W}_1$ ), ось цилиндрического уровня ( $V\bar{V}_1$ ), ось вращения прибора ( $Z\bar{Z}_1$ ), ось круглого уровня.

Результаты изучения нивелира следует оформить в тетради, составив схематический чертеж нивелира с указанием основных его частей и осей.

3. *Устройство реек.* Для производства нивелирования IV класса и технического применяют деревянные или пластмассовые шашечные двусторонние рейки цельные или складные длиной 3 м, или односторонние складные длиной 4 м, что делает их особенно удобными при техническом нивелировании пересеченной местности.

Чаще всего применяются шашечные рейки с ценой деления 1 см и с подписью дециметровых делений.

В наиболее употребительном типе двусторонних реек нуль шкалы основной, черной стороны, совмещен с основанием рейки; на контрольной же, красной стороне, с основанием совмещен некруглый отсчет (обычно равный 4687 или 4787). На черных сторонах реек имеются дециметровые подписи 0—29, а на красных сторонах реек од-

ного комплекта 47—76 и 48—77. Это позволяет контролировать качество отсчетов, правильность чередования реек и правильность записи отсчетов. Встречаются рейки, у которых размер делений на красных сторонах равен 1,1 см. В этом случае превышения, полученные по красным сторонам, чтобы выразить их в миллиметрах, умножают на 1,1. Например, отсчет назад  $a_k = 1144$ , отсчет вперед  $b_k = 2523$ . Превышение  $h_k = (1144 - 2523) \times 1,1 \text{ мм} = -(1379 + 138) = -1517 \text{ мм}$ .

При техническом нивелировании допускается применение двусторонних реек с размером делений основной шкалы 1 см и дополнительной 5 см. Для установки реек в отвесное положение их снабжают круглыми уровнями.

Согласно государственному стандарту на нивелирные рейки (ГОСТ 11158—76) для нивелирования IV класса будут выпускаться нивелирные рейки двусторонние шашечные РН-3, для технического нивелирования двусторонние шашечные РН-10. Рейки длиной 4000 мм (РН-3-4000 и РН-10-4000) должны быть складными, рейки РН-3-3000 могут быть складные и цельные. В обозначениях складных реек после указания длины добавляется буква С. Рейки всех видов могут быть изготовлены с прямой или обратной оцифровкой шкал. В первом случае для обозначения вида рейки добавляется буква П. Например, для рейки нивелирной складной, типа РН-3, длиной 4000 мм для прямого изображения трубы нивелира по ГОСТ 11158—76 применяется условное обозначение: РН-3П-4000С.

**Состав исполнителей и распределение обязанностей**

Инструменты изучает каждый студент.

### *Задание VIII.2*

#### **Исследования нивелиров и реек**

1. Задача: выполнить исследования нивелира (НЗ или НТ). Произвести исследования реек и сделать заключение о возможности применения их при производстве нивелирования.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, § 104.



*Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов.* М., Недра, 1973.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Высотные сети.* М., Недра, 1976.

III. Приборы и принадлежности: нивелир со штативом, комплект шашечных реек, зонт топографический, стальная 20-метровая лента, кольца деревянные, топор, контрольная линейка, журнал исследований и проверок инструментов, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) исследования зрительной трубы;
- 2) определение цены деления уровня нивелира\*;
- 3) определение коэффициента нитяного дальномера;
- 4) определение средней длины метра пары реек;
- 5) исследование дециметровых делений реек;
- 6) определение разностей положения нулей черных и красных сторон реек.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Исследования зрительной трубы.* Исследование производится так, как указано в задании III.3. Результаты записываются в журнал, форма которого приведена в указанном задании.

Для нивелира особо важное значение имеет возможность уверенно оценить части делений рейки, установленной от нивелира на расстоянии 100—150 м. Так как точность этой оценки зависит главным образом от разрешающей способности трубы, то в нивелире основным исследованием трубы является определение ее увеличения.

Увеличение трубы нивелира, применяемого при нивелировании IV класса и техническом, не должно быть соответственно меньше 25 и 20\*.

2. *Определение цены деления уровня нивелира.* Цена деления обычно определяется при помощи рейки. Нивелир и рейку устанавливают на расстоянии 30—40 м друг от друга (рис. 127, б).

Измерение расстояния  $S$  от оси вращения нивелира до плоскости делений рейки производят лентой или рулеткой. Наводят трубу на рейку. Если нивелир не имеет элевационного винта, то его подставка должна быть ус-

---

\* Для нивелиров с компенсаторами определяют погрешности работы компенсатора.

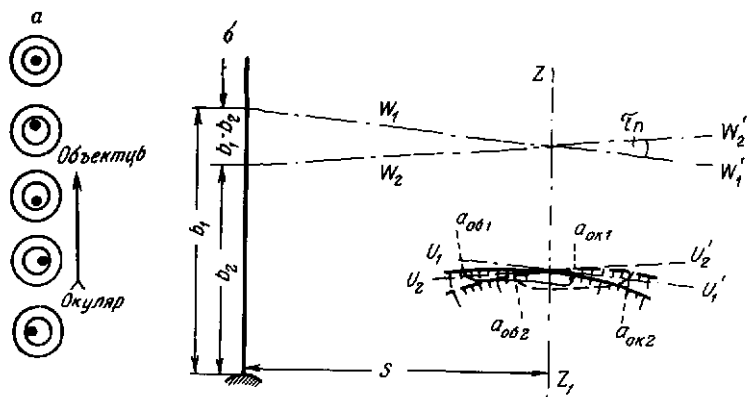


Рис. 127. Определение цены деления уровня по рейке

тановлена так, чтобы по направлению к рейке располагался один из подъемных винтов. Вращением этого подъемного винта, а в нивелире с элевационным винтом — вращением последнего смещают пузырек уровня относительно нуля-пункта так, чтобы концы пузырька располагались по обе стороны от неразделенной части ампулы и можно было сделать отсчеты по объективному и окулярному концам уровня  $a_{об}$  и  $a_{ок}$ . Для контроля записи и вычислений отсчетам по объективному концу пузырька  $a_{об}$  обычно приписывают знак плюс, а отсчетам по окулярному концу  $a_{ок}$  — знак минус.

Одновременно с отсчетами  $a_{об1}$ ,  $a_{ок1}$  по шкале уровня, округленными до 0,2 деления, делают отсчет  $b_1$  по

Таблица 61

Номер прие-ма	Расстояния, м	Отсчеты по концам пузырька		$\frac{a_{об} + a_{ок}}{2}$	Отсчеты по рейке $b$ , мм	$\tau'$
		$a_{об}$	$a_{ок}$			
1	40	+6,5	-0,3	+3,1	1368	25
	Разность	+1,0	-5,8	-2,4	1341	
		+5,5	+5,5	+5,5	+27	
2	35	+7,2	-0,6	+3,3	1420	22
	Разность	+0,6	-7,4	-3,4	1395	
		+6,6	+6,8	+6,7	+25	

рейке, выражая его в миллиметрах. Отсчеты записывают в журнал формы, приведенной в табл. 61. Затем, действуя элевационным, а при отсутствии его подъемным винтом, по направлению которого установлена труба, перемещают пузырек уровня к другому краю трубки уровня и делают отсчеты по концам пузырька уровня  $a_{об2}$ ,  $a_{ок2}$  и по рейке  $b_2$ .

Разность отсчетов по рейке  $b_1 - b_2$  соответствует перемещению пузырька на  $n$  делений, причем:

$$\left. \begin{aligned} n &= a_{об1} - a_{об2}; \\ n &= a_{ок1} - a_{ок2}; \\ n &= \frac{a_{об1} + a_{ок1}}{2} - \frac{a_{об2} + a_{ок2}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{VIII.1})$$

Расхождения между значениями  $n$ , вычисленными по каждой из приведенных формул, не должны быть более 0,2 деления уровня.

Дополнительным контролем правильности записи отсчетов  $b_1$  и  $b_2$  по рейке является то обстоятельство, что разность этих отсчетов должна иметь такой же знак, как и  $n$ . Цена деления уровня  $\tau$  вычисляется по формуле

$$\tau'' = \frac{\rho (b_1 - b_2)}{Sn}, \quad (\text{VIII.2})$$

где  $\rho$  — радиан.

Если принять  $\rho = 206,265''$ , разность  $b_1 - b_2$  выразить в миллиметрах, а расстояние  $S$  в метрах, то значение  $\tau$  в секундах равно

$$\tau = \frac{206'' (b_1 - b_2)}{Sn}. \quad (\text{VIII.2, a})$$

Вычисление  $\tau$  удобно производить на логарифмической линейке, округляя результат до целых секунд. Цепу деления уровня определяют не менее двух раз при отличающихся друг от друга расстояниях до рейки и с перемещением пузырька на различное число делений.

В условиях учебной практики число присмов определения цены деления уровня равно числу студентов в бригаде.

Расхождения  $\Delta\tau$  между значениями  $\tau$ , полученные при отсчитывании по рейке с сантиметровыми делениями, не должны превосходить

$$\Delta\tau = \frac{800''}{Sn}. \quad (\text{VIII.3})$$

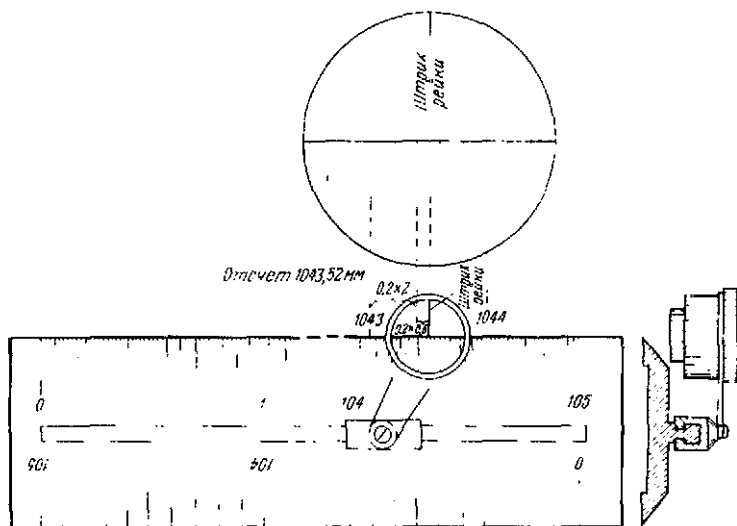


Рис. 128. Пример отсчета по контрольной (женевской) линейке

В примере, приведенном в табл. 61,  $\Delta\tau=7''$ . Цена деления уровня нивелира, применяемого при нивелировании IV класса и техническом, согласно требованиям инструкций, не должна быть соответственно более 25 и 45''\*.

3. *Определение коэффициента нитяного дальномера.* Коэффициент дальномера определяют для того, чтобы

\* Для нивелиров с компенсаторами определяют погрешности работы компенсатора. Для этого устанавливают нивелир в створе между рейками, расстояние между которыми равно 100 м, и делают пять определений превышений поочередно при положении круглого уровня, указанного на рис. 127, а. Описанная последовательность измерений составляет один прием. Таких приемов должно быть сделано не менее пяти (между приемами меняют горизонт прибора).

Систематическую погрешность компенсации  $\sigma_k$  на  $l'$  наклона оси нивелира вычисляют по формуле

$$\sigma_k = \frac{(h_v - h_0) \rho''}{2S_v}, \quad (\text{VIII.3, a})$$

где  $h_\tau$  — среднее превышение при наклоне оси нивелира на угол  $v$ ,  $h_0$  — среднее превышение при отсутствии наклона оси нивелира;  $S$  — длина визирного луча.

Систематическая погрешность работы компенсатора при наклоне оси нивелира на  $l'$  не должна превышать 0,5''.

следить за удалением реек относительно нивелира на каждой станции хода и для вычисления общей длины хода. Порядок определения коэффициента описан в задании IV.6.

4. *Определение средней длины метра пары реек.* Среднюю длину метра определяют при помощи контрольной (так называемой женовской) линейки, длина которой несколько больше 1 м. Линейка имеет скошенные ребра, на одном из которых нанесены миллиметровые деления, а на другом — деления, равные 0,2 мм (рис. 128).

Общая длина шкалы линейки равна 1 м. Для облегчения отсчитывания по шкалам линейка имеет две лупы, а для учета температуры — термометр. Отсчеты по шкале производят с точностью до 0,1 деления шкалы, т. е. до 0,02 мм. Исследуемую рейку кладут так, чтобы она не провисала, а на ее поверхность укладывают линейку.

Измерение длин черных сторон реек (рис. 129) производится по интервалам 1—10, 10—20, 20—29 дм, а красных — 47—56, 56—66, 66—75 и 48—57, 57—67, 67—76 дм.

Определение длин интервалов выполняют при двух положениях линейки, перемещая ее сначала в прямом, а затем в обратном направлении.

При измерении температура линейки отсчитывается с точностью до 0,1 °С. Расхождение между полученными дважды значениями длин измеряемых интервалов не должно быть более 0,1 мм.

Результаты исследований записывают в ведомость, форма которой приведена в табл. 62. На основании исследований вычисляют длину метра черной и красной сторон пары реек и среднюю длину метра данной пары реек.

Характеристикой хорошего качества реек и подбора пары реек служит равенство средней длины метра на всех сторонах реек.

Согласно государственному стандарту на нивелирные рейки (ГОСТ 11158—76) допустимая разность между средней длиной метра пары реек комплекта для нивелирования IV класса и технического соответственно 0,8 и 1,5 мм.

Определение средней длины метра пары реек требуется для введения соответствующей поправки в сумму пре-

### Исследование реек

Определение средней длины одного метра черной стороны рейки № 4

Эталон: железная линейка № 321

Уравнение длины эталона  $l = 1000 + 0,008 + 0,019 (t = 16,8^\circ\text{C})$  мм

Часть рейки	Температура $t$	Отсчеты по линейке, мм		П-Л, мм	Среднее $(l) - (L)$ , мм	Общая поправка за длину линейки и температуру, мм	Длина частей рейки $l$ , мм	Примечание
		по левому концу Л	по правому концу П					
1-10	+19,0 °C	0,00	900,00	900,00	900,00	+0,05	900,05	Длина 1 м рейки = $\frac{[l]}{n}$
		0,16	900,16	900,00				
10-20		0,26	1000,24	999,98	1000,00	+0,05	1000,05	[l] -- сумма длин частей мм
20-29		0,34	1000,36	1000,02	900,30	+0,05	900,35	л -- число метров рейки
		0,10	900,38	900,28				

### Прямой ход

29—20	0,00	900,36	800,36	900,36	900,36	+0,05	900,41
20—10	0,30	900,66	900,36	1000,06	1000,05	+0,05	1000,10
10—1	0,32	1000,36	1000,24	899,96	899,95	+0,05	900,00
	0,00	899,96	899,96	900,08			
	0,14	900,08	899,94				
Сум- ма	2,04	11203,36	11201,32	5600,66	5600,66	+0,30	5600,95

$$\text{Средняя длина одного метра} = \frac{5600,95}{5,6} = 1000,17 \text{ мм}$$

Определение произвел Иванов

вышения при окончательном вычислении результатов нивелирования.

5. *Исследование дециметровых делений реек.* Дециметровые деления исследуют для определения случайных ошибок. Укладывают линейку на поверхность рейки и совмещают нулевой штрих шкалы с лезвием бритвы, плотно прижатом к пятке рейки. Подписи делений на линейке и рейке должны возрастать слева направо. Удерживая линейку в неподвижном положении, делают по ее шкале отсчеты у штрихов, ограничивающих каждый дециметр в пределах одного метра рейки.

Для контроля и большей точности измерений производят вторую серию отсчетов, немного сдвинув линейку влево. Колебания разностей отсчетов в пределах одного метра не должны быть большими 0,1 мм.

Затем производят измерения на следующих двух метрах рейки.

Результаты измерений записывают в ведомость, форма которой приведена в табл. 63. У двусторонних реек измерение дециметровых промежутков производят по обеим сторонам реек.

На основании этих исследований решают вопрос о пригодности реек к работе.

Согласно руководству ошибки дециметровых делений не должны превышать 0,6 мм у реек, предназначенных для нивелирования IV класса, и 1,0 мм для технического нивелирования. Отклонение нулевого деления черной стороны рейки от плоскости пятки не должно превышать 0,5 мм для реек, предназначенных для нивелирования IV класса, и 1,0 мм для технического нивелирования. Эти определения производят одновременно с определением ошибок дециметровых делений рейки.

Для определения разностей положения нулей черных и красных сторон реек делают отсчеты по красной и черной сторонам обеих реек, установленных поочередно на расстоянии 20—30 м от нивелира. При отсчетах по рейке пользуются средней нитью. Результаты измерений рекомендуется записывать в журнал, форма которого приведена в табл. 64.

Таких определений должно быть выполнено не менее пяти. После каждого определения рейки устанавливают на новую точку, выбранную так, чтобы отсчеты по рейкам возможно больше отличались от предыдущих.



## Исследование реек

Исследование случайных ошибок дециметровых делений черной стороны рейки № 43.

Эталон: женеvская линейка № 321

Уравнение эталона  $l = 1000 + 0,008 + 0,019 \cdot l' \quad (l' = 16,8^\circ)$  мм

Черная сторона

Номер дециметров	Отсчеты по линейке, мм		Разности $a_1 - a_2$ , (0,01 мм)	Среднее из отсчетов $a$ , мм	Ошибки дециметровых делений $\Delta'$ , мм	Случайные ошибки дециметровых делений рейки $\Delta$ , мм
	1-е положение $a_1$	2-е положение $a_2$				
0	0,00	32	+32	0,16		
1	100,26	60	+34	100,43	+0,27	+0,25
2	200,18	46	+28	200,32	+0,11	-0,13
3	300,30	62	+32	300,46	-0,14	+0,12
4	400,44	79	+35	400,62	+0,16	+0,14
5	500,64	94	+30	500,79	-0,17	+0,15
6	600,38	66	+28	600,52	+0,27	-0,29
7	700,30	60	+30	700,45	-0,07	-0,09
8	800,36	66	30	800,51	-0,06	+0,04
9	900,38	68	+30	900,53	+0,02	0,00
10	1000,38	70	+32	1000,54	+0,01	-0,01
10	0,00	32	+32	0,16		
11	100,10	40	+30	100,25	+0,09	+0,07
12	200,06	38	+32	200,22	-0,03	-0,05
13	300,16	48	+32	300,32	+0,10	+0,08
14	400,26	60	+34	400,43	+0,11	+0,09
15	500,39	74	+35	500,56	+0,13	+0,11
16	600,20	48	+28	600,34	-0,22	-0,24
					-0,18	-0,20

Номер дециметров	Отсчеты по линейке, мм		Разности $a_1 - a_2$ (0,01 мм)	Среднее из отчетов $a$ , мм	Ошибки дециметровых делений $\Delta^1$ , мм	Случайные ошибки дециметровых делений рейки $\Delta$ , мм
	1-е положение $a_1$	2-е положение $a_2$				
17	700,00	32	+32	700,16	+0,25	+0,23
18	800,24	58	+34	800,41	-0,12	-0,14
19	900,14	44	+30	900,29	-0,10	-0,12
20	1000,00	38	+38	1000,19		
20	0,00	26	+26	0,13	+0,16	+0,14
21	100,16	42	+26	100,29	-0,14	-0,16
22	200,04	26	+22	200,15	+0,18	+0,16
23	300,20	46	+26	300,33	-0,07	-0,09
24	400,14	39	+25	400,26	-0,03	-0,05
25	500,08	38	+30	500,23	-0,00	-0,02
26	600,10	36	+26	600,23	+0,07	+0,05
27	700,16	44	+28	700,30	+0,13	+0,11
28	800,28	58	+30	800,43	0,00	-0,02
29	900,28	58	+30	000,43	0,00	-0,02
30	1000,28	58	+30	1000,43		

Примечания. Ошибки дециметровых делений вычисляются по формуле

$$\Delta_i = (a_{i+1} - a_i - 100).$$

Систематическая ошибка дециметрового деления, вычисляемая по формуле  $\sigma = |\Delta^1|/n$ , для нашего примера

$$\sigma = +0,70/30 = +0,02 \text{ мм.}$$

Случайные ошибки дециметровых делений вычисляются по формуле

$$\Delta_i = \Delta_i^1 - \sigma.$$

Наибольшая случайная ошибка дециметрового деления равна  $-0,29$  м.

Исследования произвел И. И. Назнов

Номер приема	Рейка № 1			Рейка № 2			II—I
	Отсчеты по сторонам		Разность отсчетов I	Отсчеты по сторонам		Разность отсчетов II	
	красной	черной		красной	черной		
1	5492	0809	4683	5592	0809	4783	+100

Определение разностей различных сторон пары реек необходимо для контроля чередования реек при нивелировании и правильности записи отсчетов.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Исследования нивелира и реек выполняет каждый студент, причем также каждый студент исследует самостоятельно одну сторону одной рейки.

#### Задание VIII.3

#### Поверки нивелира и реек

I. Задача: выполнить поверки нивелира и реек, предназначенных для нивелирования IV класса или технического нивелирования.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра. 1967, § 103, 106.

III. Приборы и пособия: нивелир со штативом, две нивелирные рейки, зонт топографический, деревянные колья, топор, журнал исследований и поверок приборов, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) поверки нивелира;
- 2) поверки реек.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Поверки нивелира.* У нивелиров с элевационным винтом и нивелиров с компенсаторами должны быть выполнены следующие поверки:

а) *поверка параллельности оси круглого уровня и оси вращения прибора.*

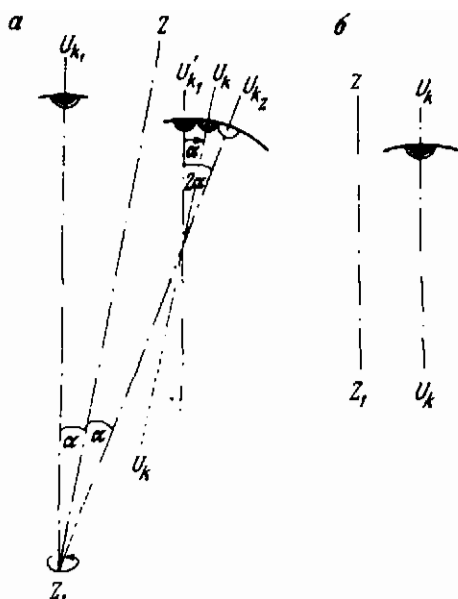


Рис. 130. Поверка круглого уровня

Круглый уровень поверяется и исправляется (рис. 130, а) так же, как цилиндрический уровень на алидаде горизонтального круга теодолита (см. задание III.4).

В рабочем положении прибора ось  $ZZ_1$  вращения нивелира и ось  $U_k U_k$  круглого уровня должны занимать вертикальное положение (рис. 130, б);

б) *поверка перпендикулярности горизонтальных нитей сетки к оси вращения нивелира.*

Для проверки этого условия горизонтируют прибор и делают отсчеты по вертикально установленной рейке сначала у одного края поля зрения трубы, а затем у другого. В случае получения различных отсчетов исправление производят поворотом сеточного кольца;

в) *поверка главного условия.*

В нивелирах с цилиндрическим уровнем главным условием является параллельность визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня, в нивелирах с компенсаторами — правильность приведения компенсатором линии визирования в горизонтальное положение при наклоне

оси вращения нивелира в определенных пределах\*.

Проверка главного условия нивелира производится путем нивелирования одной и той же линии местности длиной 50–70 м в прямом (рис. 131, а) и обратном (рис. 131, б) направлениях.

Для этого сначала нивелир устанавливают так, чтобы окуляр трубы находился над точкой А, и рейкой измеряют высоту прибора  $a_1$ , затем наводят трубу на рейку, установленную в точке В (см. рис. 131, б), и делают отсчет  $b_1$ , предварительно приведя пузырек уровня в нуль-пункт. Аналогичным образом определяют  $a_2$  и  $b_2$ , поменяв прибор и рейку местами.

Результаты измерений рекомендуется записывать в журнал, форма которого приводится в табл. 65.

Невыполнение главного условия приводит к появлению угла  $i$  нивелира, значение которого вычисляется по формуле

$$i = \frac{[(a_1 + a_2) - (b_1 + b_2)] \rho}{2S} \quad (\text{VIII.4})$$

Если  $i$  больше  $10''$ , то у нивелиров с элевационным винтом добиваются при помощи элевационного винта, чтобы по рейке, установленной в точке А, был прочитан

\* До проверки главного условия в нивелире с цилиндрическим уровнем желательно убедиться, что ось последнего и визирная ось трубы лежат в отвесных параллельных плоскостях. Для этого прибор горизонтируют и, установив трубу перпендикулярно к отвесной плоскости, проходящей через два подъемных винта, тщательно приводят элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, делают отсчет по рейке, установленной на расстоянии около 75 м. Затем вращением упомянутых подъемных винтов на три оборота наклоняют нивелир сначала влево, делая отсчет  $b_1$  по рейке, а затем вправо, делая отсчет  $b_2$ . В момент отсчитывания по рейке пузырек цилиндрического уровня должен находиться в нуль-пункте. Если при  $\frac{1}{2}(b_1 + b_2) - b_3 \ll 3$  мм разность  $(b_1 - b_2) \ll 8$  мм и при наклоне нивелира в каждую сторону пузырек уровня отклоняется от нуль-пункта не более чем на одно деление, то можно считать, что ось цилиндрического уровня и визирная ось трубы находятся в параллельных отвесных плоскостях. В противном случае боковыми исправительными винтами при цилиндрическом уровне перемещают окулярный конец оправы уровня до тех пор, пока отсчет  $b_1$  или  $b_2$  будет равен  $b_3$ , т. е. ближе к визирной оси, если  $(b_1 - b_2) > 0$  и дальше, если  $(b_1 - b_2) < 0$ .

Влияние непараллельности отвесных плоскостей, в которых находятся оси цилиндрического уровня и визирная ось трубы, на точность нивелирования IV класса и технического столь незначительно, что иногда описанную проверку нивелиров, предназначенных для выполнения такого рода работ, не производят.

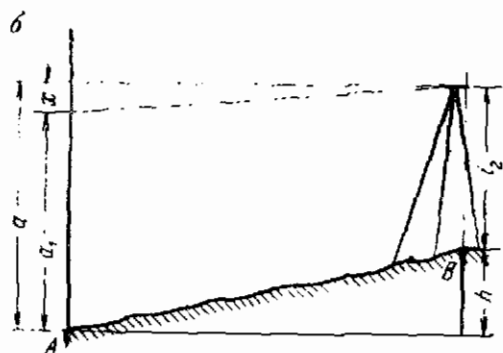
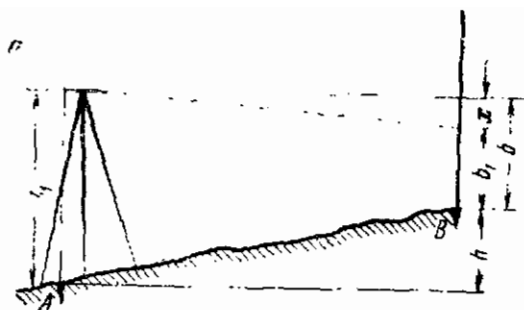


Рис. 131. Проверка главного условия в нивелир



Рис. 132. Проверка постоянства положения визирной оси трубы нивелира

отсчет  $a = a_1 + x$  ( $1819 - 1814 + 5$ ). Возникшее смещение пузырька уровня из нуля-пункта устраняется вертикальными винтами уровня.

У нивелиров с компенсаторами установка отсчета  $a_1 + x$  выполняется исправительными винтами сетки ни-

Тип и номер нивелира: НЗ № 0000  
 Расстояние между точками  $S = 50$  м

Номер станции	Высота нивелира $a$ , мм	Отсчеты по рейке $b$ , мм	$(a_1 - a_2) - (b_1 - b_2)$ , мм	$x = \frac{1}{2}[(a_1 + a_2) - (b_1 + b_2)]$ , мм	$i$
До исправления					
1	1562	1238	-10	+5	+20"
2	1500	1814			
	3062	3052			
После исправления					
3	1500	1819	+2	+1	4"
4	1458	1137			
	2958	2956			

тей или поворотом защитного стекла, выполненного в виде оптического клина, вокруг своей оси. В описаниях приборов указывается, каким способом лучше выполнять исправления;

г) *проверка постоянства положения визирной оси при изменении фокусировки трубы.*

На выбранной примерно горизонтальной площадке местности устанавливают в точке  $I_1$  нивелир и закрепляют кольями две точки  $A$  и  $B$  (рис. 132), находящиеся на одинаковом расстоянии (40—50 м) от прибора. Производят отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  по рейкам, установленным в точках  $A$  и  $B$ .

Поскольку расстояния  $I_1A$  и  $I_1B$  равны, то фокусировка трубы не меняется.

Затем переносят нивелир в точку  $I_2$  и делают отсчеты  $a_2$  и  $b_2$  по рейкам, установленным в тех же точках  $A$  и  $B$ . Так как  $I_2A < I_2B$ , то фокусировка трубы изменится.

Результаты измерений записывают в журнал, форма которого приведена в табл. 66.

Рис. 133 Проверка постоянства положения визирной оси трубы нивелира

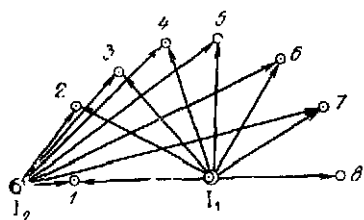


Таблица 66

Обозначение точек установки		Отсчеты по рейкам $a, b$ , мм	Превышение $h$ , мм
нивелира	реек		
$I_1$	A	1451	-150
	B	1601	
	A	1401	
$I_2$	B	1552	-151

Для более тщательной проверки постоянства положения визирной оси при изменении фокусировки трубы на местности закрепляют не две точки, а 7—8, находящихся на равном расстоянии от точки (рис. 133).

Установив нивелир в точке  $I_1$ , производят отсчеты по рейке, установленной последовательно в точках 1, 2, ... 8, затем переносят нивелир в точку  $I_2$  и производят отсчеты по рейке, установленной последовательно в тех же точках. Результаты измерений рекомендуется записывать в журнал, форма которого приведена в табл. 67.

Если расхождения между превышениями  $h_1 = a_1 - b_1$  и  $h_2 = a_2 - b_2$  (см. табл. 66, 67) больше 4 мм, то прибор должен быть отремонтирован. Им, однако, можно работать при нивелировании из середины.

Таблица 67

Номер точки установки рейки	Отсчеты по рейкам, мм		Превышения, мм		$h_1 - h_2$ , мм
	$a$	$b$	$h_1$	$h_2$	
1	1451	1370	+150	+148	+2
2	1601	1518	+206	+205	+1
...					
8	1647	1565	+196	+195	+1



2. Поверки реек: а) поверка качества изготовления рейки.

Рейка не должна быть покороблена, раскраска не должна быть потерта, пятка должна быть плоскостью, перпендикулярной к оси рейки. У складных реек должны быть правильно соединены отдельные части рейки, т. е. деления одной части должны являться продолжением другой части. Исследование покоробленности рейки выполняется с помощью нити (бичевы), натянутой вдоль всей рейки. Расстояние между нитью и поверхностью рейки не должно быть согласно государственному стандарту на нивелирные рейки (ГОСТ 11158—76) более: РН-3—6 мм, для РН-10—10 мм;

б) поверка параллельной оси круглого уровня плоскости рейки.

Если в момент установки рейки в отвесное положение с помощью нитяного отвеса или нивелира пузырек круглого уровня не находится в нуль-пункте, то исправительными винтами надо привести его в нуль-пункт.

Состав исполнителей и распределение  
обязанностей

Поверку нивелира и реек выполняет полностью каждый студент.

#### Задание VIII.4

**Производство нивелирования IV класса  
и технического, применяемого при создании высотных  
сетей для топографических съемок**

I. Задача: между двумя реперами с известными высотами положить разомкнутый нивелирный ход.

II. Литература: *Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов*. М., Недра, 1973.

*Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 500*. М., Недра, 1982.

*Инструкция по вычислению нивелировок*. М., Недра, 1971.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500*. Высотные сети. М., Недра, 1976.

III. Приборы и принадлежности: нивелир со штативом, две нивелирные рейки, два башмака (или костыля), зонт топографический, топор, журнал нивелирования IV класса, ручка.

#### IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) рекогносцировка нивелирного хода и закладка знаков;
- 2) привязка нивелирного хода;
- 3) проложение нивелирного хода.

#### V. Указания по выполнению задания.

1. *Рекогносцировка нивелирного хода и закладка знаков.* Во время рекогносцировки выбирают места, наиболее удобные для закладки знаков. При этом необходимо учитывать, чтобы была обеспечена долговременная сохранность, а также удобство дальнейшего их использования.

Нивелирный ход, прокладываемый в учебных целях, закрепляют временными знаками (столбами, используют удобные для установки рейки выступы зданий и другие местные предметы) через 500—600 м. Если необходимо на нивелирной трассе заложить один или два постоянных знака, роют котлован глубиной 1,8—2,0 м, утрамбовывают его дно, устанавливают монолит так, чтобы верх трубы (или рельса) с маркой находился ниже поверхности земли примерно на 30 см, и засыпают яму песком, землей, причем над репером насыпают курган с канавой вокруг (рис. 134). Конструкции применяемых нивелирных знаков рассматриваются в инструкциях по нивелированию и по топографической съемке.

Для каждого постоянного нивелирного знака составляют глазомерный план местности с зарисовкой и описанием его местоположения (рис. 135).

2. *Привязка нивелирного хода.* При привязке к грунтовым и стенным реперам с полочкой устанавливают рейку на репере, высота которого известна, и производят отчет.

Для привязки нивелирного хода к стенной марке применяется специальная подвесная реечка. Если реечки нет, на стену с маркой проецируют нити сетки трубы нивелира таким образом, чтобы вертикальная нить проходила через точку марки, высота которой известна (рис. 136, а).

Затем при помощи линейки с миллиметровой шкалой измеряют расстояния  $l$  между центром марки и проекцией каждой нити. Если нить проецируется выше центра марки, то расстояние считают положительным, а в противоположном случае — отрицательным. Измеренные расстояния  $l_1$  и  $l_2$  (см. рис. 136, а) с соответствующими

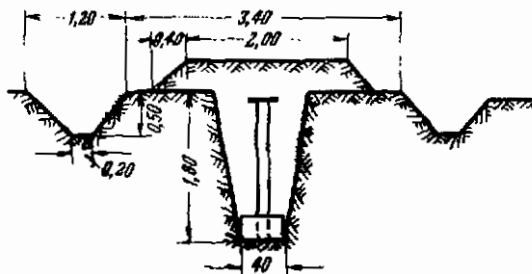


Рис. 134. Оформление постоянного грунтового репера

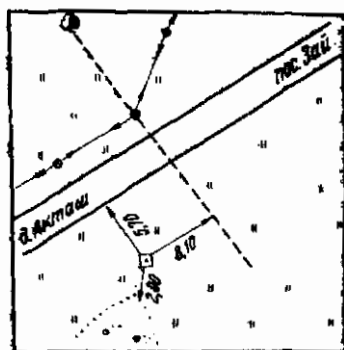


Рис. 135. Абрис расположения грунтового репера

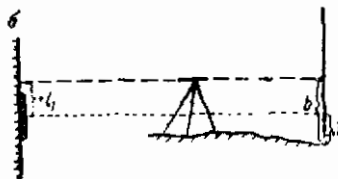
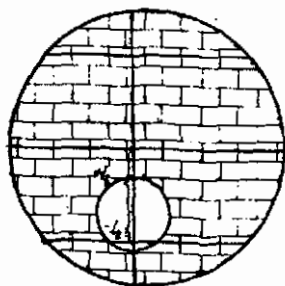


Рис. 136. Привязка нивелирного хода к стенному реперу

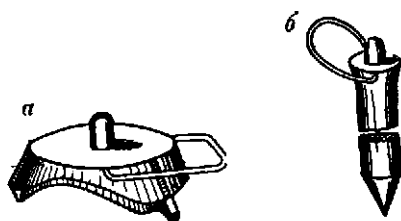


Рис. 137. Башмак, костыль

знаками могут быть использованы как отсчеты по рейке при вычислении превышений и расстояний на станции. На полях нивелирного журнала делается зарисовка привязки по образцу (рис. 136, б).

3. *Проложение нивелирного хода.* Нивелирные ходы IV класса и технического нивелирования прокладывают в одном направлении.

