

С. Д. ДУБОВ  
А. Н. ПОЛЯКОВ

# ЛЕСНАЯ СЪЕМКА



**С.Д. ДУБОВ**  
**А.Н. ПОЛЯКОВ**

# ЛЕСНАЯ СЪЕМКА

---

*Допущено Управлением руководящих кадров и учебных заведений Министерства лесного хозяйства РСФСР в качестве учебника для средних специальных учебных заведений по специальности 1510 «Лесное хозяйство»*



МОСКВА  
ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ  
1982

ББК 43

Д 79

УДК 630\*581/584+630\*587(07)

**Дубов С. Д., Поляков А. Н.**

Д79 **Лесная съемка: Учебник для техникумов.— М.: Лесная пром-сть, 1982.— 198 с., ил.**

В соответствии с программой изложены теория и практика работ по лесной съемке. Особое внимание уделено горизонтальной съемке лесопокрытых площадей наземными способами, а также с использованием авиации. Рассмотрены методика и технология геометрического нивелирования линейного типа, тахеометрической съемки, составления и переноса на местность проектов вертикальной планировки. Даны сведения об использовании топографических карт и планов в лесном хозяйстве, при составлении планово-картографических материалов лесоустройства, проектировании и выносе в натуру площадных и линейных объектов; рассмотрены возможности применения аэрофотоснимков, геодезической и фотограмметрической техники при лесной съемке. Показаны организация и технология проведения съемочных работ при лесоустройстве.

Для учащихся лесохозяйственных и лесотехнических техникумов.

Д  $\frac{40503-003}{037(01)-82}$  4-82 3903000000

**ББК 43**

**6П6.1**

Рецензенты: канд. с.-х. наук, доцент В. П. Поляков (Воронежский лесотехнический институт), Д. Д. Гузев (Воронежский всесоюзный заочный техникум)

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Для успешного решения исторической задачи по созданию материально-технической базы коммунистического общества советский народ располагает значительными запасами природных ресурсов, в том числе лесных. Рациональное использование и постоянное приумножение лесных богатств определяются народнохозяйственными планами.

В решениях XXVI съезда КПСС об Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрены обеспечение постепенного перехода к ведению лесного хозяйства по принципу непрерывного и рационального лесопользования, улучшение качественного состава лесов, выращивание в европейской части СССР и на Урале специальных лесных плантаций, которые будут служить постоянной лесосырьевой базой для целлюлозно-бумажной промышленности [1]. Выполнению этих решений должны предшествовать топографо-геодезические съемки и лесохозяйственное проектирование по картографическим материалам.

Съемку лесов ведут специалисты лесного хозяйства. Они же решают другие топографо-геодезические задачи, возникающие при проектировании и выполнении лесоустроительных и лесохозяйственных мероприятий. С этой целью в техникумах, готовящих специалистов лесного хозяйства, изучают геодезию, являющуюся одной из важнейших специальных дисциплин. Данный учебник написан в соответствии с новой учебной программой, предусматривающей изучение как общих, так и специальных вопросов геодезии и особенно лесной съемки.

В результате изучения курса учащиеся должны усвоить содержание и овладеть способами полевых измерений, поскольку это необходимо для получения плано-картографических материалов лесоустройства. Данные материалы составляют по топографическим картам и аэрофотоснимкам с использованием геодезических данных, поэтому в курсе изложены в требуемом объеме вопросы геодезические, картометрические и фотограмметрические.

С основами геодезии учащиеся знакомятся по I разделу учебника, в котором рассмотрены вопросы, относящиеся к ма-

тематической основе, содержанию и оформлению топографических и лесных планов и карт, определению по ним количественных и качественных характеристик местности. Изучение этого раздела позволяет не только овладеть методикой лесохозяйственного использования картографических материалов, но и получить представление о конечной продукции топографо-геодезических работ, т. е. сознательно усвоить процессы лесной съемки. Здесь же рассмотрены принципы съемочных работ и общие для всех способов съемки методы выполнения. В самом кратком виде даны сведения из теории погрешностей, необходимые для усвоения простейших способов математической обработки геодезических измерений.

Основное место в учебнике отведено методике и технологии съемочных работ, использованию современной геодезической техники. При этом главное внимание уделено горизонтальной съемке местности (II и частично IV разделы), что соответствует характеру съемочных работ, выполняемых при лесоустройстве. Наиболее полно освещены способы наземной съемки и дано представление о контурной аэрофототопографической съемке. В III и IV разделах представлены основы вертикальной и топографической съемок, которые техник лесного хозяйства должен выполнять при изысканиях и строительстве тех или иных сооружений и особенно лесохозяйственных дорог. Объем материала обеспечивает геодезическую подготовку учащихся специализации «Агролесомелиорация». В V разделе рассмотрены организация съемочных работ, проектирование по картам и планам лесохозяйственных мероприятий и вынос проектов в натуру. Эти материалы могут представлять интерес для инженерно-технических работников лесоустроительных и проектных организаций, лесхозов. Изучение курса предполагает также основательное ознакомление с устройством и методикой использования современных, наиболее перспективных геодезических приборов.

Данный учебник является первой попыткой систематизированного изложения курса геодезии, соответствующего целям его изучения в средних учебных заведениях Министерства лесного хозяйства РСФСР. В нем нашли отражение труды отечественных и зарубежных ученых, а также опыт авторов преподавания в высших учебных заведениях дисциплин, связанных с лесной съемкой.

Предисловие, гл. 1, 2, 7—9, 11 написаны С. Д. Дубовым; гл. 4—6, 10, 12—А. Н. Поляковым; введение, гл. 3 и 13—совместно.

# ВВЕДЕНИЕ

---

Съемкой (топографической) называют комплекс работ, выполняемых для получения оригинала плана или карты местности.

Лесная съемка — специализированная топографическая съемка, выполняемая для получения картографических материалов, характеризующих лесную растительность во взаимосвязи с другими элементами местности. Она представляет собой одно из важнейших мероприятий по приведению лесов в известность и является составной частью лесоустройства. Вместе с тем лесная съемка тесно связана с оценкой и учетом лесных ресурсов, т. е. с таксацией леса. По результатам совместных топографо-геодезических и таксационных работ изготовляют планы и карты лесов, необходимые для решения разнообразных задач, возникающих при организации и ведении лесного хозяйства, а также лесной промышленности. Лесную съемку, как и любую другую съемку местности, выполняют методами, разрабатываемыми в геодезии.

Геодезия — одна из наук о Земле. В переводе с греческого языка это слово означает землеразделение. Название науки связано с тем, что при своем возникновении она решала задачи размежевания (разделения) участков обрабатываемой земли. Современная геодезия решает более широкий круг проблем, обеспечивая народное хозяйство информацией о характере земной поверхности, свойствах и особенностях объектов местности. Она изучает форму и размеры Земли; определяет положение отдельных точек земной поверхности в избранной системе координат; исследует земную поверхность в деталях с целью изображения ее на картах и планах, а также для решения различных инженерных и народнохозяйственных задач.

Геодезия включает ряд научных дисциплин, в том числе топографию, картографию, инженерную геодезию, с которыми прежде всего связана лесная съемка. Топография подробно изучает земную поверхность и разрабатывает способы изображения ее на плоскости (плане, карте). Современные планы местности создают по фотоизображениям, снятым с самолетов и других летательных аппаратов. В связи с этим важнейшей составной частью топографии является аэрофототопография или

аэрофотогеодезия. Картография разрабатывает методы составления, издания и использования карт земной поверхности. Инженерная геодезия исследует вопросы создания топографо-геодезических материалов для проектирования инженерных сооружений (в том числе предприятий лесного хозяйства), а также разрабатывает методы измерений при выносе проектов на местность, строительстве и эксплуатации сооружений.