Нивелирование производят способом из середины. Рейки устанавливают на башмаки (рис. 137, а) или костыли (рис. 137, б).

При выборе точки установки нивелира необходимо, чтобы расстояние от прибора до задней рейки, измеряемое шагами или дальномером, было в нивелирном ходе IV класса 75—100 м, а в ходе технического нивелирования 120 м и отсчет по рейке по средней нити был не меньше 200 мм. Передний башмак может устанавливаться как на одной прямой с задним башмаком и прибором, так и в стороне, но на расстоянии, отличающемся от расстояния между нивелиром и задней рейкой не более чем на 5 м в нивелирном ходе IV класса и не более чем на 10 м в ходе технического нивелирования.

При благоприятных условиях можно расстояния до реек (длины плеч) доводить до 150 м в нивелирном ходе IV класса, если применяется нивелир с увеличением трубы более  $30^{\times}$ , и до 200 м в ходе технического нивелирования.

В момент отсчитывания рейка должна занимать вертикальное положение, что проверяется по круглому уровню, прикрепленному к рейке. Если уровня нет, допускается качание рейки по направлению к нивелиру и от него, если отсчет по рейке не меньше 1 м. Перед отсчитыванием по рейке пузырек цилиндрического уровня нивелира должен быть приведен в нуль-пункт при помощи

элевационного винта или вращением того подъемного винта, в направлении которого установлена труба.

При нивелировании IV класса отсчеты по двусторонним рейкам производят в такой последовательности.

1. Отсчеты по черной стороне задней рейки, по средней (0363) и верхней дальномерной (0072) нитям (см. табл. 68).

2. Отсчеты по черной стороне передней рейки, по средней (1694) и верхней дальномерной (1388) нитям.

3. Отсчет по красной стороне передней рейки, по средней нити (6476).

4. Отсчет по красной стороне задней рейки, по средней нити (5043).

При применении односторонних реек вместо отсчетов по красным сторонам реек производят вторичные отсчеты по рейкам, изменив высоту нивелира не менее чем на 100 мм (нивелирование при двух горизонтах).

Результаты нивелирования записываются в журнал, образец которого для случая применения двусторонних реек приведен в табл. 68.

Числа в скобках указывают последовательность заполнения журнала.

Т а б л и ц а 68

Номер станции, реек	Дальномерные расстояния, мм	Отсчеты по рейке		Превышения, мм	Средние превышения, мм
		задней	передней		
1	рейка I на репере 32	0072 (2) 0363 (1)	1388 (4) 1694 (3)	—1331 (11)	
1—2	291 (7) 306 (8)	5043 (6) 4680 (9)	6476 (5) 4782 (10)	—1433 (12) +102 (14)	—1332 (13) —15/—15 (15)
2		0899 1132	2167 2392	—1260 —1160	—1250
2—1	233 255	5915 4783	7075 4683	—100	+8;-7
Постраничный контроль	1085	12453 17637 —5184	17637	—5184 —2592	—2592

Расхождение между разностями отсчетов по средним нитям (4680 и 4782) по обеим сторонам каждой рейки не должны отличаться от заранее определенного значения (100 мм) этой разности более чем на 3 мм, а превышения, полученные по черным (—1331 мм) и красным (—1433 мм) сторонам реек с учетом разности отсчетов по красным сторонам (100), — более чем на 5 мм.

Так как неравенство плеч на станции не должно превосходить 5 м, или 50 мм в дальномерных единицах при коэффициенте дальномера равным 100, а на станции при помощи дальномера определяют половины расстояний от нивелира до реек, то расхождение между ними (291—306) не должно быть более 25 мм. Накопление неравенства плеч (—15; —7) в секции не должно быть более 10 м, что для половины расстояний соответствует в дальномерных единицах 50 мм. Если нивелир имеет коэффициент дальномера, равный 200, то расстояниям 5 и 10 м соответствуют в дальномерных единицах 25 и 50 мм.

Отсчеты при техническом нивелировании при создании сетей съемочного обоснования производят в том же порядке и в той же последовательности, что и при нивелировании IV класса, исключая лишь отсчеты по верхним дальномерным нитям, а в графу 2 журнала (табл. 69) записывают расстояния, измеренные шагами или

Таблица 69

Номер станции, реек	Расстояние, мм	Отсчеты по рейке		Превышения, мм	Средние превышения, мм
		задней	передней		
1	2	3	4	5	6
1	95	0345	1885	—1540	
—	98	5025	6668	—1643	—1542
1—2	106	4680	4783	+ 103	
	106	0610	2744	—2134	
2	102	5392	7426	—2034	—2134
—		4782	4682	— 100	
2—1					
Постраничный контроль	401	11372 18723 —7351	18723	—7351 —3676	—3676

дальномером в метрах. При техническом нивелировании применяют те же журналы, что и при нивелировании IV класса.

Вычисления превышений на станции и все контрольные вычисления выполняют в том же порядке, что и при нивелировании IV класса.

Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции при техническом нивелировании не должно превосходить 10 м, а накопление этих неравенств в секции — 50 м.

После контроля работы на станции нивелир переносят на следующую станцию, задний реечник вынимает башмак (или костыль) и переходит вперед, выбирая место для рейки, которая теперь становится передней. Последовательность знаков плюс и минус в нивелирном журнале у разностей нулей реек свидетельствует о правильности их чередования. Число станций в секции желательно делать четным, чтобы исключить влияние ошибок за несовпадение начального отсчета с пяткой рейки.

Все сказанное выше останется в силе при нивелировании с односторонними рейками с той лишь разницей, что вместо разности отсчетов по двум сторонам рейки вычисляют разности отсчетов по каждой рейке при двух горизонтах прибора: расхождение между ними не должно быть более 5 мм.

Перед перерывом в работе следует на местности оставлять башмаки и взять отсчет по рейке, установленной на специально забитом коле. Для того чтобы обеспечить сохранность и неизменность положения башмаков, их устанавливают в ямках глубиной 0,3 м, покрывают травой и присыпают землей. Если после перерыва превышение между башмаками будет отличаться от его значения, определенного до перерыва, то на той же станции делают отсчеты по рейке, установленной на коле, и, вычислив превышения между ним и каждым башмаком, определяют, какой башмак изменил свое положение, и нивелирный ход продолжают от башмака, сохранившего свое положение.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей.

Задание выполняет бригада из четырех студентов: наблюдатель; помощник наблюдателя и два реечника. Каждый член бригады последовательно выполняет все

обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

### Задание VIII.5

#### Обработка результатов нивелирования IV класса и технического, применяемого при создании высотных сетей для топографической съемки

I. Задание: вычислить отметки реперов нивелирного хода.

II. Литература: Чебогарев А. С. Геодезия. Ч. I. М., Геодезиздат 1955, § 233—234.

*Инструкция* по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1973.

*Руководство* по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. Высотные сети. М., Недра, 1976.

III. Пособия и принадлежности: журнал нивелирования, счеты, логарифмическая линейка, тетрадь для вычислений, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) выполнение постраничного контроля в журнале;
- 2) вычисление суммы превышений по секциям и введение поправки за длину метра реек;
- 3) вычисление отметок реперов.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Выполнение постраничного контроля в журнале.* Постраничный контроль производят для проверки правильности записей и вычислений. На каждой странице нивелирного журнала (см. табл. 68) вычисляют сумму читанных отсчетов по средней нити задней (12453) и передней (17637) рейкам, сумму превышений, полученных по черным и красным сторонам реек (—5184), и сумму средних превышений (—2592).

Разность сумм читанных отсчетов по задней и передней рейкам (12453—17637) должна быть равна сумме всех превышений (—5184), а половина этой суммы с учетом ошибок округления при вычислении средних значений превышений — сумме этих средних.

Если на странице записаны результаты измерений на нечетном числе станций при применении двусторонних реек (табл. 70), то следует при постраничном контроле учесть разность нулей красных строк реек, т. е. полу-сумма всех превышений (+3180) должна быть равна



Контрольные суммы			
отсчетов по рейкам		превышений	средних превышений
задней	передней		
25 895	19 536	+6359	+3230
—			
19 536		+3180	
+ 6359			

сумме средних значений превышений с учетом половины разности нулей красных сторон реек (+3230—50).

2. *Вычисление сумм превышений по секциям и вводимые поправки за длину метра реек.* Сумма превышений вычисляется на счетах двумя вычислителями независимо друг от друга. Результаты вычислений записываются на странице нивелирного журнала в конце секции. Эти значения исправляют за удлинение реек путем умножения превышения, выраженного в метрах, на среднюю длину метра пары реек, определенную при исследовании реек.

Для упрощения вычислений можно взять лишь удлинение среднего метра пары реек и умножить его на число целых метров превышения. Например, при удлинении среднего метра, равном  $-0,12$  м, среднем значении превышения в секции, равном  $-20,236$  м, будем иметь поправку, равную  $-0,12 \times 20 = -2,4$  м. Прибавив ее алгебраически к абсолютному значению превышения, получаем исправленное значение последнего  $-(20,236 - 0,002) = -20,234$  м.

3. *Вычисление высот реперов.* Вычислив сумму исправленных за длину метра рейки значений превышений по секциям и по всему ходу и зная высоты исходных реперов, определяют невязку

$$f_h = \sum_1^n h - (H_n - H_1), \quad (\text{VIII.5})$$

которая не должна быть больше:

для нивелирования IV класса

$$f_{h_{доп}} = 20 \sqrt{L}; \quad (\text{VIII.6})$$

для хода технического нивелирования

$$f_{h_{доп}} = 50 \sqrt{L}, \quad (\text{VIII.7})$$

где  $L$  — длина хода, км.

На местности со значительными углами наклона, когда число станций на километр хода более 25, допустимая невязка в ходе технического нивелирования подсчитывается по формуле

$$f_{h_{доп}} = 10 \sqrt{n}, \quad (\text{VIII.8})$$

где  $n$  — число станций в ходе.

Невязку  $f_{h_{доп}}$  следует вычислять на логарифмической линейке. Если высотная невязка в ходе не превосходит допустимого значения, то ее распределяют с обратным знаком пропорционально длинам секций, а затем, пользуясь исправленными значениями превышений, последовательно вычисляют высоты всех реперов.

Контролем является получение в результате вычисления того же значения высоты конечного репера (238, 835), какое было задано (табл. 71).

Таблица 71

Номер точки	Номер секции	Длина секций, км	Г.превышения, мм	Поправки, мм	Исправленные превышения, м	Высота, м
Реп 42						221,612
1	I	0,56	+ 7,163	-3	+ 7,160	228,771
2	II	0,63	-12,518	-4	-12,522	216,249
3	III	0,81	+ 6,600	-5	+ 6,595	222,844
	IV	1,00	+15,997	-6	+15,991	238,835
Реп 43						238,835

$$\sum_1^n L = 3,0 \quad \sum_1^n h = +17,242$$

$$H_K - H_n = +17,224$$

$$f_h = +18 \text{ мм}$$

$$f_{h_{доп}} = \pm 34 \text{ мм}$$

## Состав исполнителей и распределение обязанностей

При выполнении задания бригадой, состоящей из пяти человек, каждый член обязан выполнить обработку результатов нивелирования в одной секции по указанию руководителя.

### *Задание VIII.6*

#### **Производство технического нивелирования для построения профиля местности**

I. Задача: проложить ход технического нивелирования длиной 2 км для построения профиля местности.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия, Ч. I. М., Недра, 1967, § 143—150.

*Хренов Л. С., Ганьшин В. Н.* Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. М., Недра, 1970.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.* Высотные сети, М., Недра, 1976.

III. Приборы и принадлежности: теодолит и нивелир со штативами, две нивелирные рейки, стальная 20-метровая лента со шпильками, рулетка, эккер, эклиметр, веши (4 шт.), колья деревянные длиной 20—25 и 50—60 см (по 40 шт.), топор, лопата, зонт топографический, пикетажный и нивелирный журналы, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) рекогносцировка и закрепление трассы;
- 2) измерение углов поворота магистральной;
- 3) измерение длин сторон хода и разбивка пикетажа;
- 4) разбивка главных точек круговой кривой;
- 5) вынос пикета на кривую;
- 6) детальная разбивка кривой;
- 7) съемка полосы местности вдоль магистральной;
- 8) привязка нивелирного хода;
- 9) продольное нивелирование;
- 10) нивелирование поперечников.

(Этапы 3—6 выполняются одновременно).

V. Указания по выполнению задания.

1. *Рекогносцировка и закрепление трассы.* Начальная и конечная точки хода задаются проектом, в условиях учебной практики — преподавателем. Место для про-

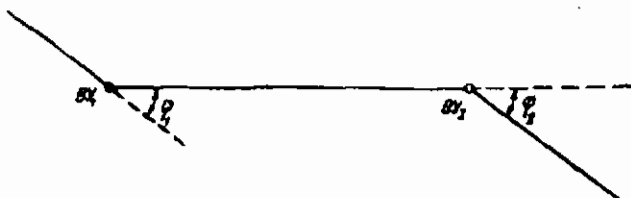


Рис. 138. Измерение углов поворота трассы

ложения магистрали выбирается с соблюдением условий: ход должен иметь минимальное число поворотов, а стороны его должны проходить на местности по возможности с малыми углами наклона, удобной для линейных измерений. Вершины углов поворота на местности закрепляют кольями так же, как вершины теодолитного хода (см. задание VI.1).

2. *Измерение углов поворота магистрали.* При подготовке магистрали для нивелирования измеряют теодолитом горизонтальные углы  $\varphi$  между продолжением предыдущей стороны хода и направлением последующей (рис. 138).

В зависимости от этих углов рассчитываются элементы кривых. Угол  $\varphi$  измеряют так. Устанавливают отсчет на горизонтальном круге, равный  $0^\circ$ , и вращением лимба наводят трубу на предыдущую вершину хода. После этого переводят трубу через зенит, вращением алидады наводят ее на последующую вершину и производят отсчет по горизонтальному кругу. При повороте хода вправо полученный отсчет будет равен углу  $\varphi$ , а при повороте влево — дополнению угла  $\varphi$  до  $360^\circ$ .

Так как стороны магистрали обычно бывают длинными, то рекомендуется их вешить с помощью теодолита (см. задание IV.1).

3. *Измерение длин сторон хода и разбивка пикетажа.* Длины сторон хода измеряют стальной 20-метровой лентой по правилам, изложенным в задании IV.1. При измерении длин сторон отмечают на ней пикеты — точки, отстоящие на расстоянии 100 м одна от другой. Если трасса проходит по скату с углом наклона, большим  $2^\circ$ , то либо следует откладывать между пикетами расстояние, равное  $(100 + \Delta S_v)$  м, где  $\Delta S_v$  поправка за наклон, вычисляемая по формуле (IV.4), либо придавать ленте при откладывании горизонтальное положение.

Пикеты закрепляют на местности деревянными кольями длиной 20—25 см и толщиной 3—5 см, забиваемыми так, чтобы поставленная на него рейка не касалась земли. Перед забивкой кола траву и мох приминают ногой, чтобы его можно было легко найти.

Во избежание повреждения кола при забивке его в твердый грунт следует предварительно пробить углубление железным клином или ломом. Верхний торец кола должен быть плоским и располагаться перпендикулярно к оси кола.

Если между пикетами имеются заметные для глаза (порядка 0,5 м) перегибы линии местности, то они также отмечаются забивкой кольев (точек), называемых плюсовыми, так как каждая из них обозначается присоединением к номеру ближайшего младшего пикета расстояния от него, например ПКЗ+65,0.

Впереди точки либо слева от нее по ходу на расстоянии 5—10 см забивают в землю на 15—20 см кол-сторожок длиной 30—50 см.

Затесанная сторона сторожка, на которой подписывается номер точки, должна быть обращена к началу линии.

Обозначения точек, устанавливаемых при разбивке пикетажа во время учебной практики, дополняются указанием (в виде знаменателя) номера бригады, например  $\frac{\text{ПКЗ}+65,0}{\dots}$

28

Подобным же образом обозначаются и точки поворота хода с той лишь разницей, что расстояния указываются до сотых долей метра.

Для изображения рельефа местности по одну либо по обе стороны от магистрали разбивают поперечники, чаще всего перпендикулярно к трассе. При разбивке поперечника закрепляют кольями его начало — точку пересечения с магистралью — и точки перегиба рельефа местности на самом поперечнике. Поперечникам присваивают порядковые номера и указывают номер точки пересечения с основной линией профиля, например 80 ПК 45. Всем точкам поперечника, расположенным справа по ходу, присваивают нечетные номера, слева четные или подписывают буквы П и Л, нулевой поперечник нумеруется от 0 до 10. Поперечники 1-й от 10—19; 2-й от 20—29 и т. д.

В процессе разбивок пикетажа и поперечников ведут пикетажный журнал (рис. 139).

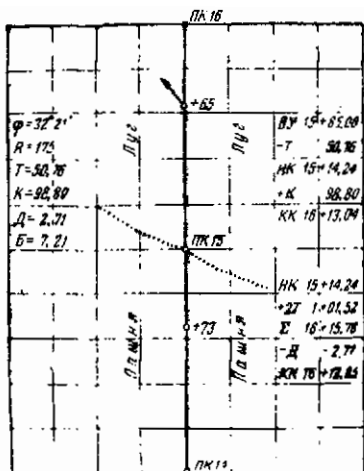
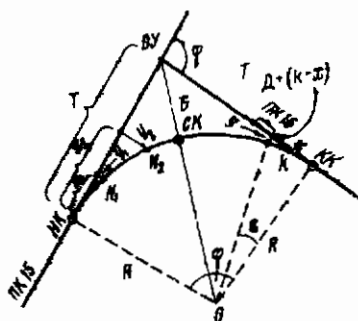


Рис. 139. Пикетажный журнал

Рис. 140. Разбивка круговой кривой



Длины поперечников и расстояния между ними зависят от характера местности и назначения поперечников. На учебной практике длина поперечника обычно равна 25 м в каждую сторону от магистрали.

4. Разбивка главных точек круговой кривой (рис. 140). Для разбивки точки начала (НК), середины (СК) и конца (КК) необходимо рассчитать элементы круговой кривой: тангенс  $T$ , длину кривой  $K$ , биссектрису  $B$ , домер  $D$  по формулам:

$$\left. \begin{aligned} T &= R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \\ K &= \frac{\varphi}{\rho} R; \\ B &= R \left( \sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right); \\ D &= 2T - K, \end{aligned} \right\} \quad (\text{VIII.9})$$

где  $R$  — радиус кривой;  $\varphi$  — угол поворота магистрали;  $\rho$  — радиан.

Обычно элементы кривой вычисляют по специальным таблицам. Зная пикетажное наименование вершины угла (ВУ), определяют положение НК, СК и КК в пикетаже. Ниже приведен соответствующий пример.

Пример 1. В точке ВУ, пикетажное обозначение которой ПК 15+65,00, измерен угол поворота  $\varphi=32^{\circ}21'$ . Рассчитать положение главных точек кривой, если радиус ее  $R=175$  м.

Вычисленные по таблицам для разбивки кривых значения элементов кривой таковы:

$$T=50,76; K=98,80; D=2,71; B=7,21.$$

Вычисления по определению пикетажного положения главных точек кривой располагаем так.

Основные вычисления

$$\begin{array}{r} \text{ВУ } 15 +65,00 \\ -T \quad 50,76 \\ \hline \text{НК } 15 +14,24 \\ +K \quad 49,40 \\ \hline 2 \\ \hline \text{СК } 15 +63,64 \\ +K \quad 49,40 \\ \hline 2 \\ \hline \text{КК } 16 +13,04 \end{array}$$

Контрольные вычисления

$$\begin{array}{r} \text{ВУ } 15 +65,00 \\ +T \quad 50,76 \\ \hline \Sigma 16 +15,76 \\ -D \quad 2,71 \\ \hline \text{КК } 16 +13,05 \\ \text{(контроль)} \end{array}$$

Расхождение между дважды вычисленным пикетажным положением конца кривой не должно превосходить 3 см.

Для закрепления начала кривой на местности забивают кол со сторожком на расстоянии 14,24 м от пикета 15 по направлению к вершине угла поворота и на сторожке пишут НК, ПК 15+14,24.

Середину кривой находят, построив при помощи теодолита угол между тангенсом и биссектрисой, равный  $90^{\circ}-\varphi/2=73^{\circ}49,5'$ . Задав это направление, откладывают по нему вычисленное значение биссектрисы  $B=7,21$  м и забивают кол со сторожком, на котором пишут СК, ПК 15+63,64. Положение конца кривой на местности находят, отложив от пикета 16 по направлению трассы отрезок, равный сумме расстояний  $13,05+2,71=15,76$  м, но на сторожке пишут: КК, ПК 16+13,05, как если бы разбивка пикетажа происходила не по ломаной линии, а по кривой. Для дальнейшей разбивки пикетажа к концу кривой прикладывают ленту так, чтобы отсчет по ней равнялся 13,05 м.

5. *Вынос пикета на кривую.* Если на касательной к кривой находятся пикеты, то они должны быть вынесены на кривую. Для выноса пикета на кривую по радиусу

$R$  и длине  $K$  дуги кривой от начала или конца кривой до пикета вычисляют значение абсциссы  $x$  и ординаты  $y$  по формулам (см. рис. 140):

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \varepsilon; \\ y &= 2R \sin^2 \varepsilon/2; \\ E &= (K/R) \rho, \end{aligned} \right\} \quad (\text{VIII.10})$$

Вычисление величин, необходимых для выноса пикета на кривую, производят по специальным таблицам для выноса точек с касательной на кривую. В них приведены значения ординат и вместо значений абсцисс  $x$  значения  $K-x$  (кривых без абсциссы).

Порядок вычислений и действий при выносе пикета на кривую иллюстрируется следующим примером.

**Пример 2.** Вынести на кривую пикет 16 по данным предыдущего примера.

Так как  $k = KK - PK16 = 16 + 13,05 - 16 = 13,05$  м, то по этому аргументу и  $R = 175$  м находим по таблицам:  $k-x = 0,01$  м и  $y = 0,48$  м.

Так как пикет 16 расположен между серединой и концом кривой, то для отыскания его положения на кривой от пикета 16 на касательной по направлению к концу кривой откладывают отрезок, равный сумме домера и кривой без абсциссы  $D + (k-x) = 2,72$  и, в полученной точке восстанавливают перпендикуляр длиной  $y = 0,48$  м. Полученная точка является пикетом 16 на кривой.

Для выноса пикетов на кривую, расположенных между началом и серединой кривой, основание ординат отыскивают путем откладывания кривой без абсциссы от пикета на касательной по направлению к началу кривой.

**6. Детальная разбивка кривой.** Наиболее распространенным способом разбивки кривой на открытой местности является способ прямоугольных координат, описанный при выносе пикета на кривую. Расстояние  $k$  между соседними точками на кривой зависит от радиуса кривой и характера будущего сооружения.

**Пример 3.** Произвести детальную разбивку через 10 м круговой кривой, рассчитанной при решении примера 1.

По аргументам  $R = 175$  м и  $K = 10,20$ , ... выбирают из таблиц для детальной разбивки кривой значения  $x$  и  $y$  или  $k-x$  и  $y$ , как было описано при изложении вопроса о выносе пикета на кривую. Так как половина общей



длины кривой равна 49,40 м, то для детальной разбивки кривой достаточно вычислить значения  $k-x$  и  $y$  при  $k_{\max}=40$  м. Результаты вычислений приведены в табл. 72.

Детальную разбивку кривой производят от ее концов по направлению к середине. Для обозначения на местности точки 1 кривой (см. рис. 140) откладывают от начала кривой по направлению касательной  $k - (k - x) = 10,00 - 0,01 = 9,99$  м.

В полученной точке восстанавливают перпендикуляр к касательной в сторону кривой длиной  $y = 0,28$  м и получают положение на местности точки 1, которую закрепляют колом, затем откладывают от начала кривой отрезок  $k - (k - x) = 20,00 - 0,04 = 19,96$  м, восстанавливая в конце его перпендикуляр длиной  $y = 1,14$  м, получают положение точки 2.

Поступая аналогично, находят точки 3 и 4 кривой, после чего производят детальную разбивку кривой по направлению от ее конца к середине.

7. *Съемка полосы местности вдоль магистрали.* Одновременно с разбивкой пикетажа производят глазомерную или инструментальную съемку элементов ситуации преимущественно способом перпендикуляров, используя эккер и рулетку. Удобно результаты съемки изображать в пикетажном журнале, изготовленном на клетчатой бумаге, принимая сторону клетки, равную 1 см, соответствующую 20 м на местности.

В пикетажном журнале (см. рис. 139) показывают расположение пунктов поворота магистрали, пикетов, плюсовых точек, реперов, поперечников, элементов ситуации в пределах полосы местности заданной ширины (на учебной практике 25 м) в каждую сторону от магистрали. Указывают вид грунта, по которому проходит трасса. На полях журнала приводят расчеты положения главных точек кривой.

8. *Привязка нивелирного хода.* Нивелирный ход должен начинаться и заканчиваться на реперах с известными высотами. При отсутствии таковых привязку хода осу-

Таблица 72

$k$	$k-x$	$y$
10	0,01	0,28
20	0,04	1,14
30	0,15	2,55
40	0,35	4,54

ществляют к постоянным знакам, отметки которых впоследствии определяют проложением нивелирного хода от ближайших пунктов государственной высотной сети. Указания по выполнению привязки хода приведены в задании VIII.4.

9. *Продольное нивелирование.* Нивелирование производят способом из середины. На каждой станции хода две нивелируемые точки являются связующими: при их помощи передаются высоты по ходу. Остальные же нивелируемые точки называются промежуточными. Всегда являются связующими точками реперы, остальные же точки могут быть как связующими, так и промежуточными.

При производстве нивелирования по профилю нивелир устанавливают на равных расстояниях от обеих связующих точек. Равенство расстояний определяется шагами или на глаз. Нивелир может находиться как на одной прямой со связующими точками, так и в стороне от нее. Предельное расстояние от нивелира до реек 120 м. Это ограничение расстояния вызвано тем, что наблюдения на станции выполняются более продолжительное время, чем при обычном техническом нивелировании. Отсчет по рейке по средней нити сетки трубы не должен быть менее 200 мм. Как правило, связующими точками являются пикеты, однако если превышение между пикетами больше длины рейки, то связующими точками могут быть либо плюсовые, либо иксовые ( $x$ ), необходимые для передачи отметок по магистрали. Расстояния до иксовых точек не измеряются и эти точки на профиль не наносятся.

Согласно Руководству по топографическим съемкам порядок наблюдений на станции при этом виде технического нивелирования несколько отличается от того, который принят при техническом нивелировании для создания высотного обоснования при топографических съемках. Сначала производят отсчеты по черным сторонам реек, которые установлены на точках поперечников, находящихся сзади и впереди от нивелира. После того как взяты все отсчеты на точках поперечников, заднюю рейку устанавливают на заднем пикете, а переднюю на переднем и измеряют превышения по программе технического нивелирования для создания обоснования при топографических съемках, т. е. при применении двусторонних реек берут отсчеты по черной стороне задней рей-

Номер станции	Номер точки	Отчеты по рейке			Премещения		Средние преращения		Горизонт инстру-мента	Абсолютная высота точки
		задней	передней	промежуточные точки	+	-	+	-		
25	ПК43	1569(1) 6254(4) 4635			+	-	+	-	161, 679	160, 110
	ПК45		1290(2) 6072(3) 4768	182 279			280			160, 390 161, 042
	ПК43 4311 4312 ПК44	Поперечник		0637(5) 0988(6) 1490(7)						160, 681 160, 189
26	ПК45	0308 5148 4783				1760				160, 390
	*		2125 6810 4685			1662		1761		158, 629
Постраничный контроль		13 336 -2961	16 297	461 -2961	3422 -2961	280 -1481	1761			

Таблица 74

Номер станции, рейки	Номер точки, реперов, пунктов плюсовых точек по поперечникам	Отсчеты по рейкам			Горизонт инструмента	Абсолютная высота
		черная сторона	красная сторона	промежуточные точки		
25 1—2	ПК 43	1569(3)	6254(6)		161,679	160,110
	ПК 45	1290(4)	6078(5)			160,390
	Поперечник 1 ПК 43			0637(1)		161,042
	4311			0998(2)		160,681
	4312					
	ПК 44			1490(7)	160,189	
	Превышение	-1279	-1182	ср. -1280		
26 2—1	ПК 45	0365	5148			160,390
	х	2125	6810			158,629
	Превышение	-1760	-1662	ср. -1760		

ки, по черной стороне передней рейки, по красной стороне передней рейки и красной стороне задней рейки.

После этого рейки последовательно устанавливаются на всех плюсовых точках и берут отсчеты по черной стороне.

Перед отсчитыванием по рейке пузырек цилиндрического уровня тщательно приводят в нуль-пункт при помощи элевационного винта или вращением того подъемного винта, по направлению которого расположен уровень.

Превышения, полученные по черным и красным сторонам реек с учетом разности нулей реек, определенной при исследовании данного комплекта (см. задание VIII.2), не должны отличаться более чем на 5 мм.

При применении односторонних реек при нивелировании по профилю вместо отсчетов по красным сторонам реек производят вторичные отсчеты по рейкам, изменив высоту нивелира, как указано в задании VIII.4.

Образцы записей и вычислений на станции при работе с двусторонними рейками приведены в табл. 73. В Руководстве предлагается образец записи результатов технического нивелирования при построении профиля местности, приведенный в табл. 74.

**Пример 4.** Выполнить обработку приведенных в табл. 73 результатов измерений на станциях 25 и 26 хода технического нивелирования.

На станции 25 нивелирного хода пикеты 43 и 45 являются связующими, пикет 44 — промежуточным. Следовательно, расстояние от нивелира до реек, установленных на связующих точках, составляет около 100 м. Порядок производства и записей отсчетов по рейкам указан цифрами в скобках. Вычисления ведутся с округлениями до целых миллиметров.

Вычисленные разности отсчетов по двум сторонам одноименных реек  $6254 - 1569 = 4685$  мм и  $6072 - 1290 = 4782$  мм отличаются от 100 на 3 мм.

Расхождение между превышениями, полученными по черным ( $1569 - 1290 = +279$ ) и красными ( $6254 - 6072 = +182$ ) сторонам реек, не должно быть (с учетом 100 мм) больше 5 мм.

Если эти условия выполнены, то обработка результатов на станции заканчивается вычислением среднего значения превышения  $(279 + 182 + 100) / 2 = 280$  мм.

Обработка результатов на станции 26 нивелирного хода, где связующими точками являются пикет 45 и иксовая точка, необходимая для передачи отметки с пикета 45 на пикет 46, выполнена аналогичным образом.

Порядок записей и вычислений на станции при работе с односторонними рейками иллюстрируется следующим примером.

**Пример 5.** Обработать результаты нивелирования, выполненного с односторонними рейками на станциях 27 и 28 хода технического нивелирования (см. табл. 75).

На станции 27 пикет 46 и иксовая точка являются связующими, а точки поперечника — промежуточными.

Последовательность производства отсчетов и их записи в журнале указана цифрами в скобках.

Так как разность отсчетов по задней рейке, сделанных при первой и второй высотах прибора:  $2987 - 2875 = +112$  мм, отличается от разности соответствующих отсчетов по передней рейке:  $0394 - 0281 = +113$  мм всего на 1 мм, то вычисляем средние значения отсчетов по задней (2931 мм) и передней (0338 мм) рейкам и в зависимости от них превышение пикета 46 над иксовой точкой:  $2931 - 0338 = +2593$ . Аналогично выполнена обработка результатов нивелирования на станции 28.

В последние годы получил распространение беспикет-

Номер станции	Номер точки	Отчеты по рейке						Превышения		Горизонт инструмента	Абсолютная высота точки м
		читанные			пробегу-точные точки	средние		+	-		
		задняя	передняя	задняя		передняя					
27	*	2987 (1)				2931			161,504	158,629	
	ЛК 46	2875 (4)	0394 (2)				0338	2593		161,278	
		+112	0281 (3)	0298 (5) 1943 (6)						161,206 159,561	
28	ЛК 46	2939				2884		2620		161,278	
		2830								163,958	
	ЛК 47	+109	0317 0210 +107			0264					
Постраничный контроль		11 631 10 429	1202		5815 +5213	0802 +5213		5213 +5213			

ный способ трассирования с применением радиодальномеров. Пояснения по применению этого способа содержатся в руководстве по топографическим съемкам.

10. **Нивелирование поперечников.** Во всех возможных случаях точки поперечников нивелируют с тех же станций, что и точки магистрали. Результаты измерений записывают в нивелирный журнал (табл. 73, 74, 75).

При большой длине поперечника или неблагоприятных условиях местности его нивелируют со специально выбранных станций. Поперечник обязательно должен быть по высоте привязан к магистрали.

Состав исполнителей и распределение обязанностей

Во время учебной практики задание выполняется бригадой студентов из пяти человек с таким распределением обязанностей:

а) рекогносцировка трассы и закрепление вершин поворота на местности выполняется всем составом бригады;

б) разбивка пикетажа и главных точек кривой: ведущий пикетажный журнал один студент и один измеряющий углы поворота магистрали, помощник по производству съемки, два мерщика, один студент забивает колья;

в) нивелирование выполняется бригадой из четырех студентов: наблюдатель, помощник наблюдателя, два речника. Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

### Задание VIII.7

#### Вычислительная обработка и графическое оформление результатов продольного и поперечного технического нивелирования

I. **Задача:** вычислить высоты точек, продольного и поперечного нивелирования и построить продольный профиль трассы и профили поперечников.

II. **Литература:** Гиршберг М. А., Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 152—154.

III. **Приборы и принадлежности:** счеты конторские, ручка, рейсфедер, треугольник, линейка, карандаш 2Т-3Т, миллиметровая бумага, резинка мягкая, тушь черная, красная, синяя, зеленая, чертежная ручка, таблицы условных знаков.

#### IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) выполнение постраничного контроля в нивелирном журнале;
- 2) вычисление высот связующих точек;
- 3) вычисление высот промежуточных точек;
- 4) построение продольного профиля местности;
- 5) построение поперечных профилей.

#### V. Указания по выполнению задания.

1. *Выполнение постраничного контроля в нивелирном журнале.* Постраничный контроль выполняют для проверки правильности записей и вычислений в журнале. На каждой странице журнала при нивелировании с двухсторонними рейками вычисляют сумму читанных отсчетов по задней и передней рейкам, сумму превышений, полученную по черным и красным сторонам реек, и сумму средних превышений. Разность сумм читанных отсчетов по задней и передней рейкам должна быть равна сумме превышений, а половина этой суммы должна быть равна, с учетом ошибок округления при вычислениях, сумме средних превышений.

Примеры. а) Выполнить постраничный контроль по данным, приведенным в табл. 73.

Для проверки записей и вычислений на станциях 25 и 26 вычисляют на счетах сумму читанных отсчетов по задним рейкам:  $1569+6254+0365+5148=13336$  мм; сумму читанных отсчетов по передним рейкам:  $1290+6072+2125+6810=16297$  мм; сумму положительных ( $+182+279=+461$  мм) и отрицательных ( $-1662-1760=-3422$  мм) превышений, полученных по обним сторонам рейки, а также сумму положительных ( $+280$ ) и отрицательных ( $-1761$ ) средних значений превышений.

Разность  $13336-16997=-2961$  мм должна быть равна алгебраической сумме  $+461-3422=-2961$  мм, а  $(-2961)/2=-1480$  сумме  $+280-1761=-1481$  мм.

Если на странице записаны результаты измерений на нечетном числе станций, следует учесть разность нулей красных сторон реек (см. табл. 70).

При нивелировании с односторонними рейками постраничный контроль заключается в сравнении полуразности сумм читанных отсчетов по задней и передней рейкам с разностью сумм средних отсчетов по задней и передней рейкам и в свою очередь эта разность должна быть равна сумме средних значений превышений.



б) Выполнить постраничный контроль по данным, приведенным в табл. 75.

Для проверки записей и вычислений на станциях 27 и 28 вычисляем на счетах суммы читанных отсчетов по рейкам: задней ( $2987+2875+2939+2830=11631$  мм) и передней ( $0394+0281+0317+0210=1202$  мм), сумму средних отсчетов по рейкам: задней ( $2931+2884=5815$  мм) и передней ( $0338+0264=0602$  мм); суммы положительных ( $2593+2620=5213$  мм) и отрицательных (0) превышений. Полуразность  $(11631-1202)/2=10429/2=+5214$  мм должна быть равна разности  $5815-0602=+5213$  мм, а разность  $+5213$  сумме  $+5213+0=+5213$  мм.

2. *Вычисление высот связующих точек.* Вычислив сумму превышений связующих точек по всему ходу и зная высоты начальной и конечной точек хода, определяют невязку по формуле (VIII.5)

$$f_h = \sum_1^n h - (H_n - H_u),$$

которая не должна быть более величины (см. формулу VIII.7)

$$f_{h_{\text{доп}}} = 50 \sqrt{L},$$

где  $L$  — длина хода в км.

Высотную невязку распределяют поровну на все превышения с округлением до миллиметров и, пользуясь увязанными превышениями, вычисляют последовательно высоты всех связующих точек, начиная от начальной точки с известной высотой:

$$H_{i+1} = H_i + h'_i, \quad (\text{VIII.11})$$

$$h'_i = h_i + v_i, \quad (\text{VIII.12})$$

$$v_i = -f_h/n. \quad (\text{VIII.13})$$

Контролем является вычисление известной высоты конечной точки хода.

3. *Вычисление высот промежуточных точек.* Высоты промежуточных точек вычисляют по формуле

$$H_C = H_A - c, \quad (\text{VIII.14})$$

где

$$\left. \begin{aligned} H_i &= H_A + a_n; \\ H_i &= H_B + b_n. \end{aligned} \right\} \quad (\text{VIII.15})$$

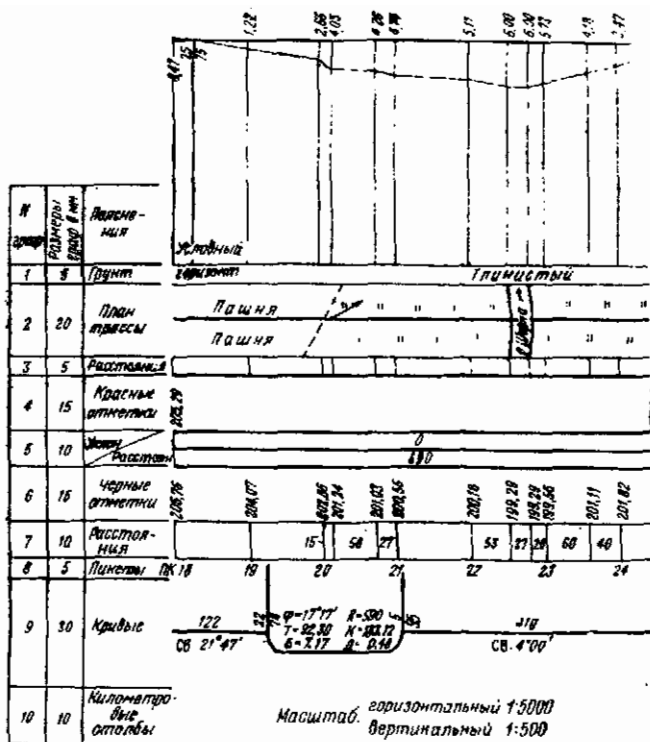


Рис. 141. Продольный профиль трассы от ПК 18 до ПК 29

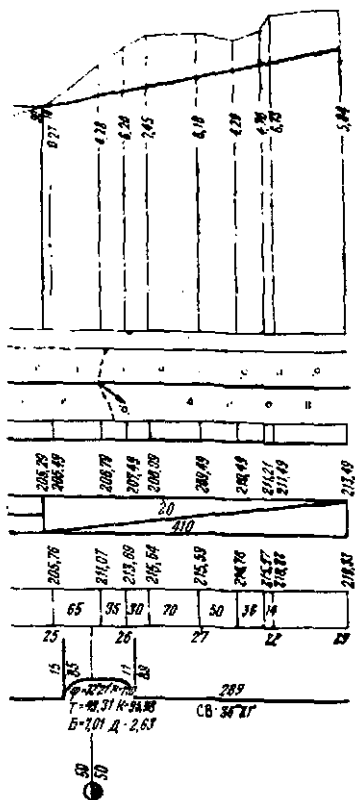
$H_i$  — отметка горизонта инструмента,  $C$ ,  $a_c$  и  $b_c$  — отсчеты по черным сторонам реек, установленным на промежуточной, задней и передней точках.

Например, высота ПК 44 (см. табл. 73) вычислена так:  $H_{ПК 44} = H_{ПК 43} + a_{c43} - C = 160,110 + 1,569 - 1,490 = 160,189$  м.

Для контроля высоты промежуточных точек следует вычислять в две руки.

4. *Построение продольного профиля местности.* Профиль составляется по данным пикетажного и нивелирного журналов. Выбор масштаба и расположения граф профиля зависит от его назначения.

Вертикальный масштаб профиля обычно принимают в 10 раз крупнее горизонтального.



При проведении на профиле проектной линии учитывают, чтобы уклон не превышал заданного предельного значения; чтобы линия проходила через фиксированные точки, т. е. точки, положение которых нельзя менять ни в плане, ни по высоте (точки пересечения новой трассы с существующей, рекой и т. п.), и чтобы объем земляных работ был наименьшим.

Проектные (красные) высоты точек вычисляют по формуле

$$H_j = H_{\phi} - iS_j, \quad (\text{VII.16})$$

где  $H_j$  — искомая проектная высота точки;  $H_{\phi}$  — известная высота фиксированной точки;  $i$  — уклон проектной линии;  $S_j$  — расстояние от точки  $j$  до фиксированной точки.

Образец профиля автомобильной трассы с пояснениями и размерами

приведен на рис. 141. Заполняют графы профиля в приведенной последовательности 7, 8, 6, 3, 2, 1, 9, 10, 4, 5. Графы 4 и 5 заполняют после построения профиля и проведения проектной линии.

Цифры в графе 7 обозначают расстояния плюсовых точек от ближайших пикетов, в графе 6 — высоты точек, округленные до сотых долей метров. Линии в графе 3 повторяют линия графы 7.

В графе 2 составляют план трассы с указанием оси дороги и кривых стрелками в заданном горизонтальном масштабе профиля (см. рис. 141 в масштабе 1 : 5000) по абрису в пикетажном журнале. Числа 122, 410 и 289 в графе 9 обозначают длины прямых участков трассы, СВ 21°47', СВ 4°00' и СВ 36°21' — их румбы. Румбы СВ

4°00' и СВ 36°21' вычислены по заданному румбу первой линии (СВ 21°47') и углам поворота трассы.

Схематическое обозначение первой кривой в виде дуги, обращенной выпуклостью вниз, соответствует повороту магистрали влево, а изображение второй кривой в виде дуги с выпуклостью вверх — повороту вправо.

Цифры 22, 78 и 5,95 — расстояния начала и конца первой кривой от ближайших пикетов. Разность пикетажных расстояний начала (ПК19+22) и конца (ПК21+5) кривой должна соответствовать длине кривой ( $K = 183$  м) на профиле.

После заполнения графы 9 выполняют построение профиля местности, откладывая высоты пикетных и плюсовых точек от условного горизонта в масштабе 1 : 500. Выбор условного горизонта (175 м) при построении профиля трассы обеспечивает расположение линии профиля местности не ближе 5 см и не далее 15 см над графой «грунты».

Графы 4 и 5 заполняют после проведения проектной линии. Высоту моста через реку при проектировании рекомендуют делать не менее 6 м над поверхностью воды.

Вычисленные уклоны (0,20) и длины отрезков проектной линии (690; 410) выписываются в виде дроби в графе 5, положение диагонали на участке от плюсовой точки ПК24+90 до ПК29 соответствует положительному уклону.

В графе 4 выписывают высоты (проектные), вычисленные по формуле (VIII.18), с округлением до 0,01 м.

Например. Для ПК25 будем иметь

$$H_{\text{пр. ПК25}} = 205,29 + 0,020 \times 10 = 205,49 \text{ м и т. д.}$$

Разности между фактическими и проектными высотами — рабочие высоты — подписывают выше проектной линии при насыпи и ниже при выемке.

Для точки пересечения линии профиля с проектной линией (точки нулевых работ) вычисляют решением подобных треугольников расстояния от нее до ближайших пикетов. Эти расстояния (синие отметки) выписывают синей тушью на профиле с округлением до метра (25 и 75, 90 и 10).

Ось дороги в графе 2, графы 4, 5, 9 и рабочие высоты вычерчивают красной тушью, расстояния от ближайших пикетов до точек нулевых работ — синей, остальное — черной. Пояснения и размеры граф на профиль не переносят.

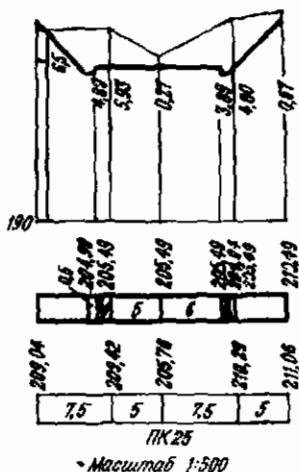
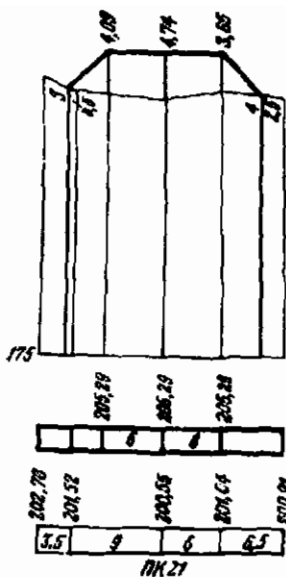


Рис. 142. Профиль поперечника для ПК 21

Рис. 143. Профиль поперечника для ПК 25

5. *Построение поперечных профилей.* Поперечные профили вычерчивают в одном масштабе, соответствующем вертикальному масштабу продольного профиля. Образцы поперечных профилей приведены на рис. 142, 143.

При проектировании исходная проектная высота (для пикета 21 и 25) определяется при помощи продольного профиля. Размеры ширины дороги, канав и прочих линейных сооружений зависят от типового поперечного профиля этих сооружений.

Профиль вычерчивают тушью: проектная линия, графа с проектными отметками — красным цветом, расстояния от ближайших пикетов до точек нулевых работ — синим, остальное — черным.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

При выполнении задания бригадой, состоящей из пяти человек, вопрос о составлении и проектировании еди-

ного профиля на всю трассу или пяти профилей на отдельные участки трассы каждым студентом решается руководителем.

### *Задание VIII.8*

#### **Нивелирование поверхности**

I. Задача: выполнить нивелирование поверхности участка местности и составить план с изображением рельефа горизонталями.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, § 157—158.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* Высотные сети. М., Недра, 1976.

*Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000—1:500.* М., Недра, 1969.

III. Приборы, пособия и принадлежности: нивелир со штативом, нивелирные рейки, 20-метровая стальная лента со шпильками, теодолит со штативом, вешки, деревянные колья, топор, зонт топографический, абрис-журнал, треугольник, линейка, карандаши ТМ, 2Т-3Т, резинка мягкая, ручка для ведения журнала, перочинный нож, чертежная бумага, измеритель, транспортир с нормальным поперечным масштабом, логарифмическая линейка, тушь черная, синяя, зеленая, рейсфедер, кривоножка, чертежная ручка, резинка жесткая.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) рекогносцировка участка местности;
- 2) разбивка сетки квадратов (или магистрали с рядом поперечников);
- 3) нивелирование поверхности;
- 4) вычисление высот связующих и промежуточных точек;
- 5) составление плана участка местности.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Рекогносцировка участка местности.* Для выполнения задания необходимо выбрать участок местности с некрупными формами рельефа. На открытом участке местности целесообразно применить нивелирование по квадратам на закрытом — нивелирование по параллельным линиям.

2. *Разбивка сетки квадратов (или магистрали с рядом поперечников).* Размер сторон квадратов (или расстояний между поперечниками при применении способа па-

раллельных линий) колеблется в зависимости от рельефа местности, требуемой точности и масштаба съемки от 10 до 100 м. ~~Построение сетки квадратов производят~~ при помощи теодолита и ленты по принципу перехода от общего к частному, т. е. сначала строят сетку больших квадратов со сторонами 100—1000 м, а затем каждый из них разбивают на более мелкие.

Построение прямых углов и измерение длин сторон производится согласно указаниям в заданиях III.5 и IV.1.

Ошибки при построении больших квадратов на местности не должны превышать величины, соответствующей 0,5 мм на плане. При выполнении учебного задания по нивелированию поверхности с составлением плана в масштабе 1 : 500 с высотой сечения рельефа, равной 0,5 м, удобно принять сторону квадрата равной 20 м.

Положение вершин заполняющих квадратов определяют после увязки основного прямоугольника вешением между точками на сторонах основного прямоугольника, закрепляют их и характерные точки рельефа (плюсовые точки), находящиеся как на сторонах квадратов, так и внутри их, кольями.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов производят съемку (см. указания к заданию VIII.6). Результаты съемки с обязательным указанием стрелками направлений скатов заносят на абрис или на схему (рис. 144, 145).

Разбивка сетки квадратов может быть выполнена и другими способами. Например, можно применить способ Е. Д. Голикова: два троса длиной 100 м каждый, размеченные через 20 м, натягивают по двум сторонам основного квадрата (прямоугольника), а третий — между соответствующими метками первых двух. Против меток третьего троса забивают колья. Третий трос последовательно перемещают по всем створам внутри квадрата (прямоугольника). При нивелировании по параллельным линиям сначала в середине участка прокладывают магистраль с разбивкой пикетажа, затем — необходимое число параллельных линий. Принято нумерацию вершин квадратов начинать с верхнего левого угла и заканчивать правым нижним углом. Вершины основных квадратов оцифровывают римскими и прописными буквами, а вершины заполняющих — арабскими цифрами и строчными буквами.

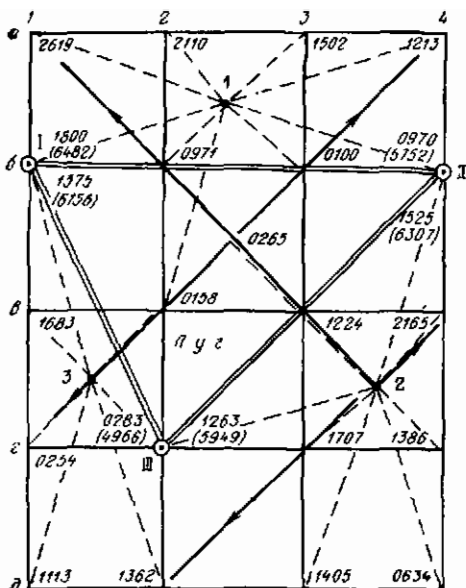
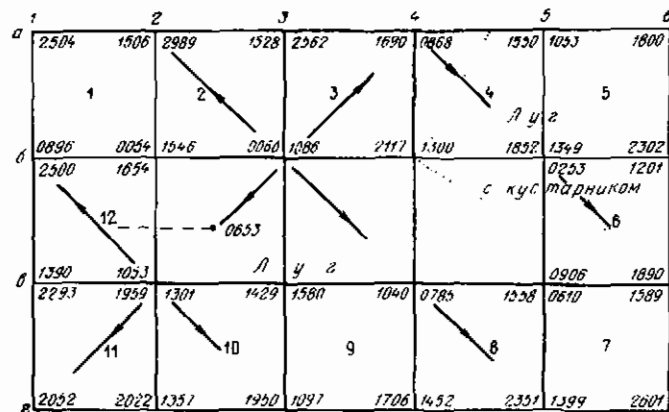


Рис. 144. Журнал нивелирования по квадратам со сторонами 20 м

Рис. 145. Журнал нивелирования по квадратам со сторонами 100 м



**3. Нивелирование поверхности.** Порядок нивелирования квадратов зависит от их размера. При размерах сторон квадратов 100 м и более с одной станции нивелируют один квадрат, при меньшем размере сторон с одной станции нивелируют несколько квадратов. При этом расстояния между нивелиром и рейками, установленными



на самых удаленных точках, должны быть менее 100 м, а число точек, наблюдаемых с одной станции, — не более 25. Передачу высот на смежные станции производят через связующие точки. Связующие точки на рис. 144 обозначены римскими цифрами, номера 1, 2 и 3 внутри квадратов — номера станций, а числа, помещенные у углов квадратов, — отсчеты по рейкам (отсчеты, заключенные в скобках, являются отсчетами по красным сторонам реек).

Если стороны заполняющего квадрата более 100 м или с одной установки нивелира по условиям местности нельзя проnivelировать несколько квадратов, то нивелир устанавливают посредине каждого квадрата и выполняют нивелирование всех его вершин. В этом случае в качестве связующих являются не две, как обычно, а четыре точки на каждой станции (см. рис. 145).

Правильность отсчетов по рейкам при этом способе нивелирования контролируется сравнением сумм накрест лежащих отсчетов по общей стороне двух смежных квадратов\*. Расхождение между вышеуказанными суммами не должно быть более 10 мм.

**Пример 1.** Проконтролировать правильность отсчетов, произведенных на 1 и 12 станциях (см. рис. 145) по рейкам, установленным в точках  $b_1$  и  $b_2$ .

Номера станций 1 и 12 выписаны на схеме в середине квадратов, а числа, помещенные у углов квадратов, представляют собой отсчеты по рейкам. Например, 0896 является отсчетом, сделанным со станции 1 по рейке, установленной в точке  $b_1$ .

Для станций 1 и 12 расхождение между суммами накрест лежащих отсчетов:  $0896 + 1654 = 2550$  мм, и  $2500 + 0054 = 2554$  мм, оказавшееся равным 4 мм при допуске 10 мм, может считаться допустимым. Таково же расхождение между разностями отметок горизонтов инструментов, вычисленными дважды:  $2500 - 0896 = 1604$  мм и  $1654 - 0054 = 1600$  мм.

При выполнении задания по нивелированию поверхности участка местности размером  $60 \times 80$  м, типичного в условиях учебной практики, рекомендуется сделать 3 станции (см. рис. 144) с тремя связующими точками. В благоприятных условиях нивелирование такого участ-

\* Полевой контроль может быть выполнен по предложенному И. И. Куличниковым способу сравнения разностей горизонтов инструмента на смежных станциях.

ка можно выполнить с одной станции. Привязка хода, образованного связующими точками, осуществляется по указанию руководителя к близ расположенным реперам, или одну из вершин квадратов условно принимают за репер. Магистраль и параллельные линии нивелируют по правилам, описанным в задании VIII.6. Результаты нивелирования записывают в журнал (см. рис. 144, 145).

4. *Вычисление высот связующих и промежуточных точек.* Высоты вычисляют по правилам, изложенным в задании VIII.7, либо по предложенному И. И. Купчиновым способу разностей отметок горизонтов инструмента на соседних станциях

$$\Delta H_{i\text{cp}} = \frac{(a_{i+1} - a_i) + (b_{i+1} - b_i)}{2}, \quad (\text{VIII.17})$$

где  $a$ ,  $b$  — отсчеты по рейкам, установленным в связующих точках.

Невязка  $f_{\Delta H}$  по каждому из квадратов вычисляется по формуле

$$f_{\Delta H_i} = \sum_1^n \Delta H_i, \quad (\text{VIII.18})$$

а допустимая невязка

$$f_{\Delta H_{\text{доп}}} = 10 \sqrt{n}, \quad (\text{VIII.19})$$

где  $n$  — число станций.

Если  $f_{\Delta H} \leq f_{\Delta H_{\text{доп}}}$ , то  $f_{\Delta H}$  распределяют поровну с обратным знаком между всеми  $\Delta H_{i\text{cp}}$ , после чего по высоте  $H_i$  горизонта инструмента на первой станции и исправленным  $\Delta H_i$  вычисляют высоты горизонтов инструмента остальных станций, а по ним — высоты вершин квадратов и плюсовых точек.

Контроль вычисления высот точек  $H_c$ , полученных при помощи горизонтов инструмента  $H_i$ , можно выполнить по формуле

$$\sum_1^n H_c + \sum_1^n c = \sum_1^n H_i k, \quad (\text{VIII.20})$$

где  $n$  — число станций;  $k$  — число промежуточных точек на станции;  $c$  — отсчет по рейке, установленной в точке  $C$ .

Указанный контроль может быть выполнен для каждой станции отдельно.

**Пример 2.** По результатам нивелирования поверхности по квадратам, представленным на рис. 144, вычис-

Таблица 76

Номер точки	Превышение по рейкам, мм			Поправка, мм	Высота точки Н, м
	черной	красной	среднее		
I					190,300
II	+830	+730	+830	-1	191,130
III	+262	+358	+260		191,391
I	-1092	-1190	-1091		190,300

$$\sum_1^n h_{\text{ср}} = -1 \text{ мм}$$

$$f_h = -1 \text{ мм}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = -17 \text{ мм}$$

лить высоты связующих и промежуточных точек по правилам, изложенным в задании VIII.7.

Вычисление высот связующих точек выполнено в табл. 76. Высоты промежуточных точек вычислены с помощью высот горизонтов инструмента по правилам, изложенным в задании VIII.7; значения их приведены на рис. 146.

**Пример 3.** По результатам нивелирования поверхности по квадратам, представленным на рис. 145, вычислить высоты точек.

Вычисление высот точек при нивелировании по квадратам со сторонами 100 м может быть выполнено как и при нивелировании по квадратам со сторонами 20 м, т. е. по правилам, изложенным в задании VIII.9.

Результаты вычисления высот связующих точек этим способом представлены в табл. 77, а значения высот промежуточных точек на рис. 147.

При обработке результатов нивелирования по квадратам со сторонами 100 м рекомендуется сначала увязать все накрест лежащие отсчеты по общим сторонам, распределив невязку поровну на все четыре отсчета, а потом выполнить уравнивание результатов измерения в ходе, проложенном по внешнему периметру участка, и после этого вычислить высоты остальных точек.

Таблица 77

Номер точки	Превышения, мм	Поправка, мм	Высота точки $H$ , м
б 1	-610	-2	222,100
а 2	+1461	-2	221,488
а 3	+872	-2	222,947
а 4	-682	-2	223,817
а 5	-1249	-2	223,133
б 6	-609	-2	221,882
в 6	+190	-2	221,191
г 5	+899	-2	221,379
г 4	+609	-2	222,276
г 3	+593	-2	222,883
г 2	-271	-2	223,474
в 1	-1100	-1	223,201
б 1			222,100

$$\sum_1^n h = +23 \text{ мм}$$

$$f_h = +23 \text{ мм}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 33 \text{ мм}$$

Таблица 78

Номер станции	Разности высот горизонтов инструмента, мм	Поправки, мм	Высота горизонта инструмента, м
1	+1488	-1	222,996
2	+1030		224,483
3	-820	-1	225,513
4	-500		224,692
5	-1098	-1	224,192
6	-298		223,693
7	+950	-1	222,795
8	+254		223,744
9	+851	-1	223,998
10	+656		224,848
11	-904	-1	225,304
12	-1602		224,599
1		-1	222,996

$$f_{\Delta H} = +7 \text{ мм}$$

$$f_{\Delta H_{\text{доп}}} = \pm 33 \text{ мм}$$

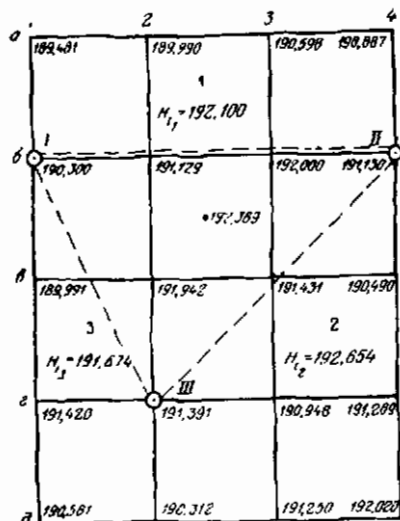
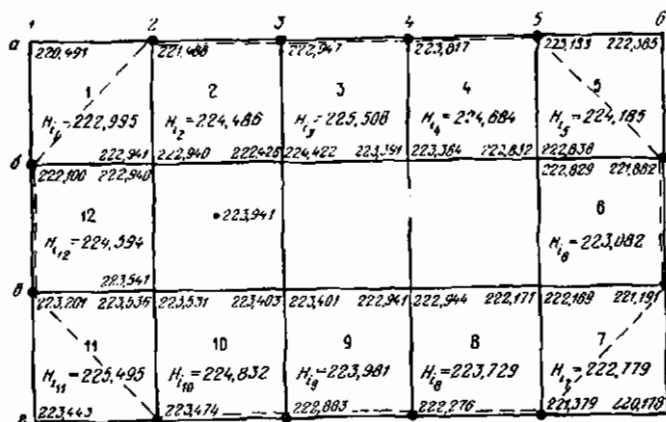


Рис. 146. Вычисление отметок промежуточных точек при нивелировании по квадратам со сторонами 20 м

Рис. 147. Вычисление отметок точек при нивелировании по квадратам со сторонами 100 м



Вычисление высот точек в этом примере может быть выполнено по способу разностей высот горизонтов инструмента на соседних станциях. Результаты вычислений высот горизонтов инструмента приведены в табл. 78. Например, разность высот горизонтов инструмента на

1	2	3	4	5	6
222,492	221,490	221,499	222,953	222,991	221,823
222,824	221,742	222,824	221,742	222,339	222,392
1	2	3	4	5	
$H_{1,1} = 222,996$	$H_{1,2} = 224,483$	$H_{1,3} = 223,513$	$H_{1,4} = 224,692$	$H_{1,5} = 224,192$	
222,100	222,943	222,937	224,423	224,421	223,396
222,099	222,943				222,840
12					222,843
$H_{1,12} = 224,599$					221,890
					222,840
					221,892
223,209	223,546				222,187
223,271	223,543	223,347	223,419	223,418	222,958
11	10	9	8	7	
$H_{1,11} = 223,504$	$H_{1,10} = 224,848$	$H_{1,9} = 223,998$	$H_{1,8} = 223,744$	$H_{1,7} = 222,795$	
223,452	223,482	223,491	222,848	222,901	222,292
					221,393
					221,398
					220,194

Рис. 148. Вычисление отметок точек при нивелировании по квадратам со сторонами 100 м способом И. И. Купчинова

первой и второй станциях в табл. 78 получена в зависимости от указанных на рис. 145 отсчетов по рейкам

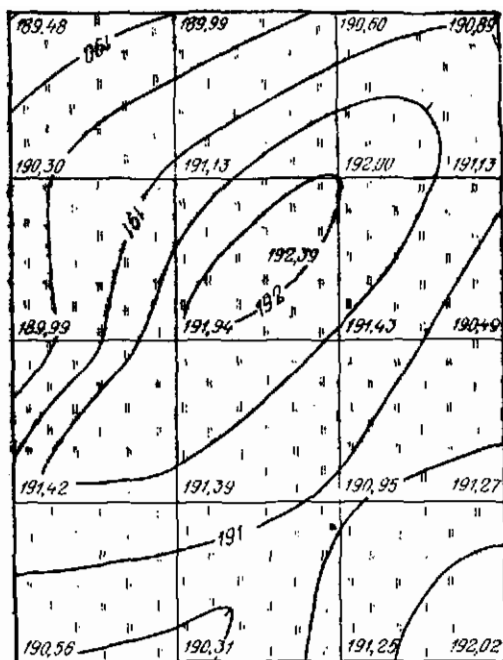
$$\Delta H_{1,1-2} = \frac{(2989 - 1506) - (1546 - 0054)}{2} = +1488 \text{ мм.}$$

В зависимости от высоты горизонта инструмента на первой станции  $H_{1,1-2} = 222,996$  м вычислены соответствующие высоты на остальных станциях (табл. 78), а по ним высоты всех пронивелированных точек (рис. 148).

Результаты вычисления высот точек при нивелировании поверхности по квадратам способом разности высот горизонтов инструмента на соседних станциях приведены в табл. 78 и на рис. 148.

Пример контроля вычисления высот точек  $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$ ,  $b2$  при помощи горизонта инструмента на первой станции приведен в табл. 79. Подобным образом можно проконтролировать вычисления высот точек на остальных станциях.

5. Составление плана участка местности. В условиях учебной практики план участка местности составляют в масштабе 1 : 500 с высотой сечения рельефа, равной 0,5 м. Так как длины сторон квадратов 20 м, а масштаб плана 1 : 500, то на бумаге строят сетку квадратов со сторонами, равными 4 см, или магистрали с параллельными линиями. Выписывают высоты вершин квадратов (или пи-



1:500  
Высота сечения 0,5 метра

Рис. 149. План участка местности, составленный по результатам нивелирования по квадратам

кетов) и плюсовых точек до 0,01 м. Интерполируя по направлениям, указанным в абрисе, проводят горизонталы по правилам, изложенным в задании VII.5. По данным

Таблица 79

Номер точки	Высота точки, м	Отсчеты по рейкам, мм	Высота горизонта инструмента, м
1	220,492	2504	222,96
2	221,490	1500	222,96
32	222,942	0054	222,96
1	222,100	0896	222,96
Сумма	887,024	4960	891,984

абриса наносят на план элементы ситуации. План вычерчивается тушью в соответствии с условными знаками для топографических планов масштаба 1 : 500 (рис. 149).

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Полевые работы, предусмотренные в задании, выполняются составом бригады из пяти человек со следующим распределением обязанностей: при разбивке сетки квадратов — ведущий журнал, вешильщик, два мерщика и забивающий колья; при нивелировании поверхности достаточно четырех человек — наблюдатель, помощник наблюдателя, два реечника.

Работа по вычислению высот точек и составлению плана участка местности выполняется каждым студентом в условной системе высот по указанию руководителя.



ГЛАВА IX  
**МЕНЗУЛЬНАЯ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА  
В МАСШТАБЕ 1 : 10 000**

---

Мензальная съемка выполняется с помощью мензулы и кипрегеля и позволяет непосредственно в поле составлять топографический план в карандаше.

Мензальная съемка применяется на небольших участках в тех случаях, когда становится нецелесообразным производство аэрофотосъемки.

В отличие от других видов топографических наземных съемок при мензальной съемке углы и линии строятся на плане графически, поэтому съемка называется углоначертательной (графической). Измерения на местности и составление плана производятся в поле одновременно.

Достоинством мензальной съемки является наглядность, так как в процессе съемки план может быть сопоставлен с местностью, и высокое качество составительских работ. К недостаткам следует отнести следующее: основная часть работы проходит в полевых условиях, невозможность работы зимой и в дождливую погоду, громоздкость мензального оборудования, невысокая производительность труда.

Мензальная съемка в масштабе 1 : 10 000 служит для создания государственных топографических карт, используемых в сельском хозяйстве, гидротехническом и мелиоративном строительстве, геологии, транспортном строительстве, лесном хозяйстве, промышленности и коммунальном хозяйстве.

Основой для мензальной съемки является съемочная сеть, которую в зависимости от условий местности и требуемой точности можно создавать графическим или аналитическим методом. К аналитическим методам относятся триангуляция и полигонометрия 1 и 2 разрядов, засечки теодолитные и тахеометрические ходы. К графическим — геометрическая сеть, засечки, мензальные и бусольные ходы.

Мензальная съемка местности основана на графическом определении на планшете с квадратной разграфкой

взаимного положения отдельных точек местности как между собой, так и относительно пунктов геодезической основы. Положение точек местности определяется в основном методом полярных и реже биполярных координат (засечек). Наиболее быстро положение точек определяется методом полярных координат, при котором измеряют расстояние до снимаемой точки при помощи дальномера кипрегеля и дальномерных реек и графически строят полярный угол. Точки, определяемые полярным способом, называются реечными; они намечаются на контурах ситуации и характерных точках рельефа.

Положение отдельных точек ситуации определяется способом биполярных координат с двух установок прибора. Точность определения положения точек в этом способе не зависит от расстояния от рейки до прибора, а зависит от угла засечки. Способ биполярных координат используется в основном в виде прямых и обратных засечек для сгущения съемочной сети.

### *Задание IX.1*

#### **Устройство, исследования и поверки комплекта мензулы**

I. Задача: изучить, исследовать и повернуть комплект мензулы.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 159—163.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 23—29.

III. Приборы и принадлежности: мензула универсальная (МУ) или облегченная (МО) с металлической или деревянной подставкой, штатив, доска, кипрегели: КИ, КА-2, КБ-1, КБ, две шашечные нивелирные рейки, либо деревянные бруски для изготовления дальномерных реек, или две специальные рейки для кипрегелей с нонаммами, две вехи, зонт топографический, стальная лента с комплектом шпилек, 4 кола диаметром 8 см, длиной 20 см, красная и черная краски, две колонковые кисточки № 9, треугольник, два карандаша, ЗТ-5Т, ручка, журнал исследований и поверок приборов.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) изучение устройства приборов и принадлежностей, применяемых при мензульной съемке;

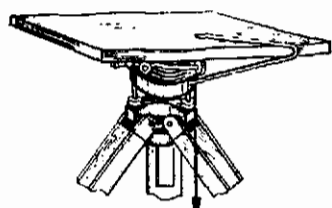


Рис. 150. Мензула универсальная

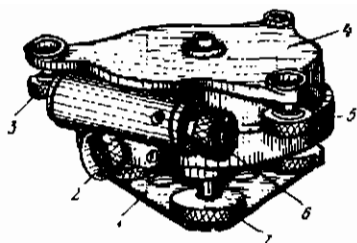


Рис. 151. Металлическая подставка мензулы

- 2) исследование и поверки приборов и принадлежностей мензульного комплекта;
- 3) изготовление дальномерных реек;
- 4) изучение правил ухода за мензульным комплектом и его хранения.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Устройство приборов и принадлежностей, применяемых при мензульной съемке.* Мензула представляет собой небольшой столик, состоящий из штатива, подставки и доски (планшета).

В настоящее время для мензульной съемки широко используют два типа мензул: универсальной МУ (рис. 150) и облегченной МО. Различаются они только размерами планшета и массой.

Металлическая подставка (рис. 151) состоит из верхней части 1 с тремя винтами 3 для прикрепления планшета к нижней цилиндрической части 5, опирающейся на три подъемных винта 7 и снабженной закрепительным 2 и наводящим 6 винтами. Подъемные винты проходят через пластинчатую пружину 4. В ранее выпускаемых мензулах использовалась деревянная подставка.

Деревянная подставка (рис. 152 и 153) состоит из треугольной доски 2, сквозь которую проходят три подъемных винта 1, круга 9 и верхней прямоугольной доски 5. Круг и доска могут взаимно вращаться в небольших пределах при помощи наводящего винта 4, проходящего через выступ 3, прикрепленный к доске, и выступ 16, прикрепленный к кругу. Сквозь подставку мензулы проходит осевая втулка 17 (см. рис. 153), заканчивающаяся станковым винтом 18, на который навинчивается рукоятка 13 для прикрепления подставки к головке 15 штатива 12. В нижней части доски 2 имеется три углубления, в которые входят стержни болтов, находящихся на головке штатива 10. К верхней доске прикрепляется мензульная доска — планшет 6 — при помощи двух деревянных планок 7 и винтов 8. Ход подъемных винтов, служащих для приведения плоско-

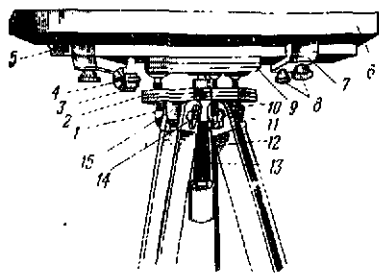


Рис. 152. Мензула с деревянной подставкой

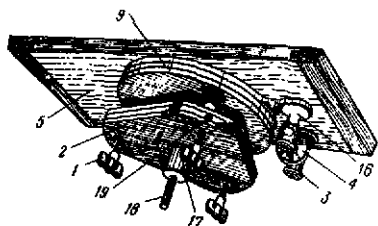


Рис. 153. Деревянная подставка мензулы

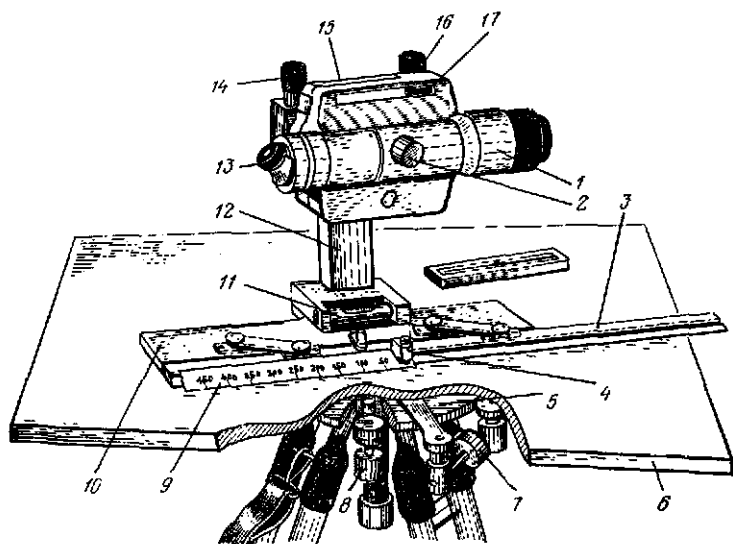


Рис. 154. Кипрегель КН

сти планшета в горизонтальное положение, т. е. для горизонтирования планшета, регулируется винтами 19.