При выполнении лесной съемки используют методы, технологию и технические средства, разрабатываемые геодезией, а также технические приемы, обусловленные особенностями измерений в лесу, и некоторые специальные приборы.

Зарождение лесоустройства и, следовательно, лесных съемок в нашей стране относится к началу XVIII в. В составленной по указу Петра I инструкции предписывалось делить лесные массивы на хозяйственные единицы, снимать и описывать их. Прежде всего имелись в виду ценные для строительства русского флота и продажи за границу так называемые корабельные леса, растущие по берегам рек. Разрозненные съемочные данные были сведены в рукописную карту лесов европейской части России лишь в 1840—1841 гг. Первая печатная карта лесов, вошедшая в хозяйственно-статистический атлас Европейской России, появилась в 1851 г. Всесторонняя характеристика лесов европейской части нашей страны была дана в 1878 г. в специальном Лесохозяйственном статистическом атласе, содержащем 8 карт. К 1916 г. были приведены в известность (описаны) леса на площади 141 млн. га, преимущественно на севере страны, а сняты и устроены лишь на 39 млн. га.

До Великой Октябрьской социалистической революции изучали и использовали в основном леса, расположенные вблизи путей сообщения и промышленных центров, что приводило к огромному неоправданному истреблению лесных запасов. Съемочные работы часто велись полуинструментально, т. е. простейшими приборами и глазомерно, без надежного геодезического обоснования. Поэтому точность планов и составленных по ним карт была невысокой. Понимая это, видный ученый-лесовод профессор М. М. Орлов высказал в 1916 г. мысль о необходимости повышения точности лесных съемок и привязки их к геодезической основе.

В первые же годы советской власти уделяется большое внимание развитию лесоустройства, геодезии и картографии. В предписании Совета Народных Комиссаров от 5 апреля 1918 г., подписанном В. И. Лениным, отмечалось, что все леса нужно привести в известность, описать и организовать в них хозяйство [2]. Ленинским декретом от 15 марта 1919 г. было учреждено Высшее геодезическое управление (ныне Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров

СССР), которое стало центром, направляющим топографо-геодезические и картографические работы.

При поддержке Советского правительства лесоустройство получило широкий размах сразу после окончания гражданской войны. Вначале лесные площади устраивали с применением наземной съемки. Но уже в середине 20-х годов были начаты работы по аэрофотосъемке. Они позволили к 1945 г. привести в известность 400 млн. га лесов, главным образом в Сибири и на Дальнем Востоке. В первое послевоенное десятилетие (1945—1955 гг.) при помощи аэрофотосъемки было изучено 894,4 млн. га, что позволило издать в 1956 г. первую карту лесов СССР. В эти же годы стали использовать спектрзональные, а затем и многозональные аэроснимки. В настоящее время усиленно развивается новое направление в изучении и картографировании лесов — космические съемки.

В нашей стране обследован и учтен весь лесной фонд, занимающий площадь 1,2 млрд. га и имеющий запас около 82 млрд. м<sup>3</sup> древесины. Материалы съемки и таксации леса, а также данные общего картографирования служат основой для составления лесных карт разного назначения.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое лесная съемка: какова ее связь с лесоустройством и лесной таксацией? 2. Какие задачи решает геодезия? 3. Когда возникла и как развивалась лесная съемка в нашей стране?



# Раздел I. ПЛАНЫ И КАРТЫ. ОСНОВЫ ЛЕСНОЙ СЪЕМКИ

---

## Глава 1. ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛАНАХ И КАРТАХ

### § 1. ПОНЯТИЕ О ФОРМЕ И РАЗМЕРАХ ЗЕМЛИ

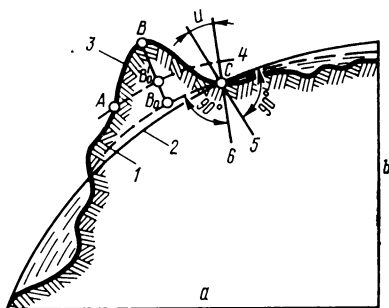
Значительную часть (71 %) нашей планеты занимают океаны и моря, поэтому за ее поверхность (рис. 1) принимают поверхность Мирового океана в его спокойном состоянии, мысленно продолженную под материками. Эту воображаемую поверхность называют основной уровенной поверхностью, или геоидом. Ее отличительной чертой является то, что в каждой своей точке она перпендикулярна направлению силы тяжести (отвесной линии). Через любую точку физической поверхности Земли можно провести свою уровенную поверхность, перпендикулярную направлению силы тяжести в этой точке. Зеркало воды в каждом сосуде или закрытом водоеме также представляет собой уровенную поверхность.

Вследствие вращения Земли и неравномерного распределения масс в ее теле геоид имеет сложную форму, которую невозможно описать простыми математическими уравнениями. В связи с этим для обработки результатов измерений физической поверхности Земли, выполняемых при составлении планов и карт, используют более простую математическую поверхность, но достаточно близкую по форме к геоиду. Для малых площадей (десятки километров) такой поверхностью является плоскость, для больших — эллипсоид, поверхность которого образуется в результате вращения эллипса вокруг его малой оси. Эллипсоид, имеющий поверхность близкую по форме и размерам поверхности геоида, называют земным эллипсоидом (см. рис. 1). Размеры и форма последнего характеризуются размерами его большой  $a$  и малой  $b$  полуосей или длиной большой полуоси  $a$  и величиной полярного сжатия  $\alpha = (a-b)/a$ .

В разное время неоднократно определяли размеры земного эллипсоида по результатам геодезических измерений. В СССР в 1940 г. по накопленным к тому времени обширным геодези-

Рис. 1. Геоид и земной эллипсоид:

1 — геоид; 2 — земной эллипсоид ( $a$ ,  $b$  — его большая и малая полуоси); 3 — физическая поверхность Земли; 4 — уровенная поверхность точки  $A$ ; 5 — нормаль к поверхности эллипсоида; 6 — отвесная линия;  $u$  — уклонение отвесной линии в точке  $C$ ;  $BB_0$  — абсолютная высота точки  $B$ ;  $BB'_0$  — превышение точки  $B$  над точкой  $A$



ческим материалам были вычислены следующие его размеры:  $a=6378245$  м;  $b=6356863$  м;  $a=1:298,3$ . В 1946 г. постановлением Правительства СССР эти размеры были утверждены для геодезических и картографических работ в нашей стране. Эллипсоиду с такими размерами было присвоено имя выдающегося советского геодезиста Ф. Н. Красовского (1878—1948), под руководством и по инициативе которого были выполнены вычисления. Из приведенных данных видно, что малая полуось Земли короче большей примерно на 21 км. Пренебрегая этой величиной, Землю можно считать шаром, поверхность которого равна поверхности земного эллипсоида. Шар радиусом 6371 км имеет поверхность, равную поверхности эллипсоида Ф. Н. Красовского.

## § 2. ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЯХ. ПРОЕКЦИЯ ГАУССА И ЕЕ СВОЙСТВА

Все неровности физической поверхности Земли изображают на бумаге (плоскости) за два приема. Сначала точки этой поверхности, например  $A$ ,  $B$  и многие другие (см. рис. 1), сносят (проектируют) на поверхность относимости по нормальям (перпендикулярам) к ней. В зависимости от необходимой точности карты за поверхности относимости принимают поверхности земного шара или эллипсоида. Затем последние математически преобразуют (развертывают) в плоскость. При этом требуется совместить все точки сферы с плоскостью. Вполне очевидно, что развернуть поверхность эллипсоида (шара) на плоскости без складок и разрывов невозможно. Сферическую поверхность делят на части и растягивают в разных направлениях. Вследствие этого положение точек на карте иное, чем оно было на сфере. Расстояния, углы и площади на карте искажаются.