Мензульный штатив (см. рис. 152) состоит из трех ножек 12, заканчивающихся металлическими наконечниками-башмаками, и головки 15. Ножки шарнирно соединены с головкой штатива болтами 11 с барашками 14.

При завинченной до отказа рукоятке станочного винта вращение мензульной доски и прикрепленного к последней планшета 6 прекращается.

По окончании работы доску-планшет снимают с подставки, заворачивают в клеенку для предохранения от проникновения сырости и укладывают в брезентовый чехол с фланцевой подкладкой.

Кипрегель — прибор, имеющий зрительную трубу, вертикальный круг и линейку с уровнем на ней.

Кипрегель номограммный КН (рис. 154) введен согласно ГОСТу 20778—75, который устанавливает один тип кипрегеля с номограммами по всему полю зрения трубы в двух видах: основной (КН) с уровнем при вертикальном круге и дополнительный (КН—К) с компенсатором при вертикальном круге.

#### Технические данные кипрегеля КН

Увеличение трубы, не менее . . . . .	25 <sup>x</sup>
Поле зрения трубы, не менее . . . . .	1° 20'
Диаметр объектива, мм . . . . .	46
Диаметр окуляра, мм . . . . .	1,5
Минимальное расстояние для визи- рования, м . . . . .	5
Цена деления вертикального круга . . . . .	5'
Пределы измерения вертикальных углов, не менее . . . . .	40°
Диапазон работы преобразователей по определению расстояний и пре- вышений, редуцированных на горя- зонтальную плоскость, не менее . . . . .	30°

#### Коэффициенты дальномера

Кривой расстояний . . . . .	100
Кривых превышений . . . . .	$\pm 10, \pm 20,$ $\pm 100$
Нитяных дальномерных штрихов . . . . .	100, 200
Цена деления шкалы буссоли . . . . .	30'
Цена деления уровней, в секундах дуги на 2 мм:	
при трубе . . . . .	30 $\pm$ 6'
при вертикальном круге . . . . .	30 $\pm$ 6'
на линейке . . . . .	60 $\pm$ 12'
Длина линейки кипрегеля, см:	
основной . . . . .	35
дополнительной . . . . .	50

Средняя квадратическая ошибка измерения расстояний на 100 м не более 20 см.

Средняя квадратическая ошибка измерения превышений на 100 м 3 см для  $K = \pm 10,6$  см при  $K = \pm 20$  и 15 см для  $K = \pm 100$ .

Средняя квадратическая ошибка измерения вертикального угла из одного приема ..... 45".

Масса кипрегеля 3 кг.

Кипрегель КИ-К имеет компенсатор с диапазоном действия 10' и ошибкой самоустановки 5".

Кипрегель КИ редуцированный и предназначен для определения расстояний и превышений, редуцированных на горизонтальную плоскость при одном положении зрительной трубы на вертикальную рейку при температуре от  $-30$  до  $+50$  °С.

Кипрегель состоит из зрительной трубы 1 (см. рис. 154), колонки 12 и линейки основной 10 и дополнительной 3. Зрительная труба для удобства наблюдений снабжена ломаным окуляром 13. Фокусирование осуществляется рукояткой 2, установленной на кожухе трубы. Зрительная труба вращается относительно круга, что позволяет при наклоне трубы видеть в поле зрения различные участки круга. Изображения кривых превышений и оцифровка изменяются в зависимости от того, какая часть вертикального круга рассматривается в окуляр. Кривые превышений рассчитаны в пределах углов наклона от  $-35$  до  $+35$ °.

Уровень 15, соединенный с вертикальным кругом, служит для установки нуля круга. Уровень 17 при трубе реверсивный. Наличие цилиндрического уровня при трубе позволяет использовать кипрегель в качестве нивелира, что очень удобно при наборе высот точек в равнинных районах при мелиоративных работах.

В верхней части колонки 12 закреплена осевая система, на втулке которой укреплен круг, а на оси — зрительная труба. Нижняя часть колонки прикреплена четырьмя винтами к основной линейке. На колонке имеется наводящий винт трубы 14, совмещенный с закрепительным винтом, и наводящий винт вертикального круга 16, используемый для установки лимба на нулевой отсчет.

Основная линейка служит основанием кипрегеля. Дополнительная линейка 3 при помощи двух шарниров соединена с основной и образует совместно с ней систему шарнирного параллелограмма, позволяющего наносить на планшет снимаемые точки без перемещения всего прибора. На основной линейке расположена съемная масштабная линейка 9. На дополнительной линейке 3 имеется паз, по которому перемещается наколочный штифт 4 для нанесения снимаемых точек. На колонке

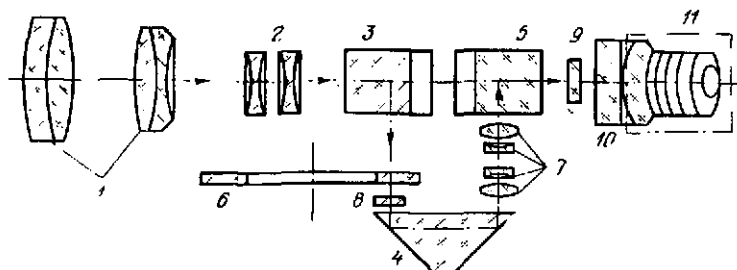


Рис. 155. Оптическая схема кипрегеля КИ

укреплен цилиндрический уровень *11*, служащий для приведения в горизонтальное положение плоскости планшета.

Мензуральная подставка с планшетом состоит из двух частей: верхней и нижней. Верхняя часть представляет диск *5*, который посредством водильца и наводящего винта *7* соединен с планшетом *6*.

Планшет-доска размером  $600 \times 600$  мм служит для установки металлической основы и кипрегеля. Перемещение планшета по азимуту осуществляется наводящим винтом *7*, а установка по уровню — винтами *8*. Нижняя часть — металлическая конструкция соединяется с верхней закрепительным винтом.

Штатив состоит из столика и трех деревянных ножек с металлическими наконечниками. Ножки шарнирно соединены со столиком штатива.

Оптическая схема кипрегеля КИ состоит из зрительной трубы и стеклянного вертикального круга, снабженного системой призм, передающих изображение кривых расстояний и превышений, нанесенных на поверхности круга, и изображение рейки в окуляр зрительной трубы (рис. 155).

Зрительная труба имеет четырехлинзовый объектив *1*, фокусирующую линзу *2*, сетку нитей *9* с дальномерными штрихами, окуляр *11* с призмой *10*. Призма *3* служит для передачи изображения рейки на вертикальный круг *6*, на котором нанесены начальная окружность, кривые горизонтальных проложений и превышений. Пройдя вертикальный круг, лучи света через коллектив *8* попадают в призму *4*, которая направляет их в оборачивающую систему *7*, состоящую из четырех объективов. Затем лучи света призмой *5* передаются на сетку нитей *9*.

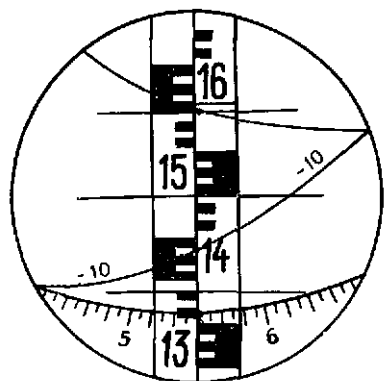


Рис. 156. Поле зрения кипрегеля КН

ному штриху сетки нитей. Например, на рис. 156  $s = 23,5 \text{ см} \times 100 = 23,5 \text{ м}$ .

Точность определения превышений зависит от величины МО вертикального круга, поэтому из наблюдений на 2—3 точки определяют МО и вычисляют его значение по формуле

$$МО = (П - Л) / 2. \quad (IX.1)$$

Если значение МО более 1', то МО нужно привести к 0. Для этого наводят трубу на точку при положении круга право и вращением наводящего винта вертикального круга устанавливают в поле зрения отсчет, соответствующий углу наклона, который вычисляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} v &= (П + Л) / 2; \\ v &= П - МО; \\ v &= Л + МО. \end{aligned} \right\} \quad (IX.2)$$

Исправительными винтами уровня, соединенного с вертикальным кругом, приводят пузырек уровня на середину, для чего предварительно снимают колпачок. Приведя пузырек уровня вертикального круга в нуль-пункт, можно установить в поле зрения трубы отсчет, равный МО, при помощи наводящего винта трубы. Вращением винта вертикального круга приводят отсчет в поле зрения трубы к нулю, после чего исправительными винтами уровня вертикального круга приводят пузырек уровня на середину.



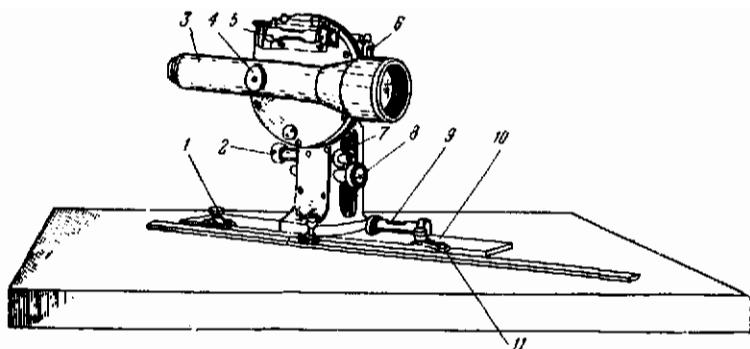


Рис. 157. Кипрегель КА-2

Превышения вычисляют по формуле

$$h = K l_h + i - H, \quad (\text{IX.3})$$

где  $H$  — отсчет по рейке с помощью начальной окружности,  $i$  — высота прибора.

При  $i = H$

$$h = K l_h. \quad (\text{IX.4})$$

Специальная рейка для кипрегеля КН имеет нуль, который устанавливается с помощью выдвижной подставки на высоту прибора. При определении расстояний или превышений начальную окружность нужно наводить на нуль рейки. Измерения выполняют при круге лево. При работе можно использовать обыкновенную нивелирную рейку. Пример определения превышений показан на рис. 156, где  $h = (-10) \cdot 7 \text{ см} = -0,70 \text{ м}$ .

Кипрегель КА-2 (рис. 157) имеет прямую зрительную трубу с внутренним фокусированием, персводимую через зенит объективным концом. Частями прибора являются подвижная линейка 1 с шарниром 11, соединяющим ее с основной линейкой 10, колонка 7, зрительная труба 3 с кремальерой 4, закрепительный (на рис. 157 не виден) и наводящий 2 винты трубы, реверсивный уровень 5 на кожухе вертикального круга, вращающегося вместе с трубой, уровень 6 при вертикальном круге, наводящий винт 8 уровня 6, цилиндрический уровень 9 и масштабная линейка на основной линейке.

На склеенной поверхности призмы-сетки зрительной трубы имеются три коротких дальномерных штриха, ви-

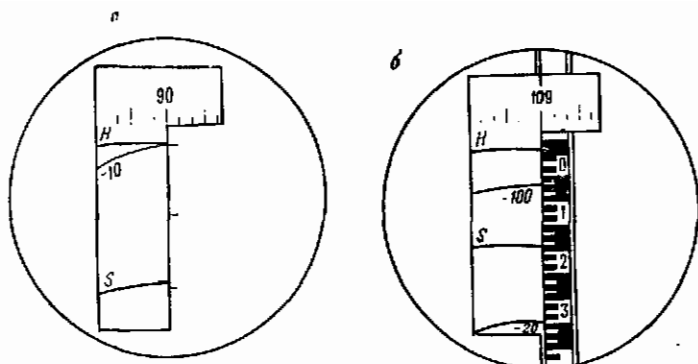


Рис. 158. Поле зрения трубы кипрегеля КА-2

димых в поле зрения трубы. Крайние штрихи (рис. 158, а) нанесены из расчета коэффициента дальномера 100. В поле зрения трубы, кроме дальномерных штрихов, видны изображения кривой горизонтальных проложений  $s$ , кривых превышений с коэффициентами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$ ,  $\pm 100$  и начальной кривой  $H$ . Кривые, нанесенные на вертикальном круге, рассчитаны для углов наклона от  $+35^\circ$  до  $-35^\circ$ . На круге нанесены деления через  $10'$  с оцифровкой через  $1^\circ$ . Поле зрения трубы кипрегеля КА-2 показано при круге лево и имеет Г-образный вид номограммы.

Для определения горизонтальных проложений правую грань посеребренной полоски призмы-сетки совмещают с гранью делений рейки, отсчитывают число делений на рейке от основной кривой  $H$  до кривой  $s$  и умножают его на коэффициент, равный 100. Например, на рис. 158, б приведен случай, когда  $s = 0,192 \text{ м} \times 100 = 19,2 \text{ м}$ .

Для определения превышения  $h'$  отсчитывают число делений на рейке от основной кривой до соответствующих кривых превышений и умножают на коэффициент. Например (см. рис. 158, б),  $h' = 0,346 \text{ м} \times (-20) = -6,92 \text{ м}$  и  $h' = 0,069 \text{ м} \times (-100) = -6,9 \text{ м}$ .

Отсчет по вертикальному кругу производят по индексу на горизонтальной полоске. Например, на рис. 158, б представлен отсчет равный  $109^\circ$ . При значении места нуля, равном  $90^\circ$ , значение угла наклона, вычисленное по формуле (III.17), равно:  $90^\circ - 109^\circ = -19^\circ$ .

Кипрегель КБ-1 (рис. 159) имеет стеклянный верти-

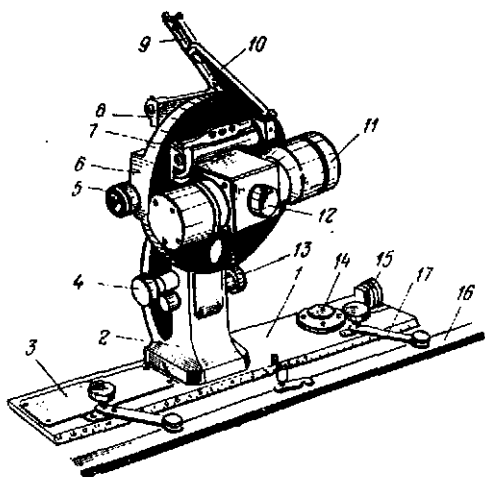


Рис. 159. Кипрегель КБ-1

кальный круг, на который кроме градуированной шкалы, нанесена такая же номограмма, как в тахеометре Дальта 010 (см. рис. 97). Изображение ее при помощи системы призм передается в поле зрения трубы (рис. 160) при круге лево. Кипрегель имеет две линейки: основную 1 (см. рис. 159), к которой прикреплена колодка 2, и подвижную 16, соединенную с основной шарнирными параллелограммами 17. Линейка 16 дает возможность наносить на планшет снимаемые точки, перемещая кипрегеля. К основной линейке прикреплены: масштабная линейка 3, круглый уровень 14 (в позднейших выпусках прибора заменен цилиндрическим) и ролик 15 для поворота кипрегеля в азимутном направлении при визировании на точку.

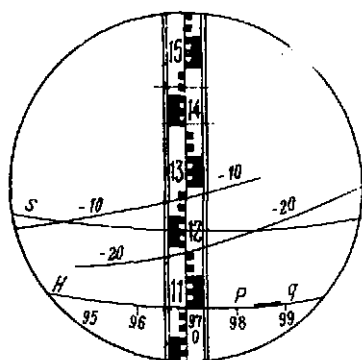


Рис. 160. Поле зрения трубы кипрегеля КБ-1

Ломаная зрительная труба внутреннего фокусирования с объективом 11 и окуляром 5 переводится через

зенит окулярным концом, имеет кремальеру 12 для фокусирования по предмету и наводящий винт 4. К вращающемуся с трубой кожуху 6 вертикального круга прикреплен реверсивный уровень 7 с зеркалом 10 и к вертикальному кругу — уровень 8 с зеркалом 9 и наводящим винтом 13.

В поле зрения трубы (см. рис. 160) при круге лево видны: короткие дальномерные штрихи с коэффициентом дальномера, равным 200, и кривые: основная  $H$  с контрольным утолщенным штрихом  $pq$  (для исследования эксцентриситета вертикального круга), горизонтальных проложений  $s$  и превышений  $h$  с коэффициентами  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  и  $\pm 100$ . Номограмму используют при углах наклона  $\pm 44^\circ$ . Кроме того, в поле зрения трубы видна шкала вертикального круга, изображение которой совпадает с основной дугой номограммы.

Горизонтальное проложение  $s$  равно произведению разности отсчетов по рейке между кривыми  $H$  и  $s$  на коэффициент 100. Например, на рис. 160  $s=0,13 \text{ м} \times 100 = 13 \text{ м}$ .

Для измерения вертикальных углов наводят точку пересечения вертикальной нити сетки с основной кривой на цель и делают отсчет по шкале вертикального круга. Вертикальная нить используется как отсчетный индекс. Перед отсчитыванием необходимо привести в нуль-пункт пузырек уровня при вертикальном круге. На рис. 160 отсчет равен  $97^\circ$ . Если место нуля равно  $90^\circ$ , то в соответствии с формулой (III.17) значение угла наклона равно  $-7^\circ$ .

Для определения превышений  $h'$  считают число делений на рейке между основной кривой  $H$  и кривой превышений, пересекающей изображение рейки, и умножают его на коэффициент кривой. На рис. 160 приведен случай, когда  $h'=0,18 \text{ м} \times (-10) = -1,80 \text{ м}$  и  $h' = 0,09 \text{ м} \times (-20) = -1,80 \text{ м}$ .

Кипрегели КА-2, КБ-1 и КБ не выпускаются, но еще рекомендуются Руководствами и Инструкциями для использования в производстве.

Кипрегель КБ (рис. 161) состоит из линейки 1 с цилиндрическим уровнем 3 и исправительным винтом 2 при нем, колочки 16, укрепленной на линейке, и зрительной трубы 7, вращающейся вместе с вертикальным кругом 9. Труба переводится через зенит объективным концом. Зрительная труба имеет паружную фокусировку. При фокусировании трубы на различно удаленные предметы пользуются кремальерой 12. Установка трубы по глазу наблюдателя произво-

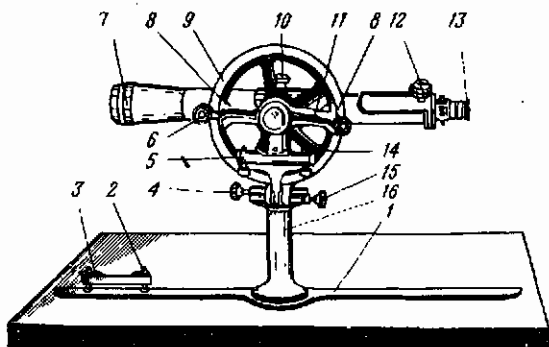


Рис. 161. Кипрегель КВ

дится вращением оправы окуляра 13. Зрительная труба снабжена закрепительным 10 и наводящим 4 винтами.

Отсчет по вертикальному кругу производится при помощи верньеров 8 и луны 6. Пузырек уровня 5 на алидаде 11 вертикального круга 14 перед отсчетом по кругам приводит в нуль-пункт наводящим винтом 15.

Сетка нитей имеет четыре горизонтальные нити и одну вертикальную. Средняя нить делит на равные части расстояние между крайними нитями; четвертая добавочная, нить делит пополам расстояние между крайней и средней нитями. Коэффициент нитяного дальномера 100 с допуском отклонения 0,2 %. Постоянное слагаемое дальномера равно 0,57 м. Расстояние, измеренное дальномером, вычисляют по формуле (IV.7), а превышение — по формуле (IV.2) или (IV.3), (IV.4).

Ориентир-буссоль служит для ориентирования планшета по магнитному меридиану, для чего буссоль прикладывают к восточной или западной стороне рамки трапеции и вращают планшет до тех пор, пока северный конец магнитной стрелки не укажет отсчет, соответствующий склонению магнитной стрелки.

Мензуральная ориентир-буссоль (рис. 162, а) имеет неполное градуированное кольцо, заключенное в удлиненный корпус прямоугольной формы. Она состоит (рис. 162, б) из корпуса 1, магнитной стрелки 3, арретира 2, двух оцифрованных шкал 5 и защитного стекла 4. В центре коробки помещается стальной шпиль 6 конической формы. Стальную магнитную стрелку делают в виде пластины одинаковой толщины и ширины и устанавливают ее на ребро. В середине геометрической оси стрелки

ввинчена медная шляпка 7, внутри которой помещен кусочек агата 8 с углублением конической формы. Магнитная стрелка агатовым подпятником накладывается на острие шпиля. Благодаря такому устройству поверхности шпиля и агата трение становится малым и стрелка может свободно вращаться или висеть на шпиле.

2. *Исследования и проверки приборов и принадлежностей мензульного комплекта.* Осмотр прибора. При получении приборов их нужно тщательно осмотреть для выявления неисправностей в отдельных частях (трещины, царапины, вмятины и т. д.), дефектов упаковки, проверить наличие принадлежностей и запасных частей (ключи, отвертки, масленки, уровни, шпильки и т. д.) и их качество. При осмотре нужно убедиться в том, что запасные части подходят к данному прибору.

При осмотре мензулы следует убедиться в отсутствии трещин в деревянных частях, в правильном креплении ножек штатива, прочности прикрепления подставки мензулы к головке штатива, а доски к подставке. Концы болтиков на головке штатива должны плотно входить в углубления нижней доски деревянной подставки мензулы. Планки и винты, служащие для прикрепления мензульной доски к деревянной подставке, должны быть подогнаны к гнездам в нижней поверхности мензульной доски. Нарезка станového винта должна соответствовать нарезке его рукоятки, подъемные винты плавно вращаться. Закрепив становой винт, «проверяют» плавно ли вращается наводящий винт и нет ли у него мертвого хода.



Рис. 162. Ориентир-буссоль

При осмотре кипрегеля следует обратить внимание на качество изображения в зрительной трубе предметов, находящихся на разных расстояниях, на возможность получения резкого изображения сетки нитей; на качество штрихов и цифровки на вертикальном круге. Необходимо проверить плавность работы наводящего и закрепительного винтов и кремальеры трубы, убедиться, что нет зазоров между вертикальным кругом и алидадой. Края последней должны плотно прилегать к кругу. Вертикальный круг кипрегеля должен быть прочно соединен со зрительной трубой, а алидада — с уровнем на ней.

При осмотре ориентир-буссоли следует убедиться в надежности действия арретира и в достаточной чувствительности магнитной стрелки.

Поверки мензулы. 1. *Мензула должна быть устойчивой.* Трубу кипрегеля, установленного на мензульной доске, наводят на точку и слегка постукивают рукой с боков мензульной доски. В этот момент изображение точки сходит с перекрестия сетки нитей. Если прекратить постукивание, то изображение точки должно вернуться в прежнее положение. Если этого нет, то условие не выполняется.

Трубу кипрегеля наводят на точку и слегка постукивают сверху доски. Условие выполнено, если мензула пружинит, т.е. после прекращения нагрузки на доску труба остается наведенной на точку. Если условие не выполнено, то следует проверить крепление доски к подставке, крепление подставки к головке штатива, крепление наконечников на концах ножек штатива. Проверяют, нет ли люфта в подъемных винтах и в головке штатива. В случае необходимости регулируют вращение подъемных винтов и завинчивают барашки, которыми удерживается головка штатива. Если и после этого мензула остается неустойчивой, то ее следует отдать в ремонт.

2. *Верхняя поверхность мензульной доски должна быть плоскостью.* Поверка производится выверенной линейкой кипрегеля, скошенным краем которой проводят вдоль доски в двух взаимно перпендикулярных направлениях и смотрят, нет ли просветов между ребром линейки и поверхностью доски. Если просветы более 0,5 мм, то доску следует исправить в столярной мастерской.

3. *Верхняя поверхность мензульной доски планшета должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения подставки мензулы,*

У мензулы с деревянной подставкой это условие поверить нельзя.

У мензулы с металлической подставкой оно поверяется следующим образом: с помощью цилиндрического уровня на линейке кипрегеля и подъемных винтов мензулы приводят верхнюю плоскость доски в горизонтальное положение, т. е. горизонтируют планшет так же, как и теодолит (см. задание III.4). У исправной мензулы после горизонтирования ее ось вращения займет отвесное положение. Открыв закрепительный винт 2 (см. рис. 151) подставки, медленно вращают доску. Если пузырек уровня отклоняется от нуля-пункта не более чем на 2 деления, то условие выполнено. В противном случае мензулу следует отремонтировать в мастерской.

Исследования кипрегеля: правильность нанесения делений на вертикальном круге; определение влияния эксцентриситета алидады вертикального круга на отсчет; определение увеличения и угла поля зрения трубы выполняются по указаниям, приведенным в задании III.4.

**Поверки кипрегеля 1. Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией.**

На прикрепленной к доске бумаге прочерчивают остро заточенным карандашом линию вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля. Затем поворачивают кипрегель на  $180^\circ$ , прикладывают скошенное ребро линейки его к прочерченной линии с другой стороны и еще раз прочерчивают линию. Если линии совпадут или отклонятся в пределах  $0,1$  мм, то условие выполнено. При больших отклонениях линейку кипрегеля нужно исправить в мастерской.

**2. Нижняя поверхность линейки кипрегеля должна быть плоскостью.**

Для проверки прикладывают линейку кипрегеля к какой-либо выверенной поверхности, принимаемой за плоскость. Если концы линейки несколько выгнуты кверху, то поставленный на доску кипрегель менее устойчив и линейку следует исправить в мастерской. Небольшая вогнутость концов линейки книзу значения не имеет, так как под тяжестью кипрегеля, поставленного на доску, она устраняется.

**3. Дополнительная (подвижная) линейка 3 (см. рис. 154) и 16 (см. рис. 159), находясь на разных расстояниях от основной линейки 10 и 1, должна перемещаться параллельно самой себе.**



При неподвижном положении кипрегеля на планшете устанавливают дополнительную линейку на нескольких различных расстояниях от основной линейки и каждый раз прочерчивают вдоль скошенного ребра остро заточенным карандашом линию. Измерителем сравнивают в разных местах расстояния между двумя прочерченными линиями. Если условие выполнено, то эти расстояния должны быть одинаковыми; колебания не должны превышать 0,2 мм. В противном случае линейку исправляют в мастерской.

*4. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.*

Линейку кипрегеля устанавливают в середине мензульной доски по направлению двух подъемных винтов, вращением которых приводят пузырек уровня в нуль-пункт, и прочерчивают линию. Затем поворачивают кипрегель и прикладывают его к этой линии с другой стороны. Если пузырек уровня остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае с помощью исправительных винтов уровня пузырек перемещают на половину дуги отклонения в сторону нуль-пункта. После этого поверку повторяют и, если нужно, еще раз производят исправление положения уровня. После исправления уровня горизонтируют планшет, для чего устанавливают линейку кипрегеля по направлению третьего подъемного винта, и, вращая его, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Планшет считается горизонтированным удовлетворительно, если при любом положении кипрегеля пузырек уровня на его линейке отклоняется от нуль-пункта не более чем на 2 деления.

*5. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы.*

Трубу кипрегеля наводят на ясно видимую визирную цель и прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки кипрегеля, отметив на ней в середине точку. Затем трубу переводят через зенит, прикладывают линейку кипрегеля к отмеченной точке и визируют на ту же цель. После этого вдоль ребра линейки кипрегеля снова прочерчивают линию. Если линии совпадут, то условие выполнено; если между ними образуется угол, то нужно провести биссектрису и к ней приложить линейку кипрегеля. Когда перекрестие сетки нитей сместится с изображения цели, тогда боковыми исправительными вин-

тами сетки передвигают перекрестие нитей до совпадения с изображением визирной цели.

6. *Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля.*

Наводят трубу на высоко расположенную точку на стене здания в 10—20 м от прибора. Затем опускают трубу до горизонтального положения и на стене отмечают карандашом проекцию перекрестия сетки нитей. После этого переводят трубу через зенит, наводят ее на ту же точку, опускают трубу и отмечают проекцию пересечения сетки нитей. Если проекции совпадают, то условие выполнено, в противном случае исправление производят в мастерской, так как исправительных винтов у колонки кипрегеля нет. При наличии опыта можно исправить нарушение этого условия, подложив лист фольги под колонку.

7. *Одна из нитей сетки должна лежать в коллимационной плоскости трубы кипрегеля.*

Наводят вертикальную нить сетки на точку и, вращая трубу, следят за положением изображения точки в трубе. Если оно все время остается на нити, то условие выполнено. В противном случае нужно повернуть окулярную часть или сетчатое кольцо, предварительно ослабив исправительные винты сетки нитей.

После исправления сетки нитей необходимо снова проверить перпендикулярность визирной оси к оси вращения трубы.

8. *При горизонтальном положении планшета грань серебряной Г-образной полоски в трубе кипрегеля КА-2 должна занимать вертикальное положение.*

Вертикальную грань Г-образной полоски наводят на нить отвеса. При отклонении полоски от вертикального положения исправление выполняют поворотом окулярного колена трубы при ослабленных закрепительных винтах.

9. *Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.*

Наводят трубу на удаленную точку местности и очерчивают линию вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля. На этой линии ставят две иголки и смотрят, находятся ли иголки и точка, на которую наведена труба, на одной линии. Если этого нет, то условие не выполнено. Исправить нарушенное условие можно только на за-

воде. На построение углов на планшете эта ошибка не влияет, так как все прочерченные направления будут повернуты на один и тот же угол. Нарушение этого условия отражается лишь на ориентировании планшета. При ориентировании планшета с помощью буссоли эту ошибку необходимо учитывать: на ее величину изменится склонение магнитной стрелки.

10. *Ось реверсивного уровня на кожухе вертикального круга должна быть параллельна визирной оси трубы.*

Наводят трубу на рейку, расположенную на расстоянии 100—150 м, приводят трубу в горизонтальное положение по цилиндрическому уровню и отсчитывают по рейке при двух положениях вертикального круга. Среднее значение из двух отсчетов по рейке, на которое необходимо направить визирную ось трубы, соответствует горизонтальному положению оси трубы. Исправительными винтами реверсивного уровня приводят пузырек в нуль-пункт. При положении пузырька уровня при вертикальном круге в нуль-пункте отсчет по кругу должен быть равен  $90^\circ$ , а отсчет по кривой превышений — нулю.

11. *Место нуля вертикального круга должно быть постоянным.*

Значение места нуля определяют путем наведения точки пересечения вертикальной нити с основной кривой на цель при круге право и лево с производством отсчетов  $\Pi$  и  $\Lambda$  по вертикальному кругу. Каждый раз перед отсчитыванием необходимо привести пузырек уровня в нуль-пункт, пользуясь наводящим винтом.

Определение и приведение места нуля к значению, близкому к нулю, у кипрегеля КБ производится так же, как у теодолита (см. задание III.6).

Место нуля у кипрегеля КБ-1 вычисляют по формуле

$$MO = (\Pi - 180^\circ + \Lambda) / 2. \quad (IX.5)$$

Определение места нуля повторяют, визируя на другую цель. Если расхождения между значениями места нуля не превышают удвоенной точности отсчитывания по вертикальному кругу, то место нуля можно считать постоянным.

Пример. При визировании на точку 1 получены отсчеты:  $\Pi_1 = 272^\circ 48'$ ,  $\Lambda_1 = 87^\circ 30'$ , на точку 2:  $\Pi_2 = 268^\circ 14'$ ,  $\Lambda_2 = 92^\circ 06'$ . По формуле (IX.5) получаем

$$MO_1 = \frac{272^\circ 48' - 180^\circ + 87^\circ 30'}{2} = 90^\circ 09',$$

$$MO_2 = \frac{268^\circ 14' - 180^\circ + 92^\circ 06'}{2} = 90^\circ 10'.$$

Так как  $MO_1 - MO_2 = 1'$  (для кипрегеля КБ=1), то место нуля можно считать постоянным.

Для приведения места нуля к нулю устанавливают при круге лево с помощью наводящего винта 13 (см. рис. 159) пузырек уровня 8 в нуль-пункт и вращением трубы — вертикальный круг на отсчет, равный  $MO$  (в нашем примере  $90^\circ 10'$ ). Затем вращением винта 13 совмещают вертикальную нить с изображением штриха  $90^\circ$  и, действуя исправительными винтами уровня 8, приводят пузырек в нуль-пункт.

Для контроля визируют при обоих положениях круга на новую цель и убеждаются в том, что место нуля не отличается от  $90^\circ$ .

В кипрегеле КИ место нуля определяется по формуле (IX.1), а угол наклона по формуле (IX.2).

Остаточный поворот номограммы практически соответствует величине  $MO$  или ошибки его определения и зависит от точности отсчитывания по вертикальному кругу и факторов, влияющих на постоянство  $MO$ .

Непостоянство  $MO$  нуля зависит от нарушения крепления вертикального круга с трубой, цилиндрического уровня с вертикальным кругом, а также от неизменного положения визирной оси трубы. Если непостоянство  $MO$  превышает допустимую величину, то выясняют причину и устраняют ее.

При определении превышений с ошибкой до 1 см нужно точно устанавливать  $MO$  вертикального круга, особенно при малых углах наклона ( $\Delta v \leq 0,15'$ ). Влияние ошибки за отсчет остаточного поворота номограммы можно уменьшить, используя отсчетное устройство в виде шкалового микроскопа.

На измерение горизонтальных проложений остаточный поворот номограммы не оказывает заметного влияния.

12. *Вертикальный круг не должен иметь эксцентриситета.*

Для выявления эксцентриситета (кипрегель КБ-1) вращают трубу и наблюдают за положением контрольного штриха  $pq$  (см. рис. 160) относительно основной кривой  $H$ . Если эксцентриситета нет, то штрих должен проецироваться на изображение начальной кривой  $H$

или отклоняться от нее не более чем на три толщины самого штриха. В противном случае прибор следует направить в мастерскую для регулировки лимба.

Эксцентриситет номограммы. Когда центр основной окружности номограммы не совпадает с осью вращения трубы, превышения и горизонтальные проложения, измеренные по кривым, будут отличаться от их действительных значений на величины ошибок за эксцентриситет основной кривой и всей номограммы.

При центрировании окружности с точностью  $e = 0,004$  мм и радиусе окружности  $r \geq 50$  мм ошибка определения превышений не более 0,8 см при коэффициенте 100.

Для исследования измеряют превышения прямо и обратно по 8—10 раз, вычисляют средние превышения  $h_{ср}$  и разности между средним превышением и истинным  $\Delta h = h_{ср} - h_{ист}$ . По расхождениям между прямым и обратным превышениями и по разностям  $\Delta h$  с графика определяют  $\theta$ , ( $e_{max}$  при  $\theta = 90$  или  $270^\circ$ ,  $v = 0$ ), вычисляют разности  $\Delta v$  и линейный элемент центрирования  $e$ .

Составляют таблицу поправок в превышения за эксцентриситет по углам наклона и расстояниям и вводят поправки в односторонние превышения, если  $e \geq 0,01$  мм. Неравенство расстояний приводит к накоплению ошибок.

При боковом сдвиге номограммы ошибка за эксцентриситет компенсируется, если соблюдается равенство расстояний при определении превышений. При углах наклона до  $5^\circ$ , если  $e \leq 0,1$  мм, то горизонтальные проложения свободны от влияния эксцентриситета.

### 13. Ошибки нанесения кривых.

Для удобства отсчитывания по рейке целесообразно иметь меньшую крутизну кривых при данной величине коэффициента  $K$ . Уменьшение крутизны кривых при постоянстве коэффициентов  $K$  и углов наклона  $v$  можно достичь выбором большего радиуса  $r$  основной окружности или уменьшением фокусного расстояния объектива трубы.