Отображение всей поверхности земного эллипсоида (шара) или какой-либо ее части на плоскости, получаемое в основном с целью построения карты, называют картографической проекцией. Вид проекции выбирают в зависимости от

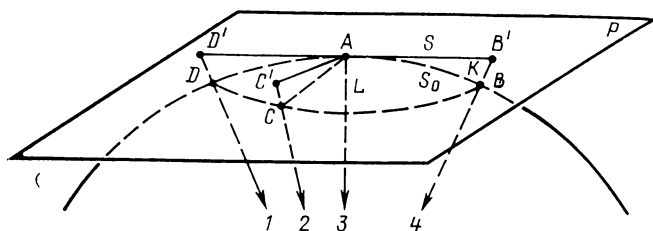


Рис. 2. Замена сферического участка горизонтальной плоскостью:

$B, C, D$  — проекции точек местности на сферическую поверхность;  $B', C', D'$  — проекции тех же точек на плоскость  $P$ , касательную к сфере в центре  $A$  участка; 1, 2, 3, 4 — нормали к сфере

назначения карты. Если, например, она предназначена для проведения угловых измерений, проекция должна обеспечить наименьшее искажение углов; при этом приходится мириться с некоторыми неточностями в определении расстояний и площадей. Наименьшие искажения — на топографических картах; все они, кроме карты масштаба 1:1 000 000, состояются в нашей стране в проекции, разработанной немецким математиком К. Ф. Гауссом (1777—1855).

В проекции Гаусса земной эллипсоид разворачивают в плоскость по зонам, каждая из которых ограничена меридианами, отстоящими друг от друга на  $6^\circ$ . Средний (осевой) меридиан каждой зоны изображают на плоскости прямой линией, длина которой точно равна ее длине на эллипсоиде. Часть дуги экватора также изображают прямой, а все остальные меридианы и параллели — кривыми, которые по мере удаления от осевого меридиана становятся длиннее по сравнению с их истинными размерами. Тем самым поверхность зоны как бы растягивается, но при этом соблюдается условие: любая бесконечно малая фигура на поверхности эллипсоида должна сохранять свою форму на карте, увеличиваясь только в размерах. Такое проектирование создает удобства для измерений по карте. Любые линии в пределах небольшого участка по всем направлениям увеличены одинаково, а углы между ними практически равны углам на местности.

Зоны нумеруют (от 1 до 60) от начального (нулевого) меридиана на восток. У нас и во многих других странах начальным считают меридиан, проходящий через Гринвичскую астрономическую обсерваторию (Лондон).

**Ортогональное проектирование и горизонтальные проложения.** Составление карты можно упростить, если точки местности перенести не на сферическую поверхность, а на касательную к ней горизонтальную плоскость (рис. 2), которая также является поверхностью относимости. На небольших участках длина прямой  $AB' = S$  на горизонтальной плоскости очень мало отличается от длины дуги  $AB = S_0$  на поверхности эллипсоида.

Так, если  $S_0=10$  км, то прямая  $S$  больше дуги лишь на 1 см, т. е. на  $1:1\,000\,000$  часть ее длины. На лесных съемках наиболее ответственные измерения линий выполняют с погрешностью, не превышающей 1 м на 2000 м расстояния ( $1:2000$ ). Такая погрешность равна разности длин прямой на плоскости и дуги  $S_0$  на сфере, когда эти расстояния не превышают 200 км. Съемку же ведут на изолированных участках значительно меньшей протяженности, поэтому измеренные на местности расстояния проектируют на горизонтальную плоскость, называемую плоскостью проекции.