При  $v \leq \pm 45^\circ$   $\Delta v \leq 1'$ ,  $\Delta s_x/s \leq 1/3400$ , т. е. значительно меньше ошибки отсчета по рейке. Крутизна кривой горизонтальных проложений не влияет на точность измерения расстояний по номограмме. При  $s = 100$  м  $m_0 = 0,2'$ , ошибка за наклон кривых 0,6 см, что меньше ошибки отсчета по рейке.

14. Основная кривая номограммы должна быть расположена так, чтобы ее можно было совмещать с изображением нуль-пункта рейки, а положение указателя должно обеспечить возможность отсчитывания по вертикальному кругу.

Визируют на рейку комплекта кипрегеля, при невозможности совмещения изображения ее нуль-пункта с основной кривой снимают боковую крышку трубы и, пользуясь исправительными винтами, находящимися ближе к окуляру, добиваются соблюдения поверяемого условия.

Определение коэффициента нитяного дальномера и кривых номограммы. Определение коэффициента нитяного дальномера производят так, как описано в задании IV.2, а коэффициента кривых номограммы — по правилам, изложенным в задании VII.3.

Если фактическое значение коэффициента дальномера или коэффициента кривой горизонтальных проложений отличается от 100 больше чем на 0,2, то в измеренные величины необходимо вводить поправки. У кипрегеля КН перемещением линз объектива отсчетной системы при помощи исправительных винтов можно добиться совпадения изображения концов кривой горизонтальных проложений с отсчетом по рейке, установленной на расстоянии 100 м, равным 100 см. Перемещая линзы объектива отсчетной системы, надо следить за тем, чтобы не было параллакса изображений кривых номограмм. После исправления необходимо закрепить исправительные винты.

Фактическое значение  $K_{\phi}$  коэффициентов кривых превышений можно определить по результатам проложения ходов между реперами геометрического нивелирования, разность высот которых известна с ошибкой не более 3 мм, углы наклона местности должны быть не более  $3^{\circ}$ , а расстояние не более 100 м, т. е.

$$K_{\phi} = K (h_0/h), \quad (IX.6)$$

где  $h_0$  — превышение, полученное из геометрического нивелирования;  $h$  — превышение, определенное по номограмме с учетом номинального значения коэффициента кривой  $K$ .

Если  $K_{\phi} = 10 \leq 0,1$ ;  $K_{\phi} = 20 \leq 0,2$ ;  $K_{\phi} = 100 \leq 0,4$ , то можно пользоваться номинальными значениями коэффициентов кривых превышений. При больших расхождениях

целесообразно в значения  $h$ , вычисленные в зависимости от номинальных значений коэффициентов превышений, вводить поправки, умножая на поправочные коэффициенты  $N$ , имеющие такие значения:  $N_{10}=0,1 K_{\Phi_{10}}$ ,  $N_{20}=0,05 K_{\Phi_{20}}$  и  $N_{100}=0,01 K_{\Phi_{100}}$ .

Например, если при  $K_{\Phi_{20}}=20,03$  вычисленное в зависимости от  $K_{20}=20$  значение превышения равно  $h=10,00$  м, то его исправленное значение  $h_{\text{испр}}=10,00 \times 0,05 \times 20,03=10,00 \times 1,002=10,02$  м.

Средняя квадратическая ошибка определения коэффициента кривой превышений может быть вычислена по формуле

$$m_{K_n} = \frac{m_{h_n}}{h} K_n, \quad (\text{IX.7})$$

Из формулы (IX.7) следует, что чем больше при данном  $K_n$  значение  $h$ , тем точнее определяется коэффициент  $K_n$ . Число  $n$  независимых определений  $K_n$  по формуле (IX.6) должно быть не менее 9. На точность определения коэффициентов кривых превышений и горизонтальных проложений влияют ошибки расчета и построения кривых, остаточного поворота и сдвига номограммы и юстировки оптической системы. Ошибки в расчетах кривых нужно обнаружить контрольными вычислениями и устранить. Коэффициент кривой горизонтальных проложений определяется надежнее, чем для кривой превышений, так как она дальше отстоит от начальной кривой. Для уменьшения влияния ошибок внешних условий измерения нужно проводить при различных условиях.

**Проверка ориентир-буссоли. 1. Стрелка буссоли должна быть хорошо намагничена и обладать достаточной чувствительностью.**

Для проверки буссоль кладут на тщательно приведенный в горизонтальное положение планшет и прикрепляют арретир. Делают отсчет по одному концу стрелки и выводят ее из равновесия железным предметом. Если после незначительных колебаний стрелка устанавливается на прежнем отсчете, то она достаточно чувствительна. Проверку повторяют несколько раз. Если стрелка показывает разные отсчеты, то она плохо намагничена, следовательно, обладает малой чувствительностью. Эти дефекты являются следствием того, что плохо отточено острие шпиль, на котором стрелка вращается, или плохо отшлифован агат, заключенный в ее шляпке. Исправление возможно только в мастерской.

## 2. Стрелка буссоли должна быть уравновешена.

Буссоль ставят на планшет, приведенный в горизонтальное положение, открепляют арретир и смотрят на стрелку. Условие выполнено, если концы свободно подвешенной стрелки находятся в плоскости буссоли. Если один ее конец приподнят, то нужно передвинуть грузик, имеющийся на одном конце магнитной стрелки.

3. *Магнитная стрелка не должна иметь эксцентриситета, т. е. ось вращения стрелки должна проходить через центр кольца буссоли.*

Влияние эксцентриситета магнитной стрелки определяют по отсчетам, взятым по обоим концам стрелки на разных частях кольца буссоли. Эти отсчеты в зависимости от подписи кольца буссоли должны либо быть одинаковыми, либо отличаться на  $180^\circ$ . Влияние эксцентриситета стрелки исключается в среднем из отсчетов. Отсчеты по кольцу буссоли округляют до  $0,2^\circ$ .

4. *Диаметр  $ab$  градусного кольца, проходящий через нулевые штрихи (см. рис. 162, а), должен быть параллелен боковому ребру  $cd$  или  $ef$  коробки буссоли.*

Измеряют измерителем расстояния  $ac$  и  $ae$ ,  $bd$  и  $bf$ . Расхождения между ними не должны превышать  $0,1$  мм. Исправить можно лишь в специальной мастерской.

3. *Изготовление дальномерных реек.* При работе кипрегелем КБ используют обычные 3-метровые дальномерные рейки, а для кипрегелей КН, КБ-1, КА-2 и, кроме этих реек, могут быть использованы рейки 3—4-метровой длины с круглым уровнем, односторонние — с сантиметровыми делениями на правой стороне и цифрами — на левой стороне или двусторонние — с сантиметровыми делениями на одной и 2-сантиметровыми делениями на другой стороне, с выдвигающейся на  $0,3—0,5$  м подставкой. Нуль-пункт такой рейки располагается на высоте, равной  $1$  м над пяткой. Рейка должна иметь марку, соответствующую высоте прибора (нуль рейки), на которую наводят начальную окружность номограммы при определении горизонтальных проложений и превышений.

Для облегчения пользования дальномером кипрегеля КБ, если его коэффициент не равен  $100$ , к кипрегелю можно изготовить рейку с таким расчетом, чтобы коэффициент дальномера был равен  $100$ .

Для изготовления рейки на ровной местности (с углом наклона  $\nu < 2^\circ$ ) разбивают базис АЕ длиной  $200$  м, измерив расстояния  $50$ ,  $100$ ,  $150$  и  $200$  м мерной лентой



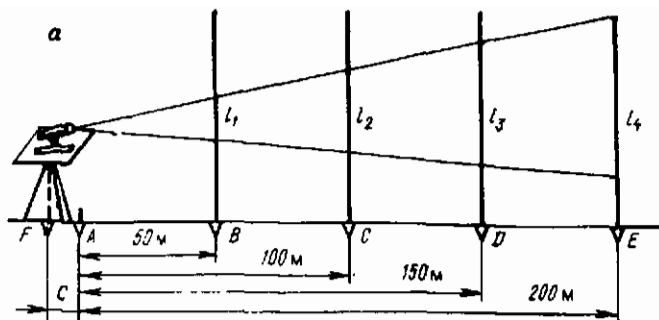


Рис. 163. Разметка дальномерной рейки

с точностью 1 : 3000 и закрепив точки *A, B, C, D, E* на местности колышками (рис. 163, *a*).

От точки *A* в створе линии *EA* откладывают величину слагасмого дальмера *C* и в полученной точке *F* забивают колышек.

Над точкой *F* устанавливают мензулу с кипрегелем, а в точке *B* — деревянный брусок длиной 3—4 м, шириной 8 см и толщиной 2,5—3 см. Деревянный брусок предварительно окрашивают белой масляной (или эмалевой) краской и тщательно просушивают.

Наводят трубу кипрегеля на брусок так, чтобы нижняя дальномерная нить совпала с верхним обрезом его; затем по указанию наблюдателя помощник отмечает карандашом по линейке на бруске проекцию второй дальномерной нити. Далее брусок последовательно переставляют на остальные колышки и каждый раз указанным выше способом отмечают на нем карандашом по линейке дальномерный интервал *l*, соответствующий данному расстоянию. Отрезок рейки, соответствующий расстоянию в 50 м, должен быть в 2,3 и 4 раза меньше отрезков соответствующих 100, 150 и 200 м. Расхождения не должны быть более 0,3—0,5 см.



Затем рейку раскрашивают (см. рис. 163, б). Верхний отрезок рейки, соответствующий расстоянию в 50 м, делят на 25 частей, а остальную часть рейки закрашивают отрезками по 50 м. Одно наименьшее деление рейки, показанной на рис. 163, б, соответствует на местности 2 м. Возможна и другая форма раскраски рейки для мензуральной съемки в масштабе 1 : 10 000.

Общая длина раскрашенной части рейки должна позволять измерять расстояния до 300 м при отсчитывании по крайним дальномерным нитям.

На бруске следует отметить две марки, расположенные на высоте 2—3 м над основанием его: ими пользуются для контроля измерения расстояний. На боковом ребре бруска нужно нанести сантиметровую шкалу в интервале 1,00—1,50 м над основанием бруска для измерения с ее помощью высоты прибора.

Длину рейки от пятки до верхнего среза, измеренную рулеткой до 0,01 м, номер кипрегеля, для которого изготовлена рейка, и номер бригады выписывают на свободной от делений части бруска или на обратной стороне рейки красной краской.

4. *Уход за мензурным комплектом и его хранение.* Кипрегель является оптическим прибором, поэтому требует к себе особо бережного обращения. Необходимо следить за тем, чтобы он не подвергался воздействию сырости и пыли. Кипрегель следует предохранять от толчков и сотрясений. После работы кипрегель нужно протереть, предварительно удалив пыль и грязь со стеклянных частей специальной кисточкой. Остальные части протирают мягкой салфеткой. Разбирать и смазывать кипрегель не рекомендуется. Вынимать кипрегель из ящика и укладывать его в ящик следует за ручку колонки, чтобы не ударить части кипрегеля о деревянные колодки. Штатив и рейки после работы протирают сухой тряпкой.

Хранить мензурный комплект следует в сухом отапливаемом помещении при влажности воздуха не более 70—80 % и при температуре не ниже +5 °С. Планшет следует предохранять от сырости.

При переносе планшета в чехле нужно рабочую поверхность планшета укладывать на мягкую гладкую поверхность чехла, чтобы планшета не касались пряжки, ремни и другие предметы, которые могут повредить его лицевую сторону.

Мензульный комплект нельзя хранить в непосредственной близости от массивных железных и стальных предметов, а также вблизи магнитов и электрических проводов.

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Поверки и исследования приборов и принадлежностей, применяемых при мензульной съемке, изготовление реек для данного кипрегеля должны быть выполнены каждой бригадой студентов, состоящей из 4—5 человек, причем исследования и поверки выполняет каждый студент бригады.

### Задание IX.2

#### Подготовка планшета для мензульной съемки

I. Задача: подготовить планшет размером  $60 \times 60$  см для мензульной съемки в масштабе 1 : 10 000.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 174.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, пункт 4.3.1.

*Таблицы координат Гаусса — Крюгера и размеров рамок и площадей трапеций топографических съемок.* М., Геодезиздат, 1963.

III. Приборы и принадлежности: мензульная доска с чехлом, жесткая алюминиевая или фанерная основа размером  $60 \times 60$  см, линейка Дробышева, гвозди диаметром 1 см — 10 шт., лист чертежной бумаги и кальки, жесткий карандаш 2Т-5Т, мягкая резинка, крахмальный клей, нож перочный, чертежные перья и ручки, журнал мензульной съемки, авторучка, тетрадь для вспомогательных вычислений.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) прикрепление жесткой основы к мензульной доске;
- 2) построение координатной сетки;
- 3) определение прямоугольных координат вершин съемочной трапеции;
- 4) нанесение на планшет вершин трапеции и пунктов геодезической основы по прямоугольным координатам;
- 5) нанесение на планшет ориентирных линий;
- 6) подготовка кальки высот;

- 7) наклейка «рубашки»;
  - 8) подготовка полевого журнала.
- V. Указания по выполнению задания.

1. *Прикрепление жесткой основы к мензульной доске.*

В настоящее время для мензульной съемки чаще всего используют готовую жесткую основу в виде листа алюминия или тонкой фанеры, на одну сторону которого наклеена чертежная бумага высокого качества, а на другую — плотная чертежная бумага для предохранения основы от изгиба. В виде основы иногда используют прозрачный пластик хостафан. Такую основу прибавляют к мензульной доске маленькими гвоздиками.

В виде исключения можно наклеивать чертежную бумагу Гознак непосредственно на мензульную доску с помощью взбитого яичного белка, разбавленного водой. Перед наклейкой чертежную бумагу с одной стороны смачивают водой и дают ей немного просохнуть, а сухую сторону бумаги смазывают белком и кладут на мензульную доску, хорошо разглаживая бумагу. Затем крахмальным клеем прикрепляют края бумаги к боковым граням мензульной доски.

2. *Построение координатной сетки.* Сетка строится по указаниям, приведенным в задании VII.4.

3. *Определение прямоугольных координат вершин съёмочной трапеции.*

Рассмотрим пример. Пусть даны прямоугольные зональные координаты исходного пункта  $x=6\ 071\ 226$  м,  $y=4\ 435\ 870$  м.

По значению преобразованной ординаты заданного пункта видно, что он находится в западной половине 4-й зоны на расстоянии  $y=435\ 870-500\ 000=-64\ 130$  м от осевого меридиана. Это значение непреобразованной ординаты будет учтено в дальнейшем. Зная номер зоны, нетрудно вычислить значение геодезической долготы  $L_{ос}$  осевого меридиана  $L_{ос}=6^{\circ}\times 4-3^{\circ}=21^{\circ}$ .

В применяемых для решения примера таблицах даны прямоугольные координаты вершин углов трапеции листов карт масштаба 1:25 000; однако путем интерполирования можно вычислить прямоугольные координаты вершин трапеции в масштабе 1:10 000.

Обращаясь к Таблицам координат Гаусса — Крюгера, на с. 138, в строке, соответствующей широтам  $B_{ю} = 54^{\circ}45'$  и  $B_{с} = 54^{\circ}50'$ , находим значения абсцисс, ближайших к значению абсциссы заданного пункта. Это ши-

## Вычисление прямоугольных координат углов рамки трапеции

$B$	$L, L_{oc} \quad l_s$	$L$	$L_B, L_{oc} \quad l_B$
	20°00'00"	20°03'45"	20°07'30"
	21 00 00		21 00 00
	-1 00 00		-0 52 30

## Абсциссы

54°50'00"	6 079 241,6	6 079 187,9—1,8	6 079 134,2
54 47 30	6 074 603,4	6 074 549,7—1,8	6 074 496,0
54 45 00	6 069 965,3	6 069 911,6—1,8	6 069 857,8

## Ординаты

54 50 00	-64 259,0	-60 243,0	-56 226,9
54 47 30	-64 325,2	-60 305,0	-56 284,8
54 45 00	-64 391,4	-60 367,0	-56 342,7

## Окончательные значения абсциссы

54 50 00	6 079 241,6	6 079 186,1	6 079 134,2
54 47 30	6 074 603,4	6 074 547,9	6 074 496,0
54 45 00	6 069 965,3	6 069 909,8	6 069 857,8

## Ординаты

54 50 00	4 435 741,0	4 439 757,0	4 443 773,1
54 47 30	4 435 674,8	4 439 695,0	4 443 715,2
54 45 00	4 435 608,6	4 439 633,0	4 443 657,3

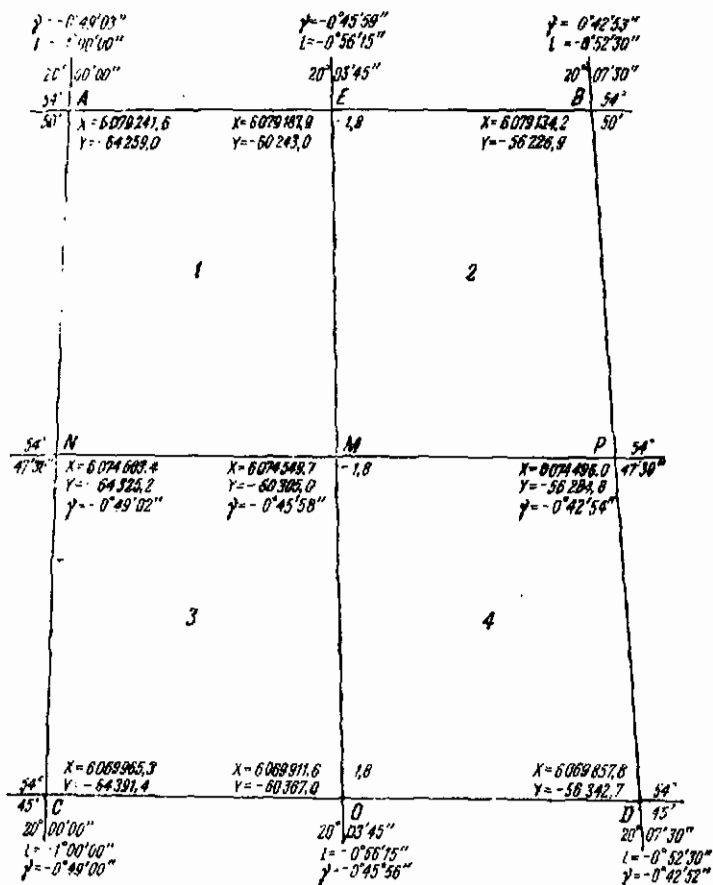
## Сближение меридианов

54 50 00	-0°49'03"	-0°45'59"	-0°42'55"
54 47 30	-0 49 02	-0 45 58	-0 42 54
54 45 00	-0 49 00	-0 45 56	-0 42 52

роты параллелей, ограничивающих лист карты масштаба 1 : 25 000.

На с. 139 по тем же данным находим столбцы со значениями непроброзованных ординат, ближайшими к значению непроброзованной ординаты заданного пункта. Такими столбцами являются графы с заголовками,

## N-34-41-B-a



представляющими собой значения разностей  $l$  долгот меридианов, ограничивающих лист карты масштаба 1 : 25 000, и осевого меридиана зоны  $l_3 = -1^{\circ}00'00''$  и  $l_B = -0^{\circ}52'30''$ , что соответствует геодезическим долготам от Гринвича  $L_3 = 20^{\circ}00'00''$  и  $L_B = 20^{\circ}07'30''$ . Значения широт  $B_0$ ,  $B_C$  и долгот  $L_3$ ,  $L_B$ , а также соответствующие табличные значения абсцисс и ординат выписываем на схематический чертеж (рис. 164, а) и в табл. 80. Судя по обозначению пояса (ряда), напечатанному вверху стр. 138 и 139 Таблиц, заданный пункт находится в пре-

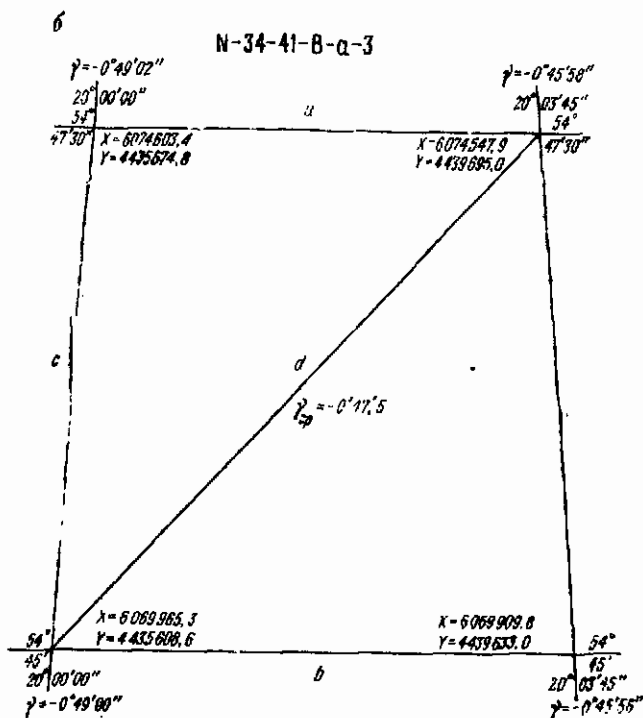


Рис. 164. Определение прямоугольных координат вершин съёмочной трапеции

делах листа N-34 карты масштаба 1 : 1 000 000. Пользуясь указаниями задания 1.4, находим номенклатуру листа карты масштаба 1 : 25 000: N—34—41—В—а.

Разделим этот лист на четыре части и, вычислив значения геодезических и прямоугольных координат вершин  $E$ ,  $N$ ,  $M$ ,  $P$  и  $O$  (см. рис. 164, а), определим, что заданный пункт расположен в пределах трапеции N—34—41—В—а—3 масштаба 1 : 10 000. Значения прямоугольных координат вершин  $E$ ,  $N$ ,  $M$ ,  $P$  и  $O$  вычисляем интерполированием, т. е. как среднее арифметическое из значений соответствующих координат вершин  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  трапеции масштаба 1 : 25 000. Они записаны как на рис. 164, а, так и в табл. 80.

В абсциссы вершин  $E$ ,  $M$  и  $O$  вводится со знаком минус поправка  $\delta x$  (за приведение сферической трапеции на

плоскость), выбираемая из таблицы на стр. 510 по аргументу «широта». В нашем примере она равна —1,8 м. Окончательные значения абсцисс и преобразованных ординат, вычисленные в табл. 80, выписаны на схематическом чертеже (рис. 164, б).

Из Таблиц сближения меридианов (с. 367) выписываем значения сближения меридианов для западной и восточной сторон трапеции масштаба 1 : 25 000 и интерполированием получаем значения сближения меридианов для трапеции масштаба 1 : 10 000. Значение сближения для среднего меридиана листа карты  $N-34-41-B-3-a-3$  равно  $\gamma = -0^{\circ}47,5'$ .

Из Таблиц размеров и площадей трапеций масштаба 1 : 10 000 находим на стр. 463 в зависимости от широты: длины сторон рамки: северной  $a_c = 40,20$  см, южной  $a_{ю} = 40,25$  см, боковой  $c = 46,38$  см, диагонали  $d = 61,39$  см и площадь  $P = 18,66$  км<sup>2</sup>. В значения  $a$ ,  $c$  и  $d$  нужно ввести поправки за искажение проекции Гаусса—Крюгера, значения которых помещены внизу каждой страницы таблицы. Эти поправки всегда положительны. Величина их зависит от долготы  $l$ , отсчитанной от осевого меридиана зоны.

4. *Нанесение на планшет вершин трапеции и пунктов геодезической основы по прямоугольным координатам.* По вычисленным прямоугольным координатам наносят вершины рамки трапеции на планшет в соответствии с указаниями задания VII.4 и проверяют штангенциркулем размеры сторон рамки трапеции. Расхождения их с вычисленными размерами не должны превышать 0,3 мм. Все известные опорные пункты наносят на планшет по прямоугольным координатам от ближайших линий координатной сетки с контролем по расстояниям между ними. Величина расхождения не должна превышать 0,3 мм. Если расхождения больше, то работу следует переделать заново, проверив накладку пунктов, а затем и построение координатной сетки.

На построение координатной сетки и нанесение геодезических пунктов на планшет следует обратить особое внимание, так как небрежно подготовленный планшет сводит полевую работу к браку.

Координатная сетка и нанесенные пункты на планшете закрепляются тушью. У каждого пункта пишут название или его номер и высоту до 1 см. На пунктах триангуляции и полигонометрии высоты пишут в виде дроби:





резки 83—84. Для этого необходимо по известным координатам полигонометрических пунктов 83 и 84 вычислить координаты точек  $a$  и  $b$ , лежащих на продолжении линии 83—84. Проще всего эту задачу можно решить, например в отношении точки  $a$ , из подобия прямоугольных треугольников 83,  $a'$ ,  $a$  и 84,  $a_1$ , 83, приняв катеты  $\Delta x'$  и  $\Delta y'$  первого из них в  $k$  раз большими катетов  $\Delta x$  и  $\Delta y$  второго, т. е.  $\Delta x' = k\Delta x$  и  $\Delta y' = k\Delta y$ . Тогда  $x_a = x_{83} + \Delta x'$  и  $y_a = y_{83} + \Delta y'$ . Если  $x_{83} = 6\,073\,0750$  м,  $y_{83} = 4\,437\,250$  м,  $x_{84} = 6\,073\,230$  м и  $y_{84} = 4\,437\,750$  м, то  $\Delta x = +520$  м и  $\Delta y = -500$  м. Приняв  $k = 2$ , получаем  $\Delta x' = +1040$  м и  $\Delta y' = -1000$  м, так что  $x_a = 6\,073\,750 + 1040 = 6\,074\,790$  м,  $y_a = 4\,437\,250 - 1000 = 4\,436\,250$  м.

Подобным же образом вычисляют координаты точки  $b$ . Коэффициент  $k$  выбирают с расчетом, чтобы точки  $a$  и  $b$  помещались на планшете. Их наносят на планшет по вычисленным координатам. Приложив ребро линейки кипрегеля к точкам  $a$  и  $b$ , смотрят, чтобы оно проходило через точки 83 и 84. В этом случае проводят за пределами трапеции «на полях» до края планшета отрезки (длиной около 5 см) и их подписывают 83—84.

Таким же образом можно вычислить координаты и прочертить направление на другой пункт, например на пункт триангуляции *Луч*, который не расположен на планшете, но хорошо виден с точки 83, и получить отрезки 83 — *Луч*. Выходы ориентирных линий прочерчивают карандашом и у них подписывают названия направлений.

У западной или восточной стороны рамки трапеции карандашом отмечают место для установки буссоли, над северной стороной рамки подписывают номенклатуру планшета.

6. *Подготовка кальки высот.* После выполнения указанных выше работ заготавливают кальку высот. Для нее используют бумажную кальку, которую с одной стороны предварительно протирают растительным маслом, чтобы она была более прозрачной. Накладывают кальку на планшет и копируют на нее рамку трапеции, линии координатной сетки в пределах трапеции, пункты геодезической основы, выходы ориентирных линий и подписывают их названия и номенклатуру трапеции. Все оформление кальки ведется в туши в тех же обозначениях, что и на планшете. На кальке карандашом очерчивают углы

планшета, чтобы удобно было совмещать кальку с планшетом после наклейки «рубашки».

7. Наклейка «рубашки». Для предохранения планшета от загрязнения его закрывают сверху листом чертежной бумаги «рубашкой». Предварительно с обратной стороны мензуральной доски карандашом проводят направление «север—юг», чтобы в дальнейшем правильно накладывать при работе кальку высот. Одну сторону листа чертежной бумаги смачивают водой, а сухой стороной кладут его на планшет и края листа приклеивают крахмальным клеем к граням планшета. Затем подготовленный планшет кладут на стол горизонтально для просушки.

Ф о р м а

МВО и ССО РСФСР

Московский ордена Ленина институт инженеров геодезии,  
аэрофотосъемки и картографии

Кафедра геодезии и обработки измерений  
1982 г.

Журнал № 5

Топографическая мензуральная съемка

Номенклатура планшета *N-34-41-B-a-3* масштаб 1:10 000

Приборы

Кипрегель *КН № 00005*  $K=100, 01 C$  — \_\_\_\_\_

Цена деления вертикального круга 5'

Мензула *МУ № 0015*

Ориентир — буссоль \_\_\_\_\_ № 7055

Рейки дальномерные (тип и длина) двусторонние

3-метровые \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Лента стальная 20-метровая № 1154

Производитель работ (исполнитель) *бригада № 23 студентов 1 курса геодезического факультета в составе: А. Е. Иванов, Б. В. Петров, З. Н. Сидоров, В. П. Козлов, В. И. Крылов*

Работу принял \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.

---

Адрес: Москва К-64, Гороховский пер., 4, МИИГАиК, кафедра геодезии и обработки измерений

Нашедшего журнал просят вернуть по адресу.

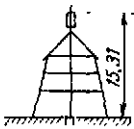
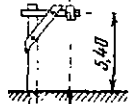
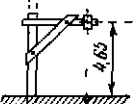
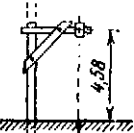
После того как «рубашка» высохнет и натянется, на нее с кальки, совмещенной по отмеченным углам планшета, передавливают жестким карандашом точки выходов ориентирных линий, вершины углов трапеции, места расположения пунктов геодезической основы, затем острым лезвием вырезают в этих местах «рубашки» окошки. На «рубашке» карандашом проводят через видимые точки линии координатной сетки, рамку трапеции и подписывают с северной стороны номенклатуру трапеции.

8. Подготовка полевого журнала. Титульный лист журнала следует оформлять по приведенному образцу, (форма). Кроме того, в журнал помещают каталог опорных пунктов (табл. 81).

В каталог опорных пунктов вносят названия или номера пунктов геодезической основы, расположенных на планшете или вблизи его рамок, отметки пунктов, коор-

Таблица 81

Каталог опорных пунктов

Зарисовка наружных знаков	Номер или название пункта	Отметка $H$ , м	Координаты, м		Дирекционный угол	На какую точку
			$x$	$y$		
	Геополигон	—	6 109 962,2	9 403 718,4	234°30'15"	ПП 83
	ПП 83	168,61	6 107 576,3	9 402 108,9	118 24 35	ПП 94
	ПП 94	170,46	6 107 452,1	9 402 856,0	84 17 44	ПП 95
	ПП 95	173,85	6 106 669,6	9 402 403,8	22 55 17	Геополигон

Каталог составил Иванов 8.08.1982 г.  
Проверил Петров 8.08.1982 г.

динаты и направления на опорные пункты. Зарисовывают наружный знак пункта и записывают высоту знака. Пример зарисовки пунктов привязки к опорным точкам показан в табл. 82 (см. рис. 166).

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Работа по подготовке планшета распределяется бригадиром между всеми членами бригады.

## Задание IX.3

### Мензульные засечки

I. Задача: определить положение точек на планшете при помощи засечек.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 166—170.

*Никулин А. С.* Тахсометрические таблицы. М., Недра, 1976.

III. Приборы и принадлежности: мензульный комплект, две дальномерные рейки или специальные рейки для определения расстояний, три вехи, колья для обозначения точек на местности, рулетка, топор, зонт топографический, карандаш 5Т-7Т, логарифмическая линейка, измеритель, мягкая резинка, нож для заточки карандаша, авторучка, журнал мензульной съемки для записи данных по определению превышений.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) определение планового положения точек местности на планшете: а) прямой засечкой, б) обратной засечкой;

2) определение положения на планшете четвертой точки по трем данным пунктам (задача Потенота): а) способом поворота планшета, б) способом последовательных приближений, в) способом Болотова;

3) вычисление высот точек, определенных засечками.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Определение планового положения точек местности на планшете.*

а) *Прямая засечка.* На планшет нанесены точки *a* и *b*, соответствующие пунктам *A* и *B* геодезической основы на местности. Требуется определить на планшете плановое положение точки *C* местности (рис. 167).

Для решения этой задачи устанавливают мензулу над

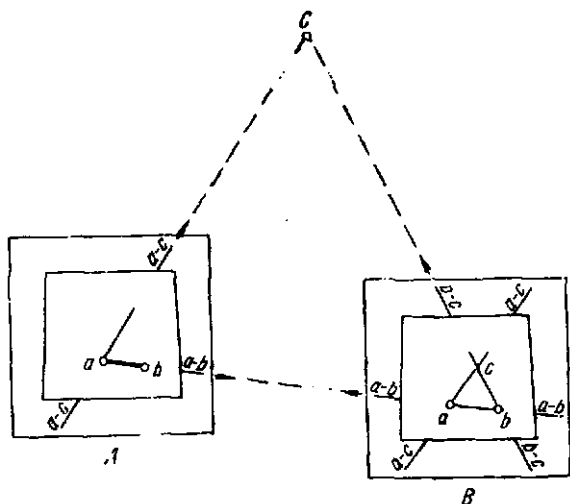


Рис. 167. Прямая засечка

точкой *A* местности, т. е. центрируют ее так, чтобы точка *a* на планшете располагалась над пунктом *A* местности, горизонтируют и ориентируют планшет, прикладывая ребро линейки кипрегеля к линии *ab* на планшете, и вращают планшет до тех пор, пока изображение визирного знака (например, вехи), стоящего на пункте *B* местности, не совпадет с вертикальной нитью сетки трубы, после чего закрепляют планшет.

При установке мензулы следует придерживаться следующего порядка: на точке предварительно ориентируют планшет, приводят на глаз его в горизонтальное положение, затем производят центрирование, окончательное горизонтирование и ориентирование.

Средняя квадратическая ошибка центрирования мензулы зависит от масштаба съемки и не должна превышать половины графической точности масштаба съемки, т. е. величины

$$m_{ц} = 0,05 \text{ мм} \cdot M, \quad (\text{IX.8})$$

где *M* — знаменатель численного масштаба.

Для съемки масштаба 1 : 10 000  $m_{ц} = 0,5$  м, т. е. центрировать мензулу можно на глаз.

Ориентировать планшет следует не менее чем по двум линиям и проверять ориентирование по контрольному

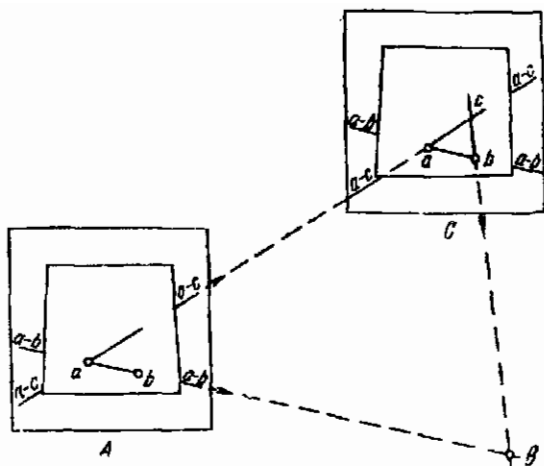


Рис. 168. Обратная засечка

направлению. Расхождение в ориентировании не должно превышать 0,4 мм на плане.

Вращая кипрегель около точки  $a$ , визируют на знак, стоящий в точке  $C$  местности, и прочерчивают линию  $ac$  через точку  $a$ , продолжая ее за рамкой трапеции в виде отрезка  $a-c$ . Затем переходят на пункт  $B$  местности, устанавливают мензулу, ориентируя ее по направлению  $ba$ . Вращением кипрегеля около точки  $b$  наводят трубу на цель, стоящую в точке  $C$  местности, и прочерчивают линию  $bc$  через точку  $b$  и отрезки  $b-c$  за рамкой трапеции. Пересечение линий  $ac$  и  $bc$  определяет положение на планшете искомой точки  $c$ . Угол при определяемой точке не должен быть менее  $30^\circ$  и более  $150^\circ$ .

б) Обратная засечка. На планшет нанесены точки  $a$  и  $b$ , которым на местности соответствуют пункты  $A$  и  $B$ . Нужно определить положение точки  $C$  на планшете при условии, что на пункт  $B$  нельзя встать с мензулой.

Для решения задачи мензулу устанавливают в пункте  $A$  местности (рис. 168), ориентируют планшет по линии  $ab$  и, визируя через точку  $a$  планшета на точку  $C$  местности, прочерчивают линию  $ac$  через точку  $a$  и отрезки  $a-c$  за рамкой планшета. Затем переходят с мензулой в определяемую точку  $C$ , где приблизительно центрируют

мензулу над точкой и ориентируют планшет по прочерченной линии  $a - c$ , после чего вращают кипрегель около точки  $b$  до совмещения изображения знака, установленного на пункте  $B$ , с вертикальной нитью сетки трубы и прочерчивают на себя направление  $bc$  до пересечения с линией  $ac$ . Точка пересечения линий  $c$  соответствует точке  $C$  местности.