Точки местности  $A, B, C$  и др. (рис. 3) переносят на плоскость проекции  $P$  способом ортогонального проектирования, т. е. по перпендикулярам к ней. Получаемые при этом изображения называют горизонтальными проложениями. Горизонтальное проложение точки и отвесной линии — точка. Отрезок  $CE$  горизонтальной линии местности изображается на плоскости проекции отрезком  $ce$  такой же длины, а отрезок

Рис. 3. Ортогональное проектирование и горизонтальные проложения

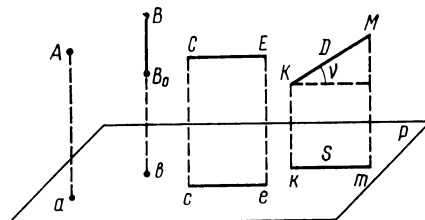
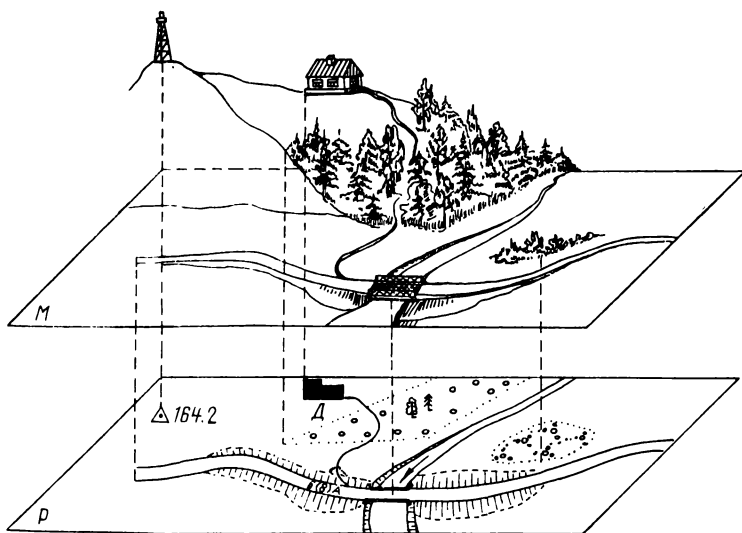


Рис. 4. Принципиальная схема топографической съемки:

$M$  — участок местности;  $P$  — его план



$KM=D$  наклонной линии — укороченным отрезком  $km=s$ . Зависимость между их длинами выражается формулой

$$s = D \cos v, \quad (1)$$

$v$  — угол наклона линии к горизонту, измеренный в вертикальной плоскости.

Исходя из сущности ортогонального проектирования, топографическую съемку местности можно схематически представить в следующем виде (рис. 4). Сначала проектируют ортогонально характерные точки участка местности на горизонтальную плоскость и уменьшают последнюю в заданное число раз. Затем на ней вычерчивают принятыми обозначениями проекции точек и соединяющие их линии. В результате получают план, изображающий населенные пункты, дороги, реки, леса и др.

### § 3. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СЪЕМКЕ МЕСТНОСТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАРТ

Координатами называют угловые и линейные величины (числа), определяющие положение точки на поверхности или в пространстве. Положение точки местности обычно определяют раздельно: по высоте и в плане.

Высота, или отметка, точки местности представляет собой ее удаление от уровня моря, которое считают по отвесной линии (см. рис. 1). Это удаление называют абсолютной высотой. В СССР абсолютные высоты считают от среднего уровня Балтийского моря, совпадающего с нулем Кронштадтского водомерного поста (футштока). Часто высотное положение точки местности указывают ее превышением над определенной поверхностью какой-либо другой точки, принимаемой за местное начало счета высот; это — относительная высота точки.

Указать плановое положение точки местности — значит назвать координаты ее проекции на поверхность относимости. Для этого применяют системы географических, плоских прямоугольных и полярных координат.