Положение точки, полученное прямой или обратной засечкой с двух точек, бесконтрольно. Для контроля засечку следует производить с трех точек. Положение точки на планшете определяется надежно, если три направления, прочерченные на планшете, пересекаются в одной точке, которую и накалывают на планшете. Если три направления не пересекаются в одной точке, а образуют треугольник погрешностей, то задачу решают заново.

Положение точки на планшете можно определить комбинированной засечкой: например прямой засечкой с двух пунктов и с 1—2 пунктов обратной засечкой.

2. *Определение положения на планшете четвертой точки по трем данным пунктам (задача Потенота).*

а) Способ поворотов планшета. На планшете имеются три точки  $a, b, c$ , соответствующие трем пунктам  $A, B, C$  на местности (рис. 169). Устанавливают мензулу над точкой  $M$  местности и определяют положение соответствующей ей точки  $m$  на планшете следующим образом.

Прикладывают ребро линейки кипрегеля к линии  $ba$  на планшете объективом в сторону точки  $a$  и поворачивают планшет до тех пор, пока не наведут трубу на пункт  $A$  местности, т. е. условно ориентируют планшет по линии  $ba$ , после чего закрепляют планшет. Вращая кипрегель около точки  $b$ , визируют на знак, установленный на пункте  $C$  местности, и прочерчивают линию  $bc$  (рис. 169, а).

Прикладывают ребро линейки кипрегеля к линии  $ab$  объективом в сторону точки  $b$  и поворачивают планшет, пока не увидят в трубу точку  $B$  местности, т. е. условно ориентируют планшет по линии  $ab$ . Визируя через точку  $a$  планшет на пункт  $C$  местности, прочерчивают линию  $ac$  (рис. 169, б) до пересечения с линией  $b - c$  в точке  $d$ , называемой вспомогательной точкой. Прочерчивают ориентирующую линию  $dc$ .

Если линии  $a - c$  и  $b - c$ , определяющие положение точки  $d$ , на планшете не пересекаются, то нужно расто-



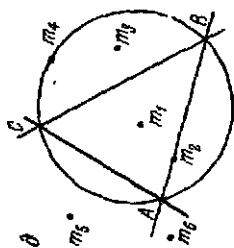
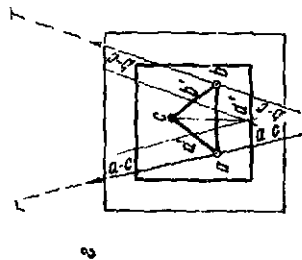
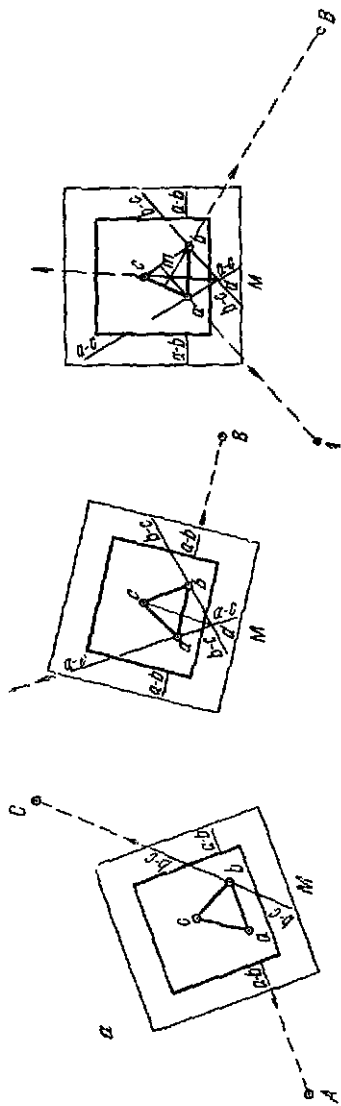


Рис. 169. Решение задачи Понтоа поворотами плоскости

яние между точками  $a$  и  $c$ ,  $b$  и  $c$  на планшете разделить на 2—3 равные части (рис. 169,  $g$ ) и через намеченные точки  $a'$  и  $b'$  провести линии, параллельные линиям  $a—c$  и  $b—c$ , до пересечения их в точке  $d'$ .

Для этого прокладывают скошенное ребро линейки кипрегеля к линии  $a—c$  и замечают на вертикальной нити сетки трубы изображение какого-либо предмета (например,  $P$ ) местности, находящегося на расстоянии более 1 км. Затем прикладывают ребро линейки кипрегеля к точке  $a'$ , наводят трубу кипрегеля на тот же предмет и прочерчивают линию, которая будет параллельна линии  $a—c$ . Таким же образом визируют на удаленный объект  $T$ , проводят через точку  $b'$  линию, параллельную линии  $b—c$ . В дальнейшем планшет ориентируют по линии  $d'c$ .

Прикладывают ребро линейки кипрегеля к линии  $dc$  объективом в сторону точки  $c$  и поворачивают планшет с кипрегелем до тех пор, пока не наведут трубу на точку  $C$  местности (ориентируют планшет по линии  $dc$ ), закрепляют мензулу (рис. 169,  $в$ ). Затем прикладывают ребро линейки кипрегеля к точке  $a$  на планшете и, визируя на точку  $A$  местности, прочерчивают на себя линию  $A—a$ . Далее прикладывают ребро линейки к точке  $b$  на планшете и, визируя на точку  $B$  местности, прочерчивают на себя линию  $B—b$ . Пересечение линий  $A—a$  и  $B—b$  с ориентирной линией определяет положение точки  $m$  на планшете.

Искомая точка  $m$  может занимать различные положения относительно треугольника, образованного тремя исходными пунктами  $A, B, C$  (рис. 169,  $д$ ). Она может лежать внутри треугольника  $m_1$ , на стороне его  $m_2$ , вне треугольника  $m_3$  между стороной его и окружностью, проходящей через исходные точки (эта окружность называется опасным кругом), на опасном круге  $m_4$ , вне опасного круга против одной из сторон треугольника  $m_5$ , вне опасного круга между продолженными сторонами треугольника  $m_6$ .

Решение задачи в первом и шестом случаях, в которых ориентирная линия имеет достаточную длину, представляет собой лучший вариант. В четвертом случае задача решения не имеет. В третьем и пятом случаях решение задачи неблагоприятно, так как слишком коротка ориентирная линия. Во втором случае, когда определяемая точка  $m_2$  находится на стороне треугольника, ориен-

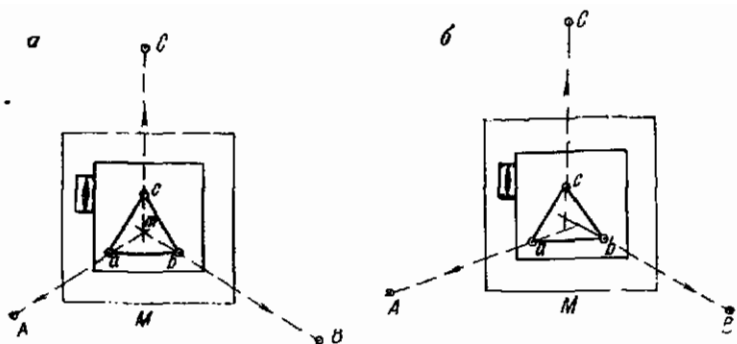


Рис. 170. Решение задачи Потенота последовательными приближениями

тирной прямой на планшете не получится и решение задачи сводится к ориентированию планшета по линии  $ab$  и определению точки стояния мензулы обратной засечкой со средней точки  $C$ . Качество решения зависит от длины линии ориентирования  $dc$  и от величины угла засечки.

б) Способ последовательных приближений. Устанавливают мензулу в определяемой точке  $M$  местности, нивелируют планшет и ориентируют его по буссоли, приложив скошенный край буссоли к западной или восточной стороне трапеции; поворачивают планшет вместе с буссолью до тех пор, пока стрелка буссоли не покажет отсчет, равный склонению магнитной стрелки, и закрепляют планшет. Затем визируют трубой кипрегеля через точку  $a$  планшета на пункт  $A$  местности, через точку  $b$  планшета на пункт  $B$  местности и через точку  $c$  планшета на пункт  $C$  местности, прочерчивая направления  $aA$ ,  $bB$ ,  $cC$ . Если эти линии пересекутся на планшете в одной точке  $m$ , то задача решена (рис. 170, а). Если же три прямые не пересекутся в одной точке, а образуют треугольник погрешностей, то это чаще всего происходит из-за неточного ориентирования планшета. Нужно внимательно посмотреть, как пересеклись три прочерченные линии и подумать, в какую сторону следует повернуть планшет, чтобы уменьшить треугольник погрешностей. На рис. 170, б видно, что планшет нужно повернуть против движения часовой стрелки. Для этого намечают при-

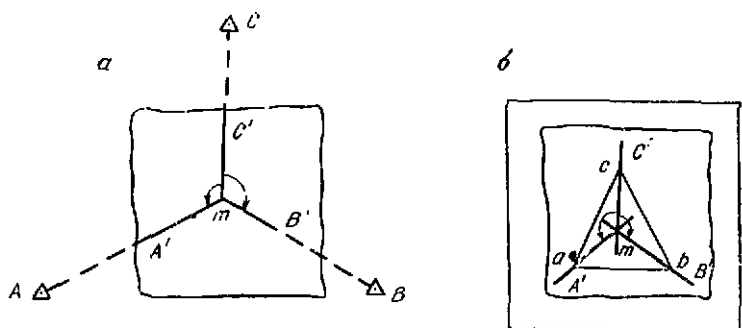


Рис. 171. Решение задачи Потенота способом А. П. Болотова

близительно на глаз положение искомой точки относительно треугольника погрешностей (первое приближение) и производят исправление ориентирования планшета, прикладывая скошенное ребро линейки кипрегеля к намеченной точке и к той из трех точек, которая наиболее удалена от искомой. Снова делают три обратные засечки. Если опять получится треугольник погрешностей, то надо наметить новое положение точки относительно него. Пользуясь этой точкой и наиболее удаленной из известных, поворотом планшета следует уточнить ориентировку, после чего последовательно визировать через каждую из заданных точек на планшете на соответствующий пункт местности, прочерчивая линии на себя. Если эти линии пересекутся в намеченной точке, то задачу можно считать решенной. В противном случае намечают новое положение определяемой точки, исправляют ориентирование планшета, снова прочерчивают линии, соответствующие направлениям на известные пункты, и так поступают до тех пор, пока треугольник погрешностей не превратится в точку.

в) Способ Болотова. Устанавливают мензулу в определяемой точке  $M$  местности, планшет не ориентируют, а накладывают на него лист прозрачной бумаги (кальки, восковки). Закрепив лист кальки на планшете, намечают на нем произвольную точку  $m$  и, визируя через  $m$  последовательно на пункты  $A$ ,  $B$  и  $C$  местности, прочерчивают три направления  $mA'$ ,  $mB'$  и  $mC'$  (рис. 171, а). Открепив кальку, передвигают ее на планшете так, чтобы одновременно луч  $mA'$  проходил через точку

$a$  планшета,  $mB'$  — через точку  $b$  и  $mC'$  — через точку  $c$  планшета, после чего перекальвают точку  $m$  на планшет (рис. 171, б); она и будет искомой. Приложив скошенный край линейки кипрегеля к полученной точке  $m$  и к одной из трех данных точек, ориентируют планшет по линии, а проверяют ориентировку по двум другим данным точкам.

Решение задачи основано на предположении, что безразлично, из какой точки на кальке прочерчивать три направления на данные пункты местности. Очевидно, что это предположение тем вернее, чем дальше от планшета находятся данные на местности пункты.

3. *Вычисление высот точек, определенных засечками.* Определение высот точек, полученных засечками, производится тригонометрическим нивелированием. Для этого на двух или трех пунктах с известными высотами при двух положениях вертикального круга измеряют углы наклона, рулеткой — высоту прибора и визирной цели, а на планшете измерителем по поперечному масштабу — горизонтальные проложения между точкой, определенной засечкой, и пунктами с известными высотами. Затем по формулам (VI.2) и (VI.4) вычисляют превышения  $h$  и высоту  $H_{\text{опр}}$  определяемой точки

$$H_{\text{опр}} = H_{\text{изв}} + h, \quad (\text{IX.9})$$

где  $H_{\text{изв}}$  — известная высота исходного пункта.

Если расхождение  $dH$  в значениях высоты определенной точки, например  $C$  (см. рис. 167), не превышает 0,8 м (при съемке в масштабе 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа, равной 2,5 м), то вычисляют окончательное значение высоты  $H_{\text{опр}}$ , как среднее арифметическое из первоначальных значений.

Например, превышение точки  $C$  над пунктом  $A$  с отметкой  $H_A = 171,37$  м равно  $h_{AC} = +0,21$  м. Следовательно,  $H'_C = 171,58$  м. Превышение точки  $C$  над пунктом  $B$  с высотой  $H_B = 176,33$  м равно  $h_{BC} = -4,88$  м, так что  $H''_C = 171,45$  м. Расхождение  $dH = H'_C - H''_C = +0,13$  м допустимо. Поэтому окончательное значение

$$H_C = 171,00 + (0,58 + 0,45)/2 = 171,52 \text{ м.}$$

Решение задачи Потенота при топографической съемке обычно сопровождается определением высоты точки стоящая мензулы по известным высотам заданных пунктов. Для этого измеряют углы наклона линий визи-

рования на эти пункты, непосредственно с планшета берут горизонтальные проложения, затем по этим данным и формулам (VI.2) и (VI.4) вычисляют превышения, при расстояниях, больших 270 м, вводят поправки за кривизну Земли и рефракцию. Прибавляя полученное превышение с обратным знаком к высоте соответствующего пункта, находят высоту точки стояния мензулы. Если расхождения между тремя значениями не превосходят 0,8 м, то за окончательное принимают среднее арифметическое из высот

Пример. При определении положения точки  $M$  по известным пунктам  $A$ ,  $B$  и  $C$  с высотами  $H_A=166,55$  м,  $H_B=156,97$  м и  $H_C=168,71$  м были вычислены превышения  $h_{MA}=+4,90$  м,  $h_{MB}=-4,70$  м и  $h_{MC}=+7,36$  м. В зависимости от них значения высоты точки  $M$  оказались такими:  $H_M^A=166,55-4,90=161,65$  м,  $H_M^B=156,97+4,70=161,67$  м и  $H_M^C=168,71-7,36=161,35$  м.

Так как наибольшее расхождение в значениях высоты точки  $M$  равно 0,32 м, то окончательное значение этой высоты таково:

$$H_M = 161,00 + (0,65 + 0,67 + 0,35)/3 = 161,56 \text{ м.}$$

Все записи вдутся в топографическом журнале.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Задание выполняется бригадой студентов из пяти человек таким образом, что каждый студент обязательно определяет положение одной точки на планшете прямой, обратной засечками и решением задачи Потенота способом поворотов планшета.

### Задание IX.4

#### Геометрическая сеть

I. Задача: для производства мензульной съемки в масштабе 1 : 10 000 с сечением рельефа через 2,5 м на площади 2 км<sup>2</sup> создать съемочное обоснование в виде геометрической сети.

II. Литература. *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I. М., Недра, 1967, § 173, 175, 176.

*Инструкция* по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы. М., Недра, 1978, с. 11—13.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. Наземные съемки.* М., Недра, 1977, с. 63—70.

*Никулин А. С. Тахеометрические таблицы.* М., Недра, 1976.

III. Приборы и принадлежности: мензульный комплект, рулетка, 4—6 вех для геометрической сети, колья для обозначения точек геометрической сети, топор, лопата, зонт топографический, измеритель, карандаш 5Т-7Т, резинка, лезвие и наждачная бумага для заточки карандаша, авторучка, топографический журнал.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) рекогносцировка и закрепление точек геометрической сети;

2) определение положения точек геометрической сети;

3) увязка превышений и вычисление отметок точек геометрической сети;

4) вычисление высот удаленного пункта.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Рекогносцировка и закрепление точек геометрической сети.* Съёмочное обоснование мензульной топографической съемки развивается в открытых местах в виде геометрической сети, а в закрытых районах — теодолитными ходами. Проект геометрической сети составляют на карте масштаба 1 : 25 000.

Основой для развития съёмочной сети служат пункты государственной геодезической сети в виде пунктов триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3 и 4 классов и сети сгущения; марки и реперы нивелирования I, II, III и IV классов.

Плотность пунктов главной геодезической основы при съемке в масштабе 1 : 10 000 должна быть не менее одного пункта на 50—60 км<sup>2</sup>.

Густота точек съёмочного обоснования должна быть достаточной для проложения съёмочных ходов. В среднем на каждой трапеции должно быть определено 20—30 точек съёмочного обоснования. При развитии съёмочного обоснования закрепляют точки долговременными знаками из расчета одна точка на 25—30 км<sup>2</sup>.

Закрепление точек планово-высотного обоснования производится подземным центром в виде монолита размером 30×30×20 см или камня, закладываемых на глубину 0,7 м.

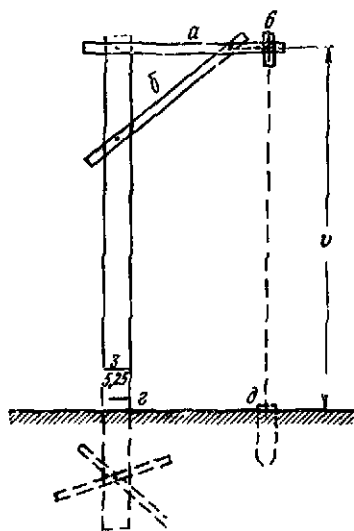


Рис. 172. Веха

Над монолитом устанавливают столб длиной 1,25 м и толщиной порядка 0,15 м. К нижнему концу столба прибивают перекладину длиной 0,5 м. Знак окапывается круглой канавой радиусом 1 м, глубина канавы 0,5 м, ширина 0,8 м. Над центром насыпают курган высотой 0,3 м.

Средние ошибки точек планового съемочного обоснования относительно ближайших пунктов геодезической основы не должны превышать 0,1 мм на карте.

Средние ошибки высот точек съемочного обоснования относительно бли-

жайших пунктов государственной геодезической сети не должны превышать 0,1 высоты сечения рельефа.

Во время учебной практики при развитии геометрической сети на небольшой территории могут быть некоторые отклонения от указанных общих положений.

Для развития геометрической сети на планшете должно быть не менее 2—3 пунктов государственной геодезической сети или пунктов геодезических сетей сгущения и теодолитных ходов и один пункт высотной основы, высота которого получена из геометрического нивелирования. Необходимо проверить сохранность пунктов главной геодезической основы или съемочного обоснования и взаимную видимость между этими пунктами и точками проектируемой геометрической сети. С каждой точки геометрической сети должно быть видно не менее 2—3 пунктов государственной геодезической сети или точек геометрической сети.

Точки геометрической сети нужно располагать равномерно на участке съемки так, чтобы они образовывали на местности сеть треугольников со сторонами в среднем 0,8—1,0 км, чтобы с них открывалась видимость местно-



сти для съемки и чтобы каждая точка геометрической сети надежно определялась засечками не менее чем с трех пунктов, а углы между направлениями засечек были не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Точки геометрической сети закрепляются на местности кольями, вбитыми вровень с землей, и вехами длиной 4—6 м, зарываемыми в землю на глубину 0,5—0,8 м (рис. 172). Вехи изготавливают из прямых стволов деревьев диаметром 10—12 см. К верхнему концу вехи прибавляют перекладную-кронштейн  $a$  длиной 1 м с подпоркой  $b$  и визирный снаряд (визирка)  $v$ . У основания вехи прибавляют крестовину. На вехе при ее изготовлении делают вырубку  $г$  на расстоянии от перекладки  $a$ , равном целому числу метров. После установки вехи забивают кол вровень с поверхностью земли под визиром кронштейна и на вехе измеряют остаток от зарубки  $г$  до кола  $d$ . Сумма остатка и расстояния между перекладной и зарубкой является высотой  $h$  вехи. На вехе делают затес, на котором записывают ее номер (в числителе) и высоту (в знаменателе). Эти же сведения записывают в журнал мензульной съемки. Пункты геометрической сети окапывают канавками.

После установки вех определяют плановое и высотное положение точек геометрической сети. При этом нужно учитывать, что плановое положение точек лучше определять по самым длинным, а превышения — по наиболее коротким сторонам. Расстояния больше 1,2—1,5 км для определения превышений использовать нельзя.

При рекогносцировке составляют в журнале мензульной съемки схематический чертеж геометрической сети с указанием стрелками двусторонней или односторонней видимости по направлениям между точками. Образец схемы приведен на рис. 173.

2. *Определение положения точек геометрической сети.* Графическое определение планового положения точек геометрической сети и превышения для определения их высот выполняются одновременно.

а) Наблюдения нужно начинать на твердом пункте, нанесенном на планшет по координатам. Например, устанавливают мензулу на полигонометрическом пункте 83 (рис. 174): центрируют, горизонтируют и ориентируют планшет при круге лево по наиболее удаленному пункту, расположенному на планшете или за рамкой его (например, ГеополYGON), и проверяют ориентирование

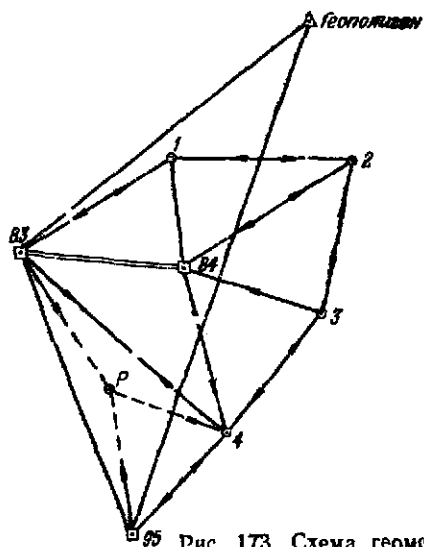


Рис. 173. Схема геометрической сети

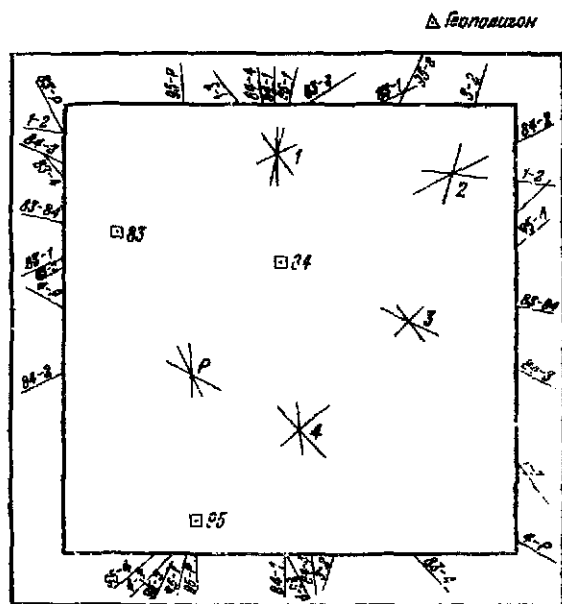


Рис. 174. Определение положения пунктов геометрической сети

по пунктам 84 и 95, в которых установлены веши. При этом скошенный край линейки кипрегеля должен быть приложен к нанесенным на планшет выходам ориентирных линий (см. задание IX.2), а вертикальная нить сетки должна проходить через изображения визирных целей на вехах. Если же изображение цели окажется в стороне от вертикальной нити, то это укажет на неправильную накладку пункта на планшет. Необходимо немедленно устранить ошибку. Ориентирование планшета нужно систематически проверять.

б) После установки прибора измеряют рулеткой с точностью до 0,01 м расстояние от нижней плоскости мензульной доски до центра точки. Прибавив к нему постоянное слагаемое (расстояние от оси вращения трубы кипрегеля до нижней плоскости мензульной доски), получают значение высоты прибора. Тут же необходимо проверить высоту веши. Значения высот прибора и веши записывают в журнал.

в) Измеряют склонение магнитной стрелки, приложив буссоль к заранее очерченному месту у западной или восточной стороны трапеции. Отсчеты округляют до 0,2°.

г) Из точки 83 на планшете кипрегелем (обычно при круге лево) визируют на видимые веши 1 и 4 геометрической сети и на заметный местный предмет *P*, могущий быть ориентиром, наводя вертикальную нить на визир веши, прочерчивают твердым карандашом линии на планшете и подписывают за рамкой трапеции выходы этих линий (83—1, 83—4, 83—*P*). Графит карандаша следует затачивать в виде лопаточки. Для заточки карандаша можно пользоваться мелкой наждачной шкуркой или спичечным коробком. Острие карандаша должно проходить через точку стояния мензулы. После прочерчивания линии проверяют ориентирование планшета. Если ориентирование нарушилось, то снова ориентируют планшет и прочерчивают линии заново.

Одновременно делают отсчеты *L* по вертикальному кругу при наведении средней горизонтальной нити сетки трубы под перекладину-кронштейн веши.

д) По окончании наблюдения всех пунктов, видимых с данной станции, переводят трубу через зенит, и последовательно визируя на точки, высоты которых определяют, при круге право берут отсчеты *P* по вертикальному кругу. При этом следят за постоянством места нуля, ко-

торое не должно колебаться более чем на удвоенную точность отсчитывания по вертикальному кругу. Отсчитывание по вертикальному кругу следует производить особенно тщательно, так как расстояния между точками геометрической сети значительно и неточность измерения углов наклона вызовет большие ошибки в превышениях.

Линейку кипрегеля при измерении углов наклона можно не совмещать с прочерченными направлениями. После наведения трубы кипрегеля на точку и приведения пузырька уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункт можно передвинуть кипрегель на планшете в удобное место или взять кипрегель в руку для снятия отсчетов. Нужно иметь в виду, что измеряется угол наклона визирной оси, а не угол наклона местности. Поэтому значения углов наклона, полученные в прямом и обратном направлениях, не будут равны между собой. Иногда может случиться, что угол наклона, измеренный в одном направлении, имеет такой же знак, как и угол, измеренный в другом направлении, это зависит от высоты вехи и прибора. С целью уменьшения влияния вертикальной рефракции измерение углов наклона следует начинать не раньше чем через два часа после восхода солнца и заканчивать не позднее чем за два часа до его захода. В пасмурную погоду углы можно измерять в течение всего дня.

Перед уходом с пункта следует проверить все ли указанные на схеме направления прочерчены и по всем ли необходимым направлениям измерены углы наклона.

Результаты всех измерений на пункте записывают в журнал, образец которого приведен в табл. 82.

с) Затем переходят на другой исходный пункт (в нашем примере на полигонометрический пункт 84), где работа выполняется в той же последовательности, что и на предыдущем пункте. В результате проведенной работы положение на планшете точек 1 и 4 геометрической сети получается определенными засечками с двух пунктов (83 и 84).

ж) Далее переходят на третий исходный пункт 95, с которого засекают точки 1 и 4 геометрической сети, и также на местный предмет  $P$ , и измеряют углы наклона линий визирования на точку 4 и на предмет  $P$ .

з) После завершения работы на пункте 95 можно перейти с мензулой либо на точку 4, либо на точку 1, так

## Топографический журнал

Дата 18.07.1981 г. Точка стояния 1  $i=1,33$  м и  $H=166,51$  м  
 Склонение магнитной стрелки  $+7,4^\circ$   
 Наблюдал И. Петров  
 Записывал и вычислял А. Иванов

Наблюдаемая точка ПП 83 $v=5,40$ м	П	0°25,0'	25,0'	900	6,25	$h_{np} =$ $-2,25$ м $h_{обр} =$ $-1,95$ м $h_{ср} =$ $-2,10$ м
	Л	359 25,0 37,5 37,0	37,2	3	0,02	
$s=903$ м	МО	0 01,1		$h'$	$+6,27$	
$H_{опр}=168,61$ м	v	$-0 23,9$		$+i+f$	$+1,39$	
				$\Sigma$	$+7,66$	
				$-v$	$-5,40$	
				$h$	$+2,26$	

Дата 18.07.1981 г. Точка стояния ПП 83  $i=1,48$  м  $H=168,61$  м  
 Склонение магнитной стрелки  $+7,4^\circ$   
 Наблюдал И. Петров  
 Записывал и вычислял А. Иванов

Наблюдаемая точка 1 $v=3,78$ м	П	0°03,0'	02,5'	900	0,23	$h_{np} =$ $-1,95$ м $h_{обр} =$ $+2,26$ м $h_{ср} =$ $-2,10$ м
	Л	0 00,0 00,5	00,2	3	0,00	
$s=903$ м	МО	0 01,4		$h'$	$+0,29$	
$H_{опр}=166,51$	v	$-0 01,1$		$+i+f$	$+1,54$	
				$\Sigma$	$+1,83$	
				$-v$	$-3,78$	
				$h$	$-1,95$	

как положение каждой из них надежно определено засечками со всех трех исходных пунктов. Чтобы избежать лишних переходов, целесообразнее с пункта 95 перейти на более близкую точку 4. Здесь планшет ориентируют по прочерченному направлению 83—4 (пункт 83 отстоит

от точки 4 дальше, чем остальные исходные пункты) и проверяют ориентирование по направлениям 84—4 и 95—4. Затем засекают точки 3 и местный предмет *P*. Углы наклона измеряют по направлениям на пункты 95, 83, 84, на точку 3 и на *P*.

В таком же порядке производят наблюдения на остальных точках сети.

Линии, определяющие положение засекаемых точек, должны пересекаться в одной точке либо, в крайнем случае, образовывать треугольник погрешностей со сторонами, не большими 0,2 мм, полученные точки перескалывают с «рубашки» на планшет. В месте прокола прорезают в «рубашке» окошко и надписывают на планшете карандашом номер точки. Если треугольник погрешностей больше допустимой величины, то точку сети определяют вновь.

и) Когда плановое положение точек геометрической сети определено, то сразу же в поле вычисляют прямые и обратные значения превышений. Расстояния между точками измеряют на планшете и определяют по поперечному масштабу с точностью до 1 м. Вычисление величин  $k' = \text{ctg } \nu$  и поправок  $f$  за кривизну Земли и рефракцию производят по таблицам превышений для горизонтальных проложений с округлением до 0,01 м. Расхождение между прямым и обратным значениями превышения не должно быть более 4 см на каждые 100 м горизонтального проложения. Если расхождения более допуска, то вначале проверяют записи и вычисления в полевом журнале, определенные расстояния на планшете, а затем уже полевые измерения.

Построение геометрической сети следует выполнять особенно аккуратно, так как ошибки, допущенные при ее создании, скажутся на точности съемки.

При развитии геометрической сети можно принять следующий порядок на станции: 1) ориентирование планшета на глаз, 2) центрирование мензулы на глаз, 3) горизонтирование планшета, 4) точное ориентирование планшета, 5) измерение высоты прибора, 6) определение склонения магнитной стрелки, 7) визирование на точки геометрической сети, прочерчивание направлений и отсчитывание по вертикальному кругу (круг лево), 8) отсчитывание по вертикальному кругу при положении его справа, 9) вычисление места нуля, углов наклона и превышений.

3. Увязка превышений и вычисление отметок точек геометрической сети. Невязку в суммах превышений подсчитывают для каждого треугольника или полигона, образованного сторонами сети. Она не должна превышать

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,2 \text{ м } \sqrt{L}, \quad (\text{IX.10})$$

где  $L$  — число километров в периметре треугольника или полигона.

Таблица 83

Номер точки	Расстояние $s$ , км	Превышения $h_{\text{ср}}$ , м	Исправки, см	Исправленные превышения $h_{\text{ср}}$ , м	Высота $H$ , м
ПТ 83	0,9	-2,10	-6	-2,16	168,61
1	0,7	-0,73	+9	-0,64	166,45
2	0,5	+5,74	0	+5,74	165,81
3	0,5	-0,21	+3	-0,18	171,55
4	0,4	-0,96	+4	-0,92	171,37
ПТ 84					170,45
$\Sigma$	3,0	$\Sigma h_{\text{ср}} = +1,74$	+10	+1,84	

Для контроля нужно вычислить невязки в превышениях, т. е. уравнять высоты по ходовым линиям (табл. 83), образуемым сторонами треугольников геометрической сети между исходными пунктами, имеющими высоты из геометрического нивелирования,

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}), \quad (\text{IX.11})$$

где  $\Sigma h_{\text{ср}}$  — сумма средних превышений по ходовой линии;  $H_{\text{к}} - H_{\text{н}}$  — разность высот конечного и начального исходных пунктов ходовой линии.

Допустимая невязка по ходовым линиям не должна превышать величины, вычисленной по формуле,

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,3 \text{ м } \sqrt{L}. \quad (\text{IX.12})$$

$$\Sigma h_{\text{ср. теор}} = (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}) = 170,45 - 168,61 = 1,84 \text{ м},$$

$$f_h = -0,10 \text{ м},$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,3 \text{ м } \sqrt{3,0} = 0,5 \text{ м}.$$

Для увязки превышений необходимо:

а) на схему сети (рис. 175) выписать вычисленные средние значения превышений  $h_{\text{ср}} = (h_{\text{пр}} - h_{\text{обр}}) / 2$ . округ-

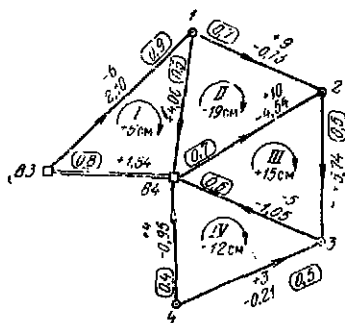


Рис. 175. Узвязка превышений способом сравнения невязок в смежных треугольниках

ленные до сотых долей метра и длины сторон с округлением до 0,1 км;

б) вычислить невязки  $f_h$  в суммах превышений в каждом треугольнике и сравнить их с допустимыми невязками  $f_{h \text{ доп}}$ , вычисленными по формуле (IX.10). Если они не превышают допуски, то выписать  $f_h$  с их знаками в середине каждого треугольника. Стрелки внутри треугольников на схеме указывают направление подсчета суммы превышений в треугольниках;

в) узвязку превышений в геометрической сети чаще всего выполняют способом сравнения невязок в смежных треугольниках. В основе этого способа лежат два правила:

1) если невязки в двух смежных треугольниках имеют одинаковые знаки, то в превышение по смежной стороне этих треугольников вводят наименьшую поправку;

2) если невязки в двух смежных треугольниках имеют разные знаки, то на смежную сторону этих треугольников вводят наибольшую поправку, при этом одновременно уменьшаются невязки в обоих треугольниках.

Пример узвязки превышений способом сравнения невязок приведен на рис. 175. В треугольнике II невязку  $f_h = -19$  см распределяют с обратным знаком между превышениями: по стороне 1—2  $v_h = +9$  см и по стороне 2—84  $v_h = +10$  см. В итоге распределения невязки в треугольнике II невязка треугольника III, равная +15 см, уменьшится до +5 см. Эту величину с обратным знаком вводят в превышение по стороне 3—84, в результате чего невязка в треугольнике IV оказывается равной 7 см. Что касается треугольника I, то его невязку распределяют только на превышение по линии 83—1.

По исправленным превышениям вычисляют высоты всех точек геометрической сети по ходовой линии от исходного пункта 83 до 84.

Вычисления помещены в табл. 83.

4. Вычисление высоты удаленного пункта. После вы-



числения высот точек геометрической сети вычисляют высоту уединенного пункта, превышения на который определяются только односторонними измерениями углов наклона. Вычисление высоты уединенного пункта  $P$  (см. рис. 173) можно выполнить следующим образом. К высотам точек 83, 95 и 4 прибавляют превышения от этих точек до пункта  $P$  со своим знаком и вычисляют три значения высоты пункта  $P$ .

Если значения высот не отличаются между собой более чем на величину, вычисленную по формуле (IX.10), и расстояния до определяемого пункта примерно одинаковые, то вероятнейшее значение высоты пункта  $P$  можно определить по формуле

$$H_P = (H_P^{95} + H_P^{83} + H_P^4) / 3. \quad (\text{IX.13})$$

Если же расстояния до определяемого пункта значительно отличаются друг от друга, как в нашем примере (см. табл. 83), то среднее арифметическое значение высоты пункта  $P$  можно вычислить по формуле общей арифметической середины

$$H_P = \frac{H_P^{95} \frac{1}{s_{95-P}^2} + H_P^{83} \frac{1}{s_{83-P}^2} + H_P^4 \frac{1}{s_{4-P}^2}}{\frac{1}{s_{95-P}^2} + \frac{1}{s_{83-P}^2} + \frac{1}{s_{4-P}^2}}. \quad (\text{IX.14})$$

Таблица 84

Номер известного пункта	Расстояние $s$ , км	Высота известного пункта, м	Превышение, м	Высота $H_P$ , м	$\frac{1}{s^2}$	$v = H_P - H_{\text{изв}}$	$\frac{1}{s^4} v$
Пп 83	0,6	168,61	+16,73	185,34	2,8	0,34	1,55
Пп 95	0,5	173,86	+11,63	185,49	4,0	0,49	1,96
4	0,3	171,37	+14,28	185,65	11,1	0,65	7,22
$\Sigma$	1,4				17,9		10,73

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,3 \sqrt{1,4} = 0,3 \times 0,8 = 0,36 \text{ м}$$

$$H_P = 185,00 + (10,73 / 17,9) = 185,60 \text{ м}$$

В формулах (IX.13) и (IX.14)  $H_P^{55}$ ,  $H_P^{33}$ ,  $H_P^4$  — значения высоты пункта  $P$ , вычисленные по известным высотам пунктов 83, 95 и 4,  $S_{95-P}$ ,  $S_{83-P}$ ,  $S_{84-P}$  — расстояния, выраженные в километрах. Образец вычисления высот пункта  $P$  приведен в табл. 84.

Для облегчения вычисления высоты уединенного пункта принимаем приближенную высоту пункта  $P$   $H_{др} = 185,00$  м и находим уклонения  $\epsilon$  от приближенного значения. Тогда вероятнейшее значение высоты пункта  $P$  будет равно

$$H_P = 185,00 + (10,73/17,9) = 185,60 \text{ м.}$$

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Задание выполняется бригадой студентов из пяти человек. Рекогносцировка и закрепление точек геометрической сети выполняется всей бригадой.

Определение положения точек геометрической сети на планшете выполняется каждым студентом из расчета 1—2 пункта на человека. При выполнении задания обязанности распределяются так, чтобы каждый член бригады последовательно выполнял все обязанности (наблюдатель, записывающий, вычислитель). План чередования составляет руководитель.

3. Узвязка превышений, вычисление высот точек геометрической сети и уединенного пункта выполняются для контроля в две руки.

### Задание IX.5

#### Мензульные ходы

I. Задача: между пунктами обоснования проложить основной и съемочный (через точку) мензульные ходы.

II. Литература: *Гиршберг М. А.* Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, § 177, 179.

*Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000.* Полсвые работы. М., Недра, 1978, с. 35—37.

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977, с. 67—70.

*Никулин А. С.* Тахеометрические таблицы. М., Недра, 1976,

III. Приборы и принадлежности: мензульный комплект, две рейки, колья для обозначения вершин хода, топор, зонт топографический, измеритель, карандаш 3Т-5Т, резинка, лезвие для заточки карандаша, логарифмическая линейка, авторучка, журнал мензульной съемки.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) рекогносцировка (выбор) и закрепление вершин хода;
- 2) проложение основного мензульного хода;
- 3) проложение съёмочного хода через точку.

V. Указания по выполнению задания.

Мензульный ход представляет собой один из способов сгущения точек съёмочного обоснования, поэтому его прокладывают до начала съёмки в застроенной и залесяной местности.

1. *Рекогносцировка (выбор) и закрепление вершин хода.* В процессе рекогносцировки намечаются на местности как основные, так и съёмочные ходы. При этом руководствуются такими правилами:

а) с начального и конечного исходных пунктов, между которыми прокладывается ход, должны быть видны по крайней мере два пункта обоснования (для контроля ориентирования планшета);

б) ход должен располагаться возможно ближе к объектам съёмки;

в) длины сторон хода не должны быть более 250 м;

г) с каждой вершины хода должны быть видны вертикальные рейки, установленные в соседних вершинах.

Вершины хода закрепляют на местности деревянными кольями со сторожками и окапывают небольшой канавой.

Рекогносцировка сопровождается составлением схематического чертежа намеченных ходов.

2. *Проложение основного мензульного хода.* Согласно инструкции относительная невязка в мензульном ходе должна быть не более  $1 : 300$  общей длины хода, а линейная невязка — не превышать 0,8 мм на плане. Допустимую длину основного мензульного хода можно определить из соотношения  $f_n/\Sigma_s \leq 1/N$ , т. е.  $\Sigma_s = f_n NM$ , откуда длина хода  $L = 0,8 \text{ мм} \cdot 300 \cdot 10\,000 = 2,4 \text{ км}$ . При проложении его целесообразна последовательность действий, иллюстрируемая примером проложения хода между полигонометрическими пунктами 84 и 83 (рис. 176, а).

Мензулу устанавливают на начальном пункте 84: центрируют, горизонтируют и тщательно ориентируют по более удаленной точке 1 геометрической сети с проверкой по точке 2.

а

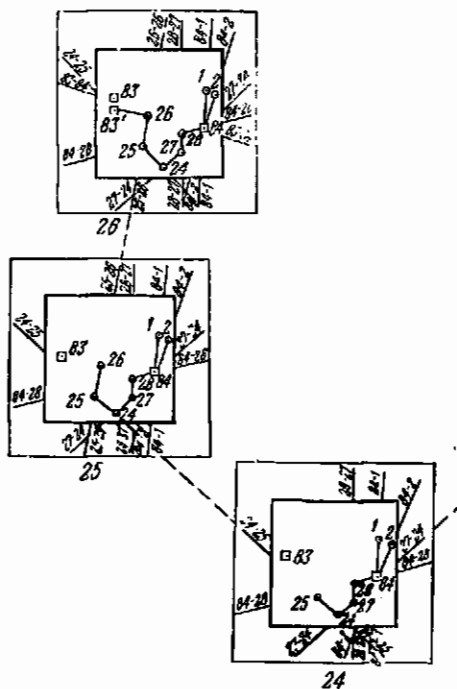
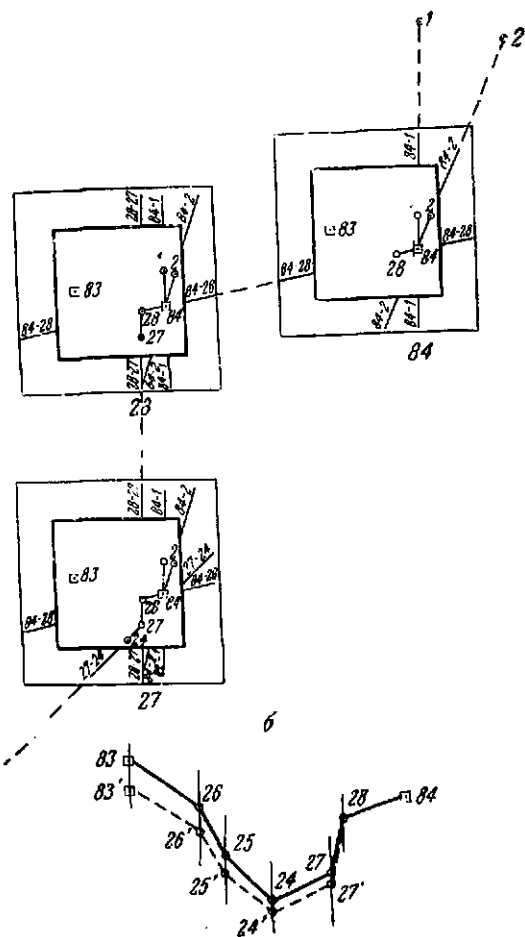


Рис. 176. Основной мензульный ход

Измеряют высоту прибора так же, как при наблюдениях геометрической сети (см. задание IX.4).

Приложив скошенное ребро линейки кипрегеля к точке 84 на планшете, визируют на рейку, установленную в точке 28, являющейся вершиной хода. После наведения вертикальной нити сетки трубы на середину основания рейки прочерчивают через точку 84 линию в направлении визирования и для последующего ориентирования — отрезки за сторонами трапеции, подписывая их 84—28.



Измеряют дальномером расстояние между пунктами 84 и точкой 28, по правилам, изложенным в задании IV.2. Если рейка односторонняя, то рекомендуется произвести два дальномерных отсчета на различных частях рейки. При пользовании двусторонними рейками отсчеты делаются по обеим сторонам рейки. Горизонтальное продолжение расстояния откладывают по масштабу вдоль прочерченной линии и легким нажимом карандаша намечают на планшете положение точки 28.

Если стороны длиннее 250 м, то расстояние измеряют дальномером по частям, устанавливая рейку примерно посредине линии. Первую часть линии измеряют, когда мензула установлена в начальной точке. Тогда же прочерчивают направление измеряемой линии и делают для контроля отсчет по рейке, установленной во втором конце линии. Вторую часть линии измеряют после установки мензулы в другом конце линии. Сумму измеренных частей линии сравнивают с общей длиной линии, измеренной для контроля, и если расхождение не превосходит 1 : 200 длины линии, то откладывают на планшете ее горизонтальное проложение.

Измеряют одним приемом при двух положениях круга угол наклона, наводя среднюю горизонтальную нить сетки либо на верх рейки, либо на деление, например, соответствующее высоте прибора.

Вычисляют МО и следят за его постоянством. Определяют превышение с пункта 84 на точку 28, пользуясь таблицами. Для контроля вычисляют превышение на логарифмической линейке.

Результаты всех наблюдений и вычисления превышений и отметок точек хода записывают в журнал топографической съемки по образцу, приведенному в табл. 85.

Таблица 85

Топографический журнал

Номер точки с исходной высотой	$H_M = 170,45 \text{ м}$ $v = 4,65 \text{ м}$	$H_M = 170,45 \text{ м}$ $v = 4,65 \text{ м}$
Номер определяемой точки	28	28
$i$	—	1,24
$v$	—2,00	—
$\beta$	1°10'	357°34'
$\Pi$	358 52	2 28
МО	0 01	0 01
$v$	—109	+227
$s$	175	175
$h'$	—3,56	—7,49
$i-v$	—0,54	+3,41
$h$	—4,10	—4,08
$H_{\text{шп}}$	166,36	166,37
$H_{\text{ср}}$	166,36	

По окончании работы на исходном пункте 84 переходят с мензулой на точку 28, где устанавливают мензулу, измеряют высоту прибора и ориентируют планшет по прочерченной линии, визируя на рейку, установленную на пункте 84. Делают по ней дальномерный отсчет и измеряют одним приемом угол наклона, контролируя измерение постоянством места нуля вертикального круга. Вычисленное горизонтальное проложение стороны 28—84 сравнивают с проложением 84—28; расхождение не должно быть более 1 : 200 длины линии. При удовлетворении этого условия откладывают среднее значение проложения, получая уточненное положение точки 28 на планшете.

Горизонтальные проложения линий вычисляют при углах наклона, больших  $2^\circ$ , по правилам, изложенным в задании IV.2.

Наметив на планшете точку 28, прикладывают к ней скошенное ребро линейки кипрегеля, визируют на рейку, установленную в точке 27 хода, и проецируют направление на нее с продолжениями за рамкой в виде коротких отрезков, подписываемых 28—27. Измеряют дальномером расстояние 28—27 и откладывают его по масштабу, намечая первоначальное положение точки 27 на планшете. Угол наклона линии визирования на точку 27 измеряют одним полным приемом, сразу же вычисляя значения угла наклона и места нуля.

Работа на точке 28 завершается вычислением превышений  $h_{28-84}$  и  $h_{28-27}$ . Значения  $h_{28-84}$  и  $h_{84-28}$  сравнивают и, если расхождение между ними не превосходит 10 см при расстоянии до 250 м (или 4 см на каждые 100 м при большем расстоянии), то вычисляют среднее арифметическое из абсолютных значений  $h_{пр}$  и  $h_{обр}$  со знаком  $h_{пр}$ .

Затем переходят с мензулой в точку 27 и продолжают работу в описанном порядке вплоть до предпоследней точки хода (в нашем примере точки 26). Установив мензулу в этой точке, визируют на пункт 83, к которому ход должен быть привязан. Измеряют до него расстояние и откладывают его на планшете, получая на последнем точку 83'. Если линейная невязка 83—83' недопустима, то ход прокладывается вновь, но в обратном направлении, т. е. от пункта 83 к пункту 84, до той вершины, в которой будет обнаружена грубая ошибка.

В конечном пункте 83 мензулу устанавливают лишь

для измерения расстояния и превышения между этим пунктом и точкой 26.

При определении превышений и горизонтальных проложений по номограмме не следует измерять углы наклона и расстояния.

Высотная невязка хода, вычисляемая по формуле (IX.11), не должна превосходить 0,8 м при съемке с сечением рельефа через 2,5 м.

Линейную невязку распределяют графически, способом параллельных линий (рис. 176, б). Пусть, например, при длине хода в 21 см на плане получена линейная невязка, равная 0,08 см. Поскольку относительная невязка равна 1 : 300, то через каждую точку хода проводят линию, параллельную направлению невязки  $83-83'$ . На каждой такой линии, начиная с проведенной через точку 26, откладывают в направлении, противоположном направлению невязки, отрезок, равный величине невязки, последовательно уменьшаемой на  $0,08/5 = 0,016$  см, до тех пор пока величина его не окажется меньше 0,02 см. Соединив полученные наколы точек прямыми линиями, получают увязанное положение хода. Если линейная невязка мала, то ее распределяют между 2—3 последними точками хода.

Таблица 86

Увязка превышений и вычисление высот точек основного мензурального хода

Название точек	Расстояние, км	Превышение $h_{ср}$ , м	Поправки, см	Исправленные превышения, м	Высота точек, м
ПП 84	0,2	-1,09	-1	-4,10	170,45
28	0,1	+0,50	0	-10,50	166,35
27	0,2	-3,96	-1	-3,97	166,85
24	0,2	-1,20	-1	-1,21	162,88
25	0,3	-0,78	-2	-0,80	161,67
26	0,3	+7,76	-2	+7,74	160,87
ПП 83					168,61
$\Sigma$	1,3	+ 8,26 -10,03	-7	-1,84	
		$\Sigma h_{ср}$ -1,77 $\Sigma h_{теор}$ -1,84			
		$f_h = +0,07$			



Высотную невязку мензульного хода распределяют так же, как при увязке тахеометрического хода (см. задание VI.4). Образец увязки превышений и вычисления высот точек основного мензульного хода приведен в табл. 86.

3. *Проложение съемочного хода через точку.* Съемочные ходы прокладывают в процессе съемки для сгущения обоснования. Длина съемочного хода не должна быть более 1 км. В зависимости от способа ориентирования планшета различают ход с ориентированием по прочерченным линиям и буссольный ход.

Съемочный ход с ориентированием планшета по прочерченным линиям прокладывается так же, как основной, с той разницей, что одновременно с проложением съемочного хода ведется съемка с его точек.

Съемочный ход должен быть привязан к пунктам геодезической или съемочной основы. В виде исключения допускаются висячие ходы с числом точек не более двух. Точки хода обозначаются на местности либо кольями, либо заметками на земле.

Относительная невязка в периметре съемочного хода, проложенного с ориентированием планшета по прочерченным линиям, не должна быть более  $1 : 200$ .

Высотная невязка хода не должна превышать 0,8 м. Распределяют плановую и высотную невязки на две последние точки хода так же, как и в основном ходе.

Если в районе съемки нет магнитной аномалии и по условиям местности можно проложить съемочный ход лишь с короткими (до 100 м) сторонами, то такой ход прокладывают с ориентированием планшета по буссоли во всех точках, кроме исходной, где ориентирование планшета выполняется по направлениям на видимые пункты обоснования.

Для ориентирования планшета используют ориентир-буссоль, проверенную по правилам, указанным в задании IX.1.

В съемочном буссольном ходе разрешается устанавливать мензулу не в каждой точке хода, а через точку.

Порядок действий при проложении буссольного хода через точку рассмотрим на примере применительно к рис. 177.

В точке 3 геодезической сети устанавливают мензулу, ориентируя планшет по направлениям на точки 1 и 2 той же сети. Определяют склонение магнитной стрелы:

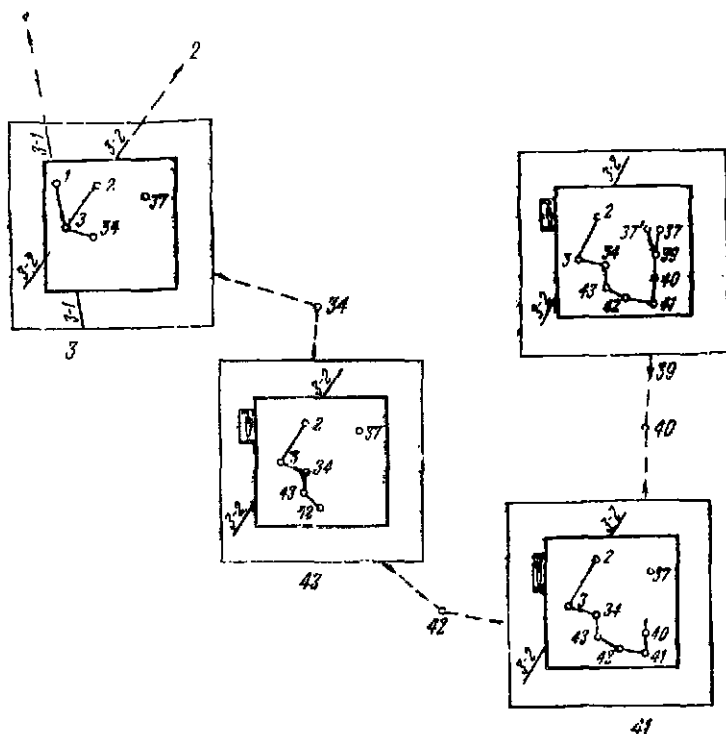


Рис. 177. Буссольный ход через точку

ки: его значением будут пользоваться при проложении хода.

Прикладывают скошенное ребро линейки кипрегеля к точке *З* на планшете и визируют на рейку, установленную в точке *34* хода. Дважды измеряют расстояние дальномером, делая отсчеты при наведении на различные части рейки, и измеряют одним приемом углы наклона при визировании на марки, расположенные на высоте 2 и 3 м над основанием рейки. Откладывают горизонтальное проложение линии *З--34*, получая точку *34* на планшете. Измерив высоту прибора, вычисляют значения превышений, соответствующие визированию на разные высоты рейки. Если расхождение между этими значениями превышений не более 4 см на 100 м расстояния, то вычисля-

ют среднее значение превышения и в зависимости от него — высоту точки 34.

Оставив рейку установленной в точке 34, с мензулой переходят в точку 43, где планшет ориентируют по буссоли. Приложив скошенное ребро линейки кипрегеля к точке 34 на планшете, визируют на рейку, стоящую в этой точке, измеряют расстояние, откладывают его от точки 34 на себя, получая на планшете точку 43. Затем, визируя на обе марки рейки, измеряют два угла наклона, высоту прибора и вычисляют два значения превышений. При допустимости расхождения между ними вычисляют среднее значение превышения и с обратным знаком прибавляют к высоте точки 34, получая высоту точки 43. После этого визируют на рейку, установленную в точке 42, измеряя расстояние до нее и два угла наклона на разные части рейки. В результате получают положение точки 42 на планшете и ее высоту.

Переходят с мензулой в точку 41 хода и продолжают работу в той же последовательности, что и на станции в точке 43.

Установив мензулу в предпоследней точке 39 хода, после ориентирования планшета по буссоли, визируют на конечную точку 37, измеряют углы наклона и откладывают расстояние 39—37. Полученную линейную невязку 37—37', если она не больше 1 : 100 длины хода, распределяют на две последние точки хода.

Допустимость высотной невязки оценивается так же, как и в основном мензульном ходе. Невязку распределяют на последние 2—3 превышения.

При недопустимых невязках ход прокладывают задом в обратном направлении.

В процессе проложения хода заполняют топографический журнал по образцу, приведенному в табл. 87.

При определении высоты точки хода 39, на которой стояла мензула, нужно к известной высоте точки 40, полученной по ходу, прибавить превышение  $h_{39-40}$  с обратным знаком. Например,  $H_{40} = 172,74$  м,  $h_{39-40} = +1,03$  м, тогда  $H_{39} = 172,74 - 1,03 = 171,71$  м.

Для определения высоты  $H_{37}$  точки 37 хода нужно к высоте  $H_{39}$  точки 39 прибавить превышение  $h_{39-37} = -0,29$  м со своим знаком, т. е.  $H_{37} = 171,71 - 0,29 = 171,42$  м.

При работе с номограммным кипрегелем запись в журналах (см. табл. 85 и 87) сокращается.

Таблица 87

Буссольный съемочный ход через точку (от точки 39 и 37)

Дата 20.07.1981 г. Склонение магнитной стрелки  $+7,4^\circ$

Наблюдал Иванов

Записывал и вычислял Петров

Номер точки с исходной высотой	$H_{10}=172,74$ м $v=3,00$ м	$H_{10}=172,74$ м $v=2,00$ м	$H_{10}=171,42$ м $v=2,00$ м	$H_{10}=171,42$ м $v=3,00$ м
Номер определяемой точки	59 $i=1,37$ м	39 $i=1,37$ м	39 $i=1,37$ м	39 $i=1,37$ м
Л	$258^\circ 51,0'$	$359^\circ 17,0'$	$359^\circ 39,5'$	$358^\circ 34,5'$
П	1 12,0	0 46,0	0 22,5	1 23,0
МО	0 01,5	0 01,5	0 01,0	0 01,2
v	$+1 10,5$	$+0 44,5$	$+0 21,5$	$+1 26,8$
S	130 м	130 м	53 м	53 м
$h'$	$+2,64$ м	$+1,67$ м	$+0,25$ м	$+1,33$ м
$i-v$	$-1,63$ м	$-0,63$ м	$-0,63$ м	$-1,63$ м
h	$+1,01$ м	$-1,03$ м	$-0,28$ м	$-0,30$ м
$H_{оир}$	171,73 м	171,71 м	171,70 м	171,72 м
$H_{ср}$	171,72 м		171,71 м	

### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Рекогносцировка и закрепление точек хода на местности выполняется всем составом бригады по указаниям руководителя.

При проложении основного и съемочного хода через точку обязанности между членами бригады распределяются по плану, составленному руководителем.

### Задание IX.6

#### Производство мензульной топографической съемки

I. Задача: выполнить мензульную топографическую съемку в масштабе 1 : 10 000 с сечением рельефа через 2,5 м на участке площадью 2 км<sup>2</sup>.

II. Литература: Гиршберг М. А. Геодезия. Ч. I, М., Недра, 1967, § 181, 182.

*Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы, М., Недра, 1978, с. 3—11, 56—59.*

*Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. Наземные съемки, М., Недра, 1977, с. 70—76.*

*Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. М., Недра, 1977.*

*Никулин А. С. Тахеометрические таблицы. М., Недра, 1976.*

III. Приборы и принадлежности: мензульный комплект, две рейки, рулетка, зонт топографический, топор, логарифмическая линейка, измеритель, карандаш, мягкая резинка, авторучка, журнал топографической съемки, два флажка для сигнализации.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) съемка ситуации и рельефа;
- 2) составление и оформление кальки высот;
- 3) вычерчивание и оформление планшета;
- 4) контроль мензульной съемки.

V. Указания по выполнению задания.

1. *Съемка ситуации и рельефа.*

а) Определение положения переходных точек. Поскольку для производства съемки недостаточно пунктов съемочной сети, нанесенных на планшет, то в процессе съемки определяют дополнительные точки установки мензулы, называемые переходными.

Места для переходных точек выбирают так, чтобы с каждой из них можно было снять окружающую местность в радиусе до 300 м. Положение переходных точек определяется засечками, решением задачи Потенота (см. задание IX.3) и полярным способом. В закрытой и заросшей местности переходными точками являются вершины съемочных ходов. Положение переходной точки определяется полярным способом.

По окончании съемки на пункте обоснования выбирают место для следующей станции с тем, чтобы можно было продолжить съемку без разрывов. Обозначив колом или зарубкой на земле выбранную точку, устанавливают в ней рейку и визируют на нее, прочерчивая линию на планшете и за его рамкой. Измеряют расстояние и превышение. Измеренное расстояние откладывают по масштабу и отмечают легким уколом карандаша предварительное положение переходной точки. Затем мензулу и

рейку меняют местами. Планшет ориентируют по прочерченной линии, измеряют расстояние от данной до предыдущей станции и, если расхождение не более 1 : 200 расстояния, то откладывают среднее его значение, получая окончательное положение переходной точки. Если с нее видны пункты обоснования, то необходимо проверить положение переходной точки обратной засечкой. Для передачи высоты измеряют высоту прибора, угол наклона линии визирования на предыдущую станцию. Если расхождения между прямым и обратным превышениями не превосходят допуска, то по среднему значению превышения вычисляют высоту переходной точки.

С полученной полярным способом переходной точки разрешается определять таким же способом еще одну переходную точку.

Все наблюдения и вычисления при определении высот переходных точек полярным способом записывают в журнал топографической съемки так же, как и при определении высот точек основного мензюльного хода (см. табл. 85).

б) Объекты ситуации, подлежащие съемке. В соответствии с инструкцией при съемке ситуации в масштабе 1 : 10 000 средние ошибки в положении на карте четких контуров и предметов местности относительно ближайших точек планового съемочного обоснования не должны превышать:

0,5 мм — при создании карт равнинных и всхолмленных районов с уклонами местности до  $6^\circ$ ;

0,7 мм — при создании карт горных и высокогорных районов.

Съемка ведется полярным способом. Лишь в отношении объектов, играющих роль ориентиров, применяется способ засечек. Съемке в масштабе 1 : 10 000 подлежат следующие объекты.

1. Предметы местности, имеющие значение ориентиров: вышки, трубы фабрик и заводов, заметные здания, башни, ветряные мельницы, отдельные деревья, камни и т. д.

2. Населенные пункты (города, поселки городского, дачного и сельского типов) и отдельные постройки: в кварталах и вне их показываются все постройки постоянного типа; при тесной застройке можно исключить мелкие, не выражающиеся в масштабе карты, нежилые строения. Должны быть показаны все улицы, переулки

и проезды, реки, ручьи, пруды, озера, овраги и обрывы. Не показываются расположенные на улицах и проездах мосты через незначительные препятствия, линии связи, ретрансляционные радиолитнии и электропровода, а также трубопроводы.

Древесная растительность на улицах показывается на своем месте: если ширина улицы не позволяет этого сделать, то кружки размещают за тыльной стороной застроенной части квартала и между постройками. По внешним границам кварталов населенных пунктов и границам отдельно расположенных участков снимаются ограды, дорожки, канавы, узкие полосы деревьев и кустов, промоины, овраги, реки и т. п.

При съемке населенных пунктов сельского типа выясняют и записывают в полевой журнал их названия и число домов, а в городах и поселках городского типа — число жителей, название пунктов и тоже подписывают на плане.

3. Промышленные предприятия и сооружения (заводы, фабрики, электростанции, рудники, шахты, штольни, карьеры, торфяные и нефтяные разработки, нефтяные вышки, элеваторы, холодильники, мельницы и т. д.) снимаются с обозначением отдельных построек, если они выражаются в масштабе карты. Условный знак фабрики или завода ставится на месте наиболее высокой трубы, а при отсутствии ее — на месте главного здания. Если промышленное предприятие находится внутри населенного пункта и занимает значительную площадь, то показывается как особый квартал. Если фабрика или завод не выражаются в масштабе карты, то они показываются только своим условным знаком.

Предприятия и учреждения, не имеющие специального знака, наносятся как постройки и сопровождаются подписью. Например, РС, СС, МТМ (районный и сельский Советы, машинно-тракторные мастерские). Пояснительные надписи таких учреждений, расположенных внутри населенного пункта, показываются под подписью его названия. Места открытых разработок полезных ископаемых наносятся в границах освоенной площади. При разбросанности разработки условный знак ставится по средние контура.

Условные знаки радиостанции, телевизионного центра, радио- и телевизионных мачт показываются на месте расположения соответствующих сооружений.

Линии электропередач, связи (телефонные, телеграфные, радиотрансляционные), расположенные в полосе отвода железных и шоссейных дорог и на улицах населенных пунктов, не показываются. Линия связи, идущая параллельно шоссе, показывается небольшим (1—2 см) отрезком, отмечающим ее направление. Линии связи, проложенные вдоль грунтовых дорог всех типов, изображаются условным знаком на всем протяжении.

4. Дороги (железные, автострады, шоссе, улучшенные грунтовые и грунтовые) снимаются все. Полевые и лесные дороги в районах со слаборазвитой дорожной сетью показываются все, в районах же с густой сетью дорог — только идущие вдали от дорог высших классов. Снимаются строящиеся дороги. Такие сооружения на улучшенных грунтовых и грунтовых дорогах, как фашины, гати, гребли, показываются, если длина их на карте не меньше 2 мм. На грунтовых дорогах выделяются труднопроходимые участки длиной более 4 мм на карте. На дорогах, изображаемых двумя линиями, отмечаются условными знаками участки круче 8°. На изображении автострады указываются ширина полос и число их, на шоссе — ширина с обочинами, на улучшенной грунтовой дороге — ширина проезжей части. Ширина грунтовой дороги указывается лишь там, где проезд возможен только по ней (в лесу, по болоту и т. д.).

Из сооружений на дорогах снимаются все железнодорожные станции, платформы, разъезды, будки, блокпосты, путевые посты, депо, водонапорные башни, туннели, мосты, трубы, выемки и насыпи, высота и глубина которых более 0,75 м, и другие объекты и изображаются соответствующими условными знаками. Около условного знака моста подписывается в числителе длина и ширина его в метрах, а в знаменателе — грузоподъемность в тоннах.

5. Гидрография и гидротехнические сооружения. Съемке подлежат берега водных бассейнов, реки, ручьи, каналы, ключи, канавы, колодцы, броды, водопады, пороги и сооружения: пристани, паромы, шлюзы, плотины и т. д.

Береговой линией озер, прудов и рек считается линия уреза воды.

Озера, искусственные водохранилища и пруды площадью более 1 см<sup>2</sup> в масштабе карты снимаются все,



озера меньших размеров снимаются в случаях, когда они характеризуют особенности местности.

Реки и ручьи показываются на карте все. За исток реки принимается место, откуда прослеживается непрерывный водоток. Временные потоки изображаются как пересыхающие реки.

Реки, уже 3 м, изображаются одной линией, шириной 3—6 м — двумя линиями с просветом не меньшим 0,3 мм на карте. Реки большей ширины изображаются двумя линиями в масштабе карты. На реках и каналах, изображаемых двумя линиями, указываются не реже чем через 10 см (вблизи паромов, мостов, населенных пунктов) ширина, наибольшая глубина по фарватеру в межень и грунт дна. Кроме того, указывается поверхностная скорость течения в межень. На картах подписывают высоты: меженных уровней воды в реках (через 10—15 см), озерах и водоемах (площадью, большей 1 см<sup>2</sup> на карте); уровня земли у источников; дна или русла у пересыхающих рек и озер. Эти высоты определяются при двух положениях вертикального круга с указанием даты.

Каналы шириной более 3 м показываются в две линии. Направление течения рек, каналов указывается стрелками через 10—15 см на плане: при изображении рек в две линии в разрыве стрелки подписывается скорость течения. Указываются все броды, причем у бродов через реки шире 5 м указываются глубина в межень, длина, грунт дна и скорость течения.

6. Болота. При изображении на плане различаются следующие виды заболоченных участков местности:

1) мокрый луг, когда водой пропитан только верхний слой почвы, и местность используется как сенокосное угодье;

2) проходимое болото глубиной до 0,5 м с твердым грунтом дна, допускающим свободное движение пешехода в любом направлении;

3) труднопроходимое болото глубиной до 0,8 м с твердым грунтом дна: движение пешехода затруднено;

4) непроходимое болото, не допускающее никакого движения.

Глубина болота измеряется до твердого грунта и подписывается с округлением до 0,1 м: если глубина больше 2 м, то подписывают «глубже 2 м». Место измерения обозначают на карте вертикальной стрелкой.

7. Леса и кустарники. Контуры леса и кустарника изображают точечным пунктиром с соответствующим знаком внутри контура. Условным знаком леса показывается древесная растительность высотой свыше 4 м. Особыми условными знаками показываются следующие категории леса: молодые посадки; поросль леса; карликовый лес; редкий лес; горелый лес; бурелом; вырубка. Леса и кустарники при съемке подразделяются по породам на хвойные, лиственные и смешанные.

При съемке определяются высота и толщина деревьев и расстояние между деревьями и подписывается справа от условного знака породы в виде дроби: в числителе — высота и расстояние между деревьями, в знаменателе — толщина, например  $(20/0,25)5$ . Высоту деревьев определяют на глаз, приставив рейку к дереву. Толщину деревьев определяют путем обмера рулеткой окружности дерева на высоте 1,5 м от поверхности земли. Приблизительно диаметр дерева равен измеренной окружности его, деленной на 3.

В лесных районах на отдельных участках леса площадью менее 10 см<sup>2</sup> на плане породу леса и его характеристику не показывают.

Узкие полосы леса и кустарника, которые нельзя изобразить контуром в масштабе плана, не оконтуриваются, а изображаются рядами кружков, согласно условному знаку.

Измеряется ширина просек и подписывается на карте. Просеки шириной менее 1,5 м на карту не наносятся.

8. Почвенно-растительный покров. На карту наносятся: пашни, луга, степи, пески, дюны, барханы, солончаки, тундры и т. д.

Пашней считаются земли, используемые под посевы зерновых, технических, бахчевых и кормовых культур. Контур пашни снимается, показывается пунктиром и не заполняется условным знаком.

Узкие полосы луга вдоль рек и лощин шириной менее 1,5 мм на плане не оконтуриваются, а показываются условным знаком.

в) Съемка рельефа. Рельеф на карте изображают горизонталями с принятыми условными знаками. Для облегчения пользования картой на ней подписывают высоты характерных точек местности (от 5 до 15 на 1 дм<sup>2</sup>), некоторых горизонталей, а также указывают бергштрихами направления скатов.

Районы съемки	Высота сечения рельефа горизонталями, м	Средняя ошибка съемки рельефа (в долях высоты сечения)
Плоско-равнинные с углами наклона местности до 1°	1,0	1/4
Равнинные с углами наклона местности от 1 до 2°	1,0*; 2,0	1/3
Равнинные пересеченные и всхолмленные с углами наклона местности от 2 до 6°	2,0 (2,5)	1/3
Горные и предгорные	5,0	В долинах 1/3 сечения, на склонах — соответствующие числа горизонталей разности высот между перегибами скатов
Высокогорные	—	—

\* В районах мелкоративного строительства.

В табл. 88 приводятся значения средних ошибок съемки рельефа, которые могут быть в полтора раза большими при съемке сплошь залесенных районов. Предельные ошибки не должны превышать удвоенных значений средних ошибок.

Средние ошибки высот характерных точек, надписываемых на карте, не должны превышать 75 % от средних ошибок съемки рельефа, а в горных и высокогорных районах не должны превышать 1/2 высоты сечения рельефа. Число предельных ошибок не должно быть более 10 % от общего числа контрольных измерений.

Если основные формы рельефа горизонталями не выражаются, то проводятся полугоризонталы и вспомогательные горизонталы на произвольной высоте.

При зарисовке рельефа следует вначале наметить вершины гор и хребтов, дно котловин и ложин, точки седловины, водораздельные и водосливные линии, а затем проводить горизонталы, интерполируя на глаз. При рисовке рельефа нужно становиться так, чтобы смотреть на скаты снизу вверх, так как при рисовке рельефа с возвышенных точек многие детали рельефа сглаживаются.

Следует избегать рисовки рельефа по пикетным точкам, удаленным на расстоянии более 250—300 м, так как многие подробности кажутся не такими, какие они в действительности.

При съемке в лесу рельефа нужно пользоваться имеющимися просеками, визирками и дорогами. В исключительных случаях прорубают дополнительные визирки, по которым прокладывают съемочные ходы.

Овраги и промоины изображаются в зависимости от их ширины: одной утолщенной линией при ширине менее 3 м, двумя утолщенными линиями при ширине от 3 до 10 м и двумя линиями со штрихами при ширине свыше 10 м. По дну оврагов шире 3 мм на карте проводят горизонтали. Указывается глубина и ширина узких оврагов и промоин в их средней части.

Уступы, валы, курганы, ямы, насыпи, выемки около дорог (при глубине более 1 м), карьеры, обрывы изображаются штрихами.

Скалы, утесы, осыпи и обрывы снимаются с сохранением их очертаний. Условный знак бровок применяется при изображении в открытых равнинных районах задернованных уступов террас и других перегибов скатов, которые не могут быть изображены горизонталями.

При съемке пойм рек следует подробно показывать микрорельеф. Нужно правильно передавать форму озер, стариц, протоков и согласовывать изображение рельефа с растительностью и болотами.

Изображение рельефа должно основываться на законах образования рельефа.

1. Съемку ситуации и рельефа местности можно начинать с любой точки съемочного обоснования и необходимо производить ее связно без пропусков и разрывов.

На каждой съемочной станции мензулу центрируют, горизонтируют и ориентируют по направлениям на видимые пункты, нанесенные на планшет. Определяют место нуля вертикального круга, измеряют высоту прибора и отмечают ее на рейках при помощи передвигаемой ленточки.

Приступая к съемке, работающий у мензулы обходит с речниками окружающую местность, выявляя характер ситуации и рельефа, выбирает речные точки (пикеты) и дает указания речникам о порядке перехода с пикета на пикет.

Вернувшись к мензуле, наблюдатель проверяет ори-

ентирование планшета, после чего, вращая скошенное ребро линейки кипрегеля (обычно при круге лево) около точки на планшете, соответствующей станции, последовательно визирует на рейки, установленные на пикетах. При этом производится отсчитывание по дальномерным нитям и по вертикальному кругу. Расстояние от мензулы до рейки не должно превышать 300 м при высоте сечения рельефа 1 м и 400 м при большей высоте сечения рельефа. При выполнении съемки во время учебной практики расстояния от мензулы до реечных точек не должны превышать 250 м.

Поправки за наклон линий к горизонту не вычисляются, если величина их не превосходит 0,2 м, т. е. при углах наклона местности до 2°.

Дальномерные отсчеты следует делать, как правило, между крайними нитями сетки. Если же это невозможно (например, высокая трава закрывает нижнюю часть рейки), то делают сначала отсчет между нижней и средней нитями, а затем поворачивают трубу так, чтобы относительно изображения рейки средняя нить заняла положение нижней, и производят отсчет между средней и верхней нитями. Сумма отсчетов представляет собой дальномерный отсчет. Более грубые результаты получаются, если дальномерный отсчет принять равным удвоенному отсчету между крайней и средней нитями.

Не сдвигая кипрегель, наблюдатель откладывает по масштабу расстояние до пикета и накалывает его на планшет, подписывая высоту, которая должна быть к этому времени вычислена. Если пикет является контурной точкой, то соединяют его с предыдущей точкой того же контура. Изгибы контуров, меньшие 0,3 мм на плане, спрямляются.

В той части планшета, где производится съемка, «рубашку» вырезают и план оставляют непосредственно на планшете.

Как уже указывалось, съемку обычно ведут при круге лево: при таком положении кипрегеля удобнее правой рукой откладывать расстояния.

Превышения вычисляются по формуле (VI.2), где  $h'$  вычисляют при помощи логарифмической линейки. Высоты пикетов вычисляют с округлением до 0,1 м и подписывают на планшете справа от точки накола горизонтально, отбрасывая при этом сотни метров, например вместо 138,5 пишут 38,5.

Во время съемки ведется журнал реечных точек со сквозной нумерацией. Форма журнала приведена в табл. 89.

Таблица 89

Журнал реечных точек

Дата 26.07.1981 г.

Станция 4

$i = 1,38 \text{ м}$

$H = 171,37 \text{ м}$

$\Pi = 359^\circ 58'$

$L = 0^\circ 02'$

$MO = 0^\circ 00'$

Наблюдал А. Петров

Записывал и вычислял Иванов

Номер пикета	S, м	L	v	h', м	i+f-v	h, м	H, м	Описание пикета
56	256	0°20'	-0°20'	-1,50	-0,62	-2,12	169,2	Грунтовая дорога
57	172	0 08	-0 08	-0,40	-0,62	-1,03	170,3	Высотный
58	50	357 48	+2 12	+1,92	-1,12	+0,80	172,1	Высотный
59	79	359 08	+0 52	+1,20	-1,12	+0,08	171,4	Граница леса

При производстве съемки надо систематически проверять ориентирование планшета на станции. Ситуацию и горизонтالي следует наносить на планшет сразу же после измерений непосредственно в поле.

После набора 10—12 пикетов рекомендуется проводить горизонтали.

При проведении горизонталей на ровном скате намечают ближайшие к точкам горизонтали, а оставшийся промежуток делят на части по числу промежуточных горизонталей. Например, на рис. 178 изображено семь пикетов, между которыми пунктирными линиями показаны направления интерполирования. Следует провести горизонтали через 2,5 м по высоте. Начнем с направления между пикетами с высотами 59,7 и 64,0 м. Между ними проходят горизонтали с высотами 160,0 и 162,5 м. Приравняем к единице расстояние между этими пикетами. Ему соответствует разность высот пикетов, равная 4,3 м. Так как разность высот горизонталей 160,0 м и пикета 159,7 м равна 0,3 м, а скат равномерный, то можно считать, что горизонталь 160,0 м отстоит от пикета на расстоянии, равном  $0,3/4,3 \approx 0,1$  расстояния между пикетами. Аналогично находим, что горизонталь с высотой

162,5 м находится от ближайшего пикета на расстоянии  $1,5/4,3 \approx 0,3$  расстояния между пикетами. На глаз намечаем положение обеих горизонталей. Подобным же способом определяем положение горизонталей и на остальных интерполируемых направлениях, после чего, внимательно взглядываясь в местность, проводим горизонтали, придавая им изгибы в соответствии с изменениями изображаемой формы рельефа.

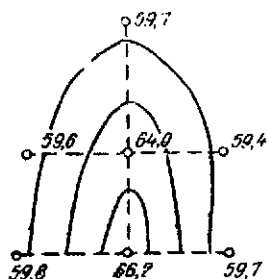


Рис. 178. Проведение горизонталей

Нельзя проводить горизонтали механически лишь на основе геометрического нивелирования: надо научиться рисовать рельеф. Поэтому рисовка рельефа производится только в поле.

Число высотных пикетов зависит от характера рельефа. В среднем их должно быть 150—200 на площади в 2 км<sup>2</sup>.

2) Съёмка кипрегелем с номограммой имеет свои особенности. После установки мензулы на станции трубу кипрегеля наводят на рейку так, чтобы вертикальная нить проецировалась на ось рейки, а основная дуга была совмещена с изображением нуль-пункта рейки кипрегеля (см. рис. 156, 158, б и 160), либо с изображением точки, расположенной на высоте  $v$  над основанием нивелирной рейки, либо при использовании рейки с нижним выдвижным концом — с изображением нуль-пункта, установленного на высоте, равной высоте  $i$  прибора.

Пузырек уровня вертикального круга наводящим винтом приводится в нуль-пункт, делаются отсчеты:  $l_s$  — по кривой горизонтальных проложений и  $l_h$  — по кривой превышений с указанием значения и знака коэффициента  $K$ . При расстояниях до 100 м отсчеты производят с округлением до 0,002 м, а при больших расстояниях — с округлением до 0,01 м. Отсчеты записывают в журнал формы, приведенной в табл. 90.

Работа на станции завершается проверкой ориентирования планшета.

В журнале (табл. 90) производятся следующие вычисления, которые рекомендуется выполнять в поле:

Дата 27.07.1981 г.

Станция ПП 84

 $i=1,42$  м $H_{ст}=170,45$  м

Погода: обл., слабый ветер

 $v=1,40$  м $H_0=170,47$  м

Наблюдал А. Петров

Записывал и вычислял А. Иванов

Номер пикета	Отсчеты по кривой			s, м	h', м	H, м	Описание пикета
	горизонтальных проложений $l_s$ , м	превышений					
		K	$l_h$ , м				
21	1,03	-10	0,305	103	-3,05	165,4	Граница пашни
22	1,45	-10	0,50	145	-5,0	165,5	Высотный
23	1,62	-10	0,41	162	+4,1	174,6	Угол дома
24	0,94	-10	0,243	94	+2,43	171,9	Высотный

1) по формуле  $s=100l_s$  вычисляют с округлением до 0,1 м горизонтальные проложения до пикетов, 2) по формуле  $h'=Kl_h$  вычисляют значения  $h'$ , округляя их до 0,01 м, 3) вычисляют высоту  $H_{пик}$  пикета с округлением до 0,1 м по одной из формул:

а) при визировании на нуль-пункт рейки, вынесенной на высоту 1,40 м над основанием

$$H_{пик} = H_0 + h',$$

где  $H_0 = H_{ст} + i - 1,40$  м,  $H_{ст}$  — высота станции,  $i$  — высота прибора

б) при визировании на нуль-пункт рейки, находящейся на высоте, равной высоте прибора

$$H_{пик} = H_{ст} + h'.$$

Например, при съемке пикета 21 (см. табл. 90) получено:  $l_s=1,03$  м, следовательно,  $s=103$  м,  $l_h=0,305$  м, что при  $K=-10$  дает  $h'=-3,05$  м. Высота станции  $H_{ст}=170,45$  м, высота прибора  $i=1,42$  м, высота визирования  $v=1,40$  м. Таким образом,  $H_0=170,45+1,42-1,40=170,47$  м и  $H_{21}=170,47-3,05=167,4$  м.

2. Составление и оформление кальки высот. На кальку высот наносят характерные высотные точки. У пунктов геодезического и съемочного обоснования пишется их



порядковый номер (в числителе) и высота (в знаменателе), у речных точек — только высота.

Стороны замкнутых высотных полигонов съемочного обоснования показываются красной тушью, а геометрической сети и основных ходов — черной. На переходных точках, определенных решением задачи Потенота, проводятся стрелки длиной 8—10 мм в направлении пунктов, по которым определялись их высоты. На кальке высот зеленой тушью выписываются высоты урезов воды с указанием даты их определения, а синей тушью — склонение магнитной стрелки у точек геометрической сети. Высоты, полученные из геометрического нивелирования, подписываются с точностью до 0,01 м красной тушью, а высоты, полученные из тригонометрического нивелирования, с точностью до 0,1 м — черной тушью. Высоты искусственных сооружений подписываются красным цветом, а земли — черным. Точки съемочного обоснования на кальке высот наносятся сразу же после составления сети и прокладки ходов. Речные точки наносятся ежедневно после работы или на другой день до выхода в поле.

Калька высот оформляется по образцу, приведенному на рис. 179.

3. *Вычерчивание и оформление планшета.* Планшет оформляется в соответствии с условными знаками для топографической карты в масштабе съемки. Для планшета в масштабе 1 : 10 000 вычерчивается только рамка трапеции без зарамочных линий. В процессе съемки систематически выполняют полевое вычерчивание планшета: ежедневно вечером закрепляют тушью снятые контуры, что избавляет от необходимости вести кальку контуров. Окончательное вычерчивание планшета начинают с мелких контуров и внесмасштабных условных знаков, с населенных пунктов и подписей их названий. Затем вычерчивают дороги, реки, ситуацию, элементы рельефа, изображаемые условными знаками, и, наконец, горизонтали.

После этого заполняют условными знаками контуры леса, огорода и т. д.

Над северной стороной рамки указывают номенклатуру трапеции и год съемки, а под южной стороной рамки — численный, пояснительный и линейный масштабы, высоту сечения рельефа. В условиях учебной практики внизу слева дополнительно подписывают: «Зав. практи-

1980г.

КАЛЬКА

N-39-27-

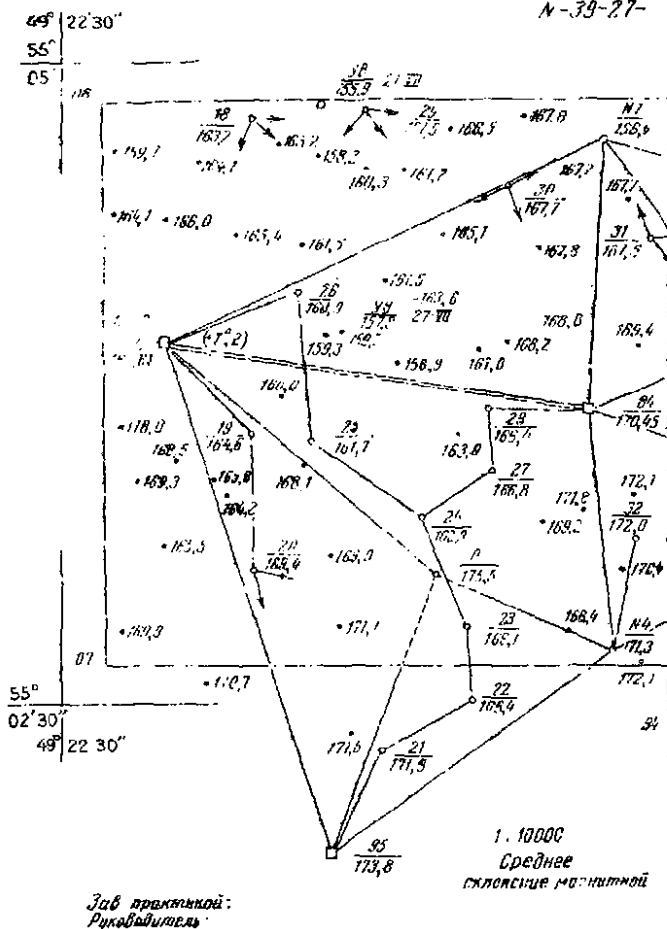


Рис. 179. Калька высот

кой», «Руководитель»; справа — дагу съемки и сведения о ее исполнителях. Образец оформления планшета показан на рис. 180.

Сбоку планшета помещается схема распределения индивидуальных участков съемки для каждого студента.

4. Контроль мензульной съемки. Контроль должен



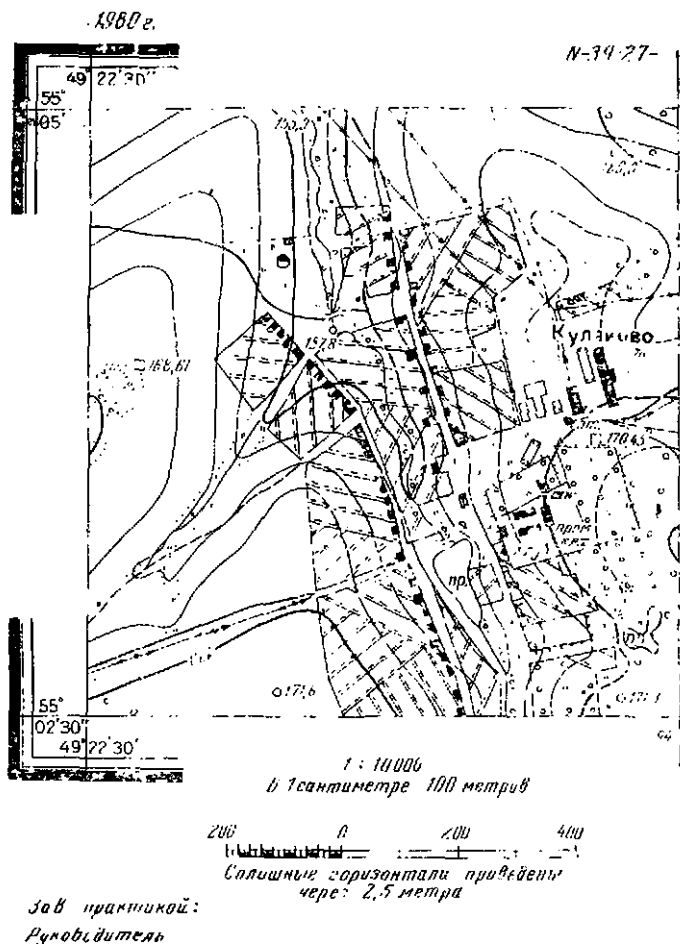
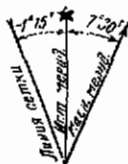
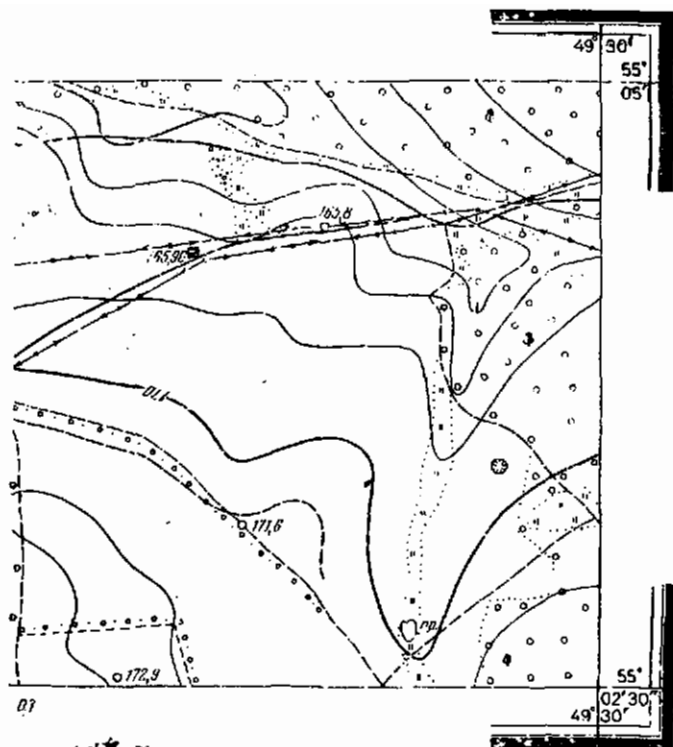


Рис. 180. Образец оформления планшета мензуральной съемки

планшете, наличие высот урезов вод, цифровых характеристик и т. д.:

4) правильность ведения журнала топографической съемки и кальки высот;

5) правильность съемки ситуации и рельефа проверяется руководителем путем определения положения контрольных пикетов на участке каждого студента. Резуль-



*Работа произведена в период  
с 20 июля по 4-ое августа 1980г.  
бр. № 9 ст. 1 к 1 гр. ГФМИИГиК  
в составе:*

таты контрольных измерений записываются в журнал мензульной съемки (табл. 91).

Предельные ошибки не должны превышать удвоенных значений средних ошибок, указанных в пунктах 1, б и 1, в настоящего задания.

При обнаружении грубых ошибок соответствующая часть местности снимается вновь.

Окончательная оценка подготовленности студента к выполнению мензульной съемки дается на основании наблюдений за его работой на контрольной станции после завершения съемки всего участка. Таких станций должно

Таблица 9

Номер пикета	Значение высоты, м		Расхождение в положении		Угол наклона	Описание пикета
	на плане	на местности	по высоте, м	на плане, м		
1к	164,5	164,2	+0,3	0,2	1,5°	Пересечение грунтовых дорог
2к	160,5	161,0	-0,5	0,5	1,8	Граница леса
3к	166,2	165,8	+0,4	0,8	0,8	Угол дома

быть не менее двух на бригаду. Они выбираются на незаснятой местности, примыкающей к участку съемки. Положение контрольных станций на планшете определяется способом, указываемым руководителем. Студент должен показать умение определять положение станции, выбирать реечные точки, наносить на планшет ситуацию и изображать рельеф горизонталями, а также производить необходимые записи и вычисления.

По окончании мензуральной съемки должны быть представлены следующие материалы: оформленный планшет, журнал топографической съемки с указанием в нем координат и высот пунктов геодезической основы, выписанных из каталогов, со схемами и увязкой высот пунктов геометрической сети и мензуральных ходов; рабочая тетрадь с вычислениями углов рамки трапеции, выходов ориентировочных линий и среднего склонения магнитной стрелки; калька высот; акт приемки работ; опись материалов.

#### Состав исполнителей и распределение обязанностей

Во время учебной практики каждый студент определяет положение переходных точек решением задачи Понтеота и полярным способом.

Съемка контуров и рельефа выполняется каждым членом бригады на своем участке площадью 0,4 км<sup>2</sup>. Распределение обязанностей таково: 1) наблюдатель, 2) журналист, 3 и 4) реечники.

Составление и оформление кальки высот, вычерчивание планшета выполняется последовательно каждым членом бригады для своего участка. Контроль мензуральной съемки выполняется преподавателем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятности. М., Недра, 1966.
2. *Большаков В. Д., Гайдаев И. А.* Теория математической обработки геодезических измерений. М., Недра, 1977.
3. *Гиньшин В. Н., Косыков Б. И., Хренов Л. С.* Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. М., Недра, 1977.
4. *Гауф М.* Электронные теодолиты и тахеометры. М., Недра, 1978.
5. *Грейм И. А.* Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. М., Недра, 1975.
6. *Гусев Н. А.* Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы. М., Недра, 1968.
7. *Деймлик Ф.* Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1970.
8. *Захаров А. И., Спиридонов А. И.* Новый теодолит Т15. — Геодезия и картография, 1974, № 3, с. 9—14.
9. *Захаров А. И.* Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
10. *Захаров А. И.* Внутрибазный редукационный тахеометр. — Геодезия и картография, 1972, № 7, с. 23—26.
11. *Измайлов П. И.* Трактатум по геодезии. М., Недра, 1971.
12. *Измайлов П. И., Кислов В. В., Павлов В. Ф.* Топография в аэрофотопографии. М., Геодезиздат, 1959.
13. *Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР.* М., Недра, 1966.
14. *Инструкция по вычислению нивелировок.* М., Недра, 1971.
15. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.* М., Недра, 1974.
16. *Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:10 000 и 1:25 000. Полевые работы.* М., Недра, 1978.
17. *Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* М., Недра, 1982.
18. *Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и сельского строительства СН-212-78.* М., Стройиздат, 1974.
19. *Косыков Б. И.* Справочное руководство по съемке городов. М., Недра, 1974.
20. *Кочетов Ф. Г.* Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. М., Недра, 1969.
21. *Крюков Г. С.* Испытание теодолита Т30. — Геодезия и картография, 1970, № 11, с. 20—22.
22. *Кузнецов П. И.* Исследования тахеометров и кипрегелей с диаграммами. М., Недра, 1975.
23. *Лебедев Н. И.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1976.
24. *Литвинов Б. А., Лобачев В. М., Воронков Н. Н.* Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1971.
25. *Маслов А. В., Гордеев А. В., Витраков Ю. Г.* Геодезия. М., Недра, 1980.
26. *Модрицкий Н. И.* Геодезия. Л., Гидрометеорологическое изд-во, 1972.
27. *Практикум по курсу прикладной геодезии.* Под ред. Н. И. Лебедева. М., Недра, 1977.
28. *Редьков В. С.* Руководство по техническому нивелированию и высотным теодолитным ходам. М., Недра, 1974.
29. *Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* Наземные съемки. М., Недра, 1977.
30. *Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* Высотные сети. М., Недра, 1976.
31. *Рытов А. В., Спиридонов А. И.* Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок. М., Недра, 1977.
32. *Рытов А. В.* О способах определения угла и нивелира. — Геодезия и картография, 1972, № 4, с. 36—38.
33. *Справочник геодезиста.* Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Лещука. М., Недра, 1975.

- Абрис 256, 260  
 Азимут истинный 25, 26  
 — магнитный 25, 26  
 Алидада 48  
 Арифметическая середина 194, 195  
 Аэрофотоснимок 12  
 Базиc 121, 145, 157  
 Башмак нивелирный 328  
 Бергштрих 29  
 Беспикетный способ трассирования 345  
 Бипризма 155, 156  
 Буcсоль 28, 431  
 Ведомость вычисления координат пунктов 230, 234, 237  
 Верньер 59  
 Вертикальный круг 95  
 Вешение линий 112  
 Визирная ось 49  
 Визир оптический 156  
 Вияг закрепительный 54, 303  
 — исправительный 54  
 — наводящий 50, 303  
 — подъемный 50  
 — становой 54  
 — элевационный 303  
 Водораздел 32, 33  
 Водосборная площадь 34  
 Вынос пикетов из кривую 339  
 Высота (отметка) пункта (знака) 29  
 — инструмента (прибора) 216, 220  
 — сечения рельефа 30  
 — точки 339  
 Геометрическая сеть 410  
 Главные точки кривой 338  
 Глазомерная съемка 341  
 Горизонталь 29  
 Горизонтальное проложение 116, 125  
 Горизонтальный круг (лимб) 48  
 Горизонтирование прибора 78  
 Горизонт прибора (инструмента) 350  
 График заложений 30  
 Дальномер двойного изображения 127  
 — внутрибазный 169  
 — нитяный 120  
 Дальномерная насадка 129, 134  
 Деление верньера 58  
 — планиметра 41  
 — уровня 310  
 Дирекционный угол (прямой, обратный) 26  
 Долгота точки 21  
 Домер 338, 341  
 Журнал нивелирования IV класса 329, 330  
 — измерения горизонтальных углов 89, 90  
 — измерения углов наклона 97  
 — мензульной съемки 442  
 — нивелированной поверхности 350  
 — пикетажный 338  
 — технического нивелирования 343, 344  
 — тригонометрической съемки 264, 265  
 Задача Потемкина 405, 433  
 Заложение 30, 31  
 Засечка боковая 243  
 — линейная 251  
 — прямая 402  
 — обратная 103  
 — угловая 243  
 Зригельная труба 64  
 Измерения добавочные (избыточные) 196  
 — неравноточные 193  
 — равноточные 193  
 Интерполлирование горизонталей 296, 297, 443  
 Калька высот 446  
 Каллиманционная ошибка 76, 78  
 Карта 5  
 Качание рейки 328  
 Координатная (километровая) сетка 23, 24  
 Кидригель 368, 373  
 — плоскость 78  
 Компаратор полевой 110  
 Компарирование 110  
 Компенсатор 53, 306, 307  
 Координаты географические 21  
 — зональные 24  
 — прямоугольные 23  
 Костыль 328  
 Котловина (впадина) 32  
 Коэффициент дальномера 153, 312  
 Кремальера 52  
 Кривизна Земли 417  
 Крутизна ската 30, 32  
 Ленты мерные 107  
 Лимб 48  
 Линейка Дробышева 288, 289  
 — Женевская 312  
 Лощина 11, 32  
 Марки 326  
 Масштаб линейный 8  
 — поперечный 14, 15, 12  
 — численный 12, 14  
 Мензула 367, 368  
 Мензульная съемка 365  
 Меридиан географический (истинный) 21  
 — магнитный 25  
 — осевой 25  
 Место нуля 96, 97  
 Методы съемки контуров 248, 249, 250



- Микроскоп шкаловой 62  
 -- штриховой 63
- Насадка дальномерная 133**  
 Независа в периметре 227, 233, 237  
 -- в площадях 43  
 -- в превышениях 240, 241  
 -- в приращениях 227, 233, 237  
 -- ланейная 227, 233, 237  
 -- относительная 227, 233, 237  
 -- угловая 225, 232, 236
- Нивелирование геометрическое 302**  
 -- поверхности 354  
 -- техническое 235
- Нивелиры с компенсаторами 304**  
 -- с уровнями 303
- Номенклатура топографических карт 17, 18, 19, 20**  
**Номограмма калрегея 369, 370, 372**  
**Нуль-пункт 53**
- Обводной рычаг планиметра 39**  
**Обратная геодезическая засечка 224**  
**Объектив 64**  
**Окуляр 64**  
**Оптический центр 52, 55**  
**Ориентирование карты 26, 27**  
 -- линий 25  
 -- межузельного плашета 397  
 -- прибора (лимба) 261
- Ориентировочные линии 397**  
**Ориентир-буссоль 378**  
**Ось прибора вертикальная (ось алмады) 49**  
 -- визирная 49  
 -- горизонтальная (ось вращения трубы) 49
- Основание масштаба 14, 15**  
**Ошибка грубая (промах) 183**  
 -- вероятная 186  
 -- относительная 192  
 -- систематическая 183  
 -- случайная 184  
 -- средняя 186  
 -- средняя квадратическая 185
- Палетка 37**  
**Параллакс сетки нитей 67**  
**Параллактический угол 151**  
**Перекрытие зон 24**  
**Переходная точка 433**  
**Пикет 440, 443**  
**Пикетаж 336**  
**Пикетажный журнал 338**  
**Планиметр 39**  
**Плашкет 391, 445**  
**Плюсовая точка 337**  
**Поверхи дальномера 161, 176**  
 -- кипрегеля 360  
 -- межузды 379  
 -- нивелира 319  
 -- ориентир-буссоли 387  
 -- планиметра 40  
 -- тахеометра 281  
 -- теодолита 71  
 -- уривия 319  
 -- экскра 250  
 -- эклиметра 118
- Поле зрения трубы 70**  
**Полугоризонталь 298**  
**Полусный рычаг 39**
- Поперечный профиль местности 353**  
**Поправка за компарирование 113**  
 -- за кривизму Земли и рефракцию 417  
 -- за наклон линии 115
- Постоянные планиметры 41, 42**  
**Постраничный контроль 332, 333**  
**Превышение 30**  
**Привязка к пунктам геодезической сети 202, 327**  
**Приращение координат 226**  
**Продольный профиль местности 33, 350**  
**Промежуточная точка 342**  
**Прямая геодезическая задача 226**
- Радиус кривой 338**  
**Разбивка кривых главных точек 338**  
 -- детальная 340
- Рейки дальномерные 135, 157**  
 -- нивелирные 313, 329
- Рельеф местности 29**  
**Реш отсчетной системы 71**  
**Реперы 327**  
**Рефракция 416, 417**  
**Рулетка 110**  
**Румб 226**
- Сближение меридианов 25**  
**Связующая точка 349, 342**  
**Седловина 32**  
**Сетка нитей 85**  
 -- координатная 18, 23
- Ситуация 247**  
**Склонение магнитной стрелки 25, 26**  
**Способы съемки 249, 250, 251**  
**Створ 112**  
**Средняя квадратическая ошибка измерения 196**  
 -- среднего арифметического 196  
 -- самой средней квадратической ошибки 195
- Съемка межузельная 432, 434**  
 -- тахеометрическая 257, 270  
 -- теодолитная 246, 247
- Съёмочная точка 429, 433**  
**Съёмочное обоснование (съёмочные сети) 198**
- Тальвер 32, 33**  
**Тахеометр 271**  
**Теодолит 46, 47, 48, 50, 51**  
**Точка кипсовая 334**  
 -- переходная 433  
 -- плюсовая 334  
 -- промежуточная 342  
 -- связующая 344, 342  
 -- съёмочная 429, 433
- Точность верньера 58, 59**  
 -- измерения 10  
 -- масштаба 16
- Трансверсали 16**  
**Транспортер 296**
- Увеличение трубы 68**  
**Увязка 119**  
**Угол дирекционный 26**  
 -- горизонтальный 85  
 -- наклона 31  
 -- параллактический 151  
 -- примычный 224  
 -- поворота трассы 336, 338

- поля зрения 10
- Уклон** 30
- Уровень** контактный 303
  - круглый 320
  - цилиндрический 54, 303
- Условные знаки** внемасштабные 5
  - линейные 6
  - площадные 5
  - пояснительные 6
- Формы рельефа** 29, 31
- Ход** буссольный 429
  - висячий 200
  - диагональный 212
  - нивелирный 326
  - мензульный основной 424
  - съемочный 428
- тахеометрический 213
- теодолитный 198
- Хребет** 29
- Цена деления** лимба 58
  - планиметра 41
  - уровня 309
- Центрирование** прибора 86
- Цифры** значащие 227
- Широта** точки 21
- Эккер** 248
- Эклиметр** 118
- Эксцентриситет** алидады 74
- Элевационный** винт 310
- Элементы** кривой 338

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<b>ГЛАВА I. Изучение топографической карты . . . . .</b>	<b>5</b>
<i>Задание 1.1.</i> Изображение ситуации на топографических картах . . . . .	5
<i>Задание 1.2.</i> Измерение длин линий по карте . . . . .	8
<i>Задание 1.3.</i> Определение масштаба аэрофотоснимка . . . . .	12
<i>Задание 1.4.</i> Разграфка и номенклатура топографических карт . . . . .	17
<i>Задание 1.5.</i> Определение координат точек, заданных на топографической карте . . . . .	21
<i>Задание 1.6.</i> Ориентирование . . . . .	24
<i>Задание 1.7.</i> Изображение рельефа на топографических картах и решение задач по карте с горизонталями . . . . .	29
<b>ГЛАВА II. Определение площадей . . . . .</b>	<b>36</b>
<i>Задание II.1.</i> Определение площади графическим способом . . . . .	36
<i>Задание II.2.</i> Определение площади планиметром . . . . .	39
<i>Задание II.3.</i> Вычисление площади полигона аналитически . . . . .	44
<b>ГЛАВА III. Измерение горизонтальных и вертикальных углов . . . . .</b>	<b>46</b>
<i>Задание III.1.</i> Устройство технических теодолитов . . . . .	46
<i>Задание III.2.</i> Отсчетные устройства технических теодолитов . . . . .	58
<i>Задание III.3.</i> Устройство зрительной трубы технического теодолита и ее исследование . . . . .	64
<i>Задание III.4.</i> Исследования и поверки технических теодолитов . . . . .	71
<i>Задание III.5.</i> Измерение горизонтальных углов техническим теодолитом . . . . .	85
<i>Задание III.6.</i> Измерение вертикальных углов техническим теодолитом . . . . .	95
<b>ГЛАВА IV. Измерение длин линий на местности . . . . .</b>	<b>106</b>
<i>Задание IV.1.</i> Измерение линий мерной лентой . . . . .	107
<i>Задание IV.2.</i> Определение расстояний нитяным дальномером . . . . .	120
<i>Задание IV.3.</i> Измерение расстояний дальномерной насадкой двойного изображения с переменным параллактическим углом . . . . .	127
<i>Задание IV.4.</i> Измерение расстояний дальномерной насадкой ДН-8 двойного изображения с переменным параллактическим углом . . . . .	151
<i>Задание IV.5.</i> Измерение расстояний внутрибазным дальномером . . . . .	169
<b>ГЛАВА V. Начальные сведения из теории ошибок измерений . . . . .</b>	<b>183</b>
<i>Задание V.1.</i> Свойства случайных ошибок измерений. Критерии, служащие для оценки точности результатов измерений . . . . .	184

*Задание V.2.* Средние квадратические ошибки функций измеренных величин

*Задание V.3.* Обработка ряда равноотстоящих измерений

## **ГЛАВА VI. Съёмочное обоснование**

*Задание VI.1.* Проложение теодолитного хода

*Задание VI.2.* Проложение тахеометрического хода

*Задание VI.3.* Вычисление координат пунктов теодолитного и тахеометрического ходов

*Задание VI.4.* Вычисление высот пунктов тахеометрического хода

*Задание VI.5.* Прямая угловая засечка

## **ГЛАВА VII. Теодолитная и тахеометрическая съёмки**

*Задание VII.1.* Теодолитная съёмка

*Задание VII.2.* Тахеометрическая съёмка с применением технического теодолита

*Задание VII.3.* Тахеометрическая съёмка с применением тахеометров

*Задание VII.4.* Составление плана по результатам теодолитной съёмки

*Задание VII.5.* Составление плана по результатам тахеометрической съёмки

## **ГЛАВА VIII. Нивелирование IV класса и техническое**

*Задание VIII.1.* Устройство нивелиров и реек

*Задание VIII.2.* Исследования нивелиров и реек

*Задание VIII.3.* Поверки нивелира и реек

*Задание VIII.4.* Производство нивелирования IV класса и технического, применяемого при создании высотных сетей для топографических съёмок

*Задание VIII.5.* Обработка результатов нивелирования IV класса и технического, применяемого при создании высотных сетей для топографической съёмки

*Задание VIII.6.* Производство технического нивелирования для построения профиля местности

*Задание VIII.7.* Вычислительная обработка и графическое оформление результатов продольного и поперечного технического нивелирования

*Задание VIII.8.* Нивелирование поверхности

## **ГЛАВА IX. Мензуральная топографическая съёмка в масштабе 1:10 000**

*Задание IX.1.* Устройство, исследования и поверки комплекта мензулы

*Задание IX.2.* Подготовка планшета для мензуральной съёмки

*Задание IX.3.* Мензуральные засечки

*Задание IX.4.* Геометрическая сеть

*Задание IX.5.* Мензуральные ходы

*Задание IX.6.* Производство мензуральной топографической съёмки

Список литературы

Предметный указатель