Географические координаты применяют для указания абсолютного (географического) положения точки на поверхности земного эллипсоида или шара. Ими являются угловые величины — широта и долгота. Широта — угол, составленный нормалью точки к поверхности земного эллипсоида (шара) и плоскостью экватора. Счет широт ведут по дуге меридиана в обе стороны от экватора, от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Широту точки северного полушария называют северной, а южного — южной. Долгота — двугранный угол между плоскостями меридиана данной точки и начального меридиана. Отсчитывают долготу

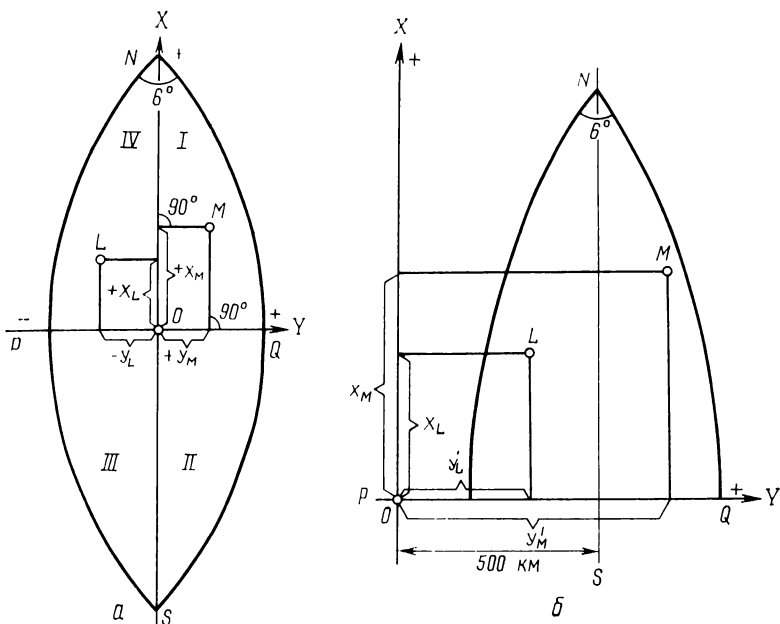


Рис. 5. Зональная система плоских прямоугольных координат:

*a, б* — действительная и условная записи ординат; *NS* — средний меридиан зоны; *PQ* — экватор; *X, Y* оси абсцисс и ординат; *O* — начало координат; *I–IV* — координатные углы (четверти); *M, L* — изображение точек местности на плоскости проекции Гаусса;  $x_M, x_L$  — абсциссы точек *M* и *L*;  $y_M, y_L, y'_M, y'_L$  — ординаты точек *M* и *L* в действительной и условной записях

по дуге экватора или параллели в обе стороны от начального меридиана от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Долготу точки, расположенной к востоку от Гринвича, называют восточной, а к западу — западной. Географические координаты точек местности определяют по картам с картографической сеткой или по результатам наблюдений за небесными светилами.

Плоские прямоугольные координаты применяют для указания положения точек местности, спроектированных на горизонтальную плоскость. Чаще всего используют зональную систему плоских прямоугольных координат. Ее установили для всех 6-градусных зон, на которые разделяют поверхность Земли при изображении на картах в проекции Гаусса. Особенности этой системы состоят в следующем. Ось абсцисс *X* (рис. 5) совмещают со средним (осевым) меридианом зоны, а ось ординат *Y* — с экватором. В геодезии положительным считают направление оси абсцисс, идущее от начала координат на север (вверх), а оси ординат — на восток (вправо). Счет координатных углов (четвертей), образованных делением

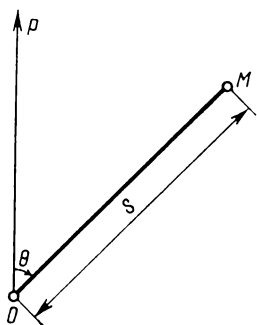


Рис. 6. Полярные координаты:

$M$  — точка местности;  $S$  — расстояние и  $\theta$  — угол положения, определяющие место точки относительно полюса  $O$  и полярной оси  $OP$

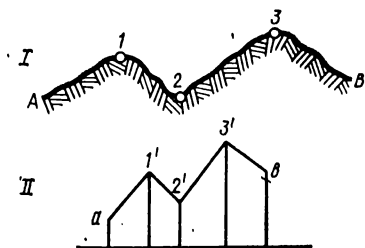


Рис. 7. Вертикальный разрез местности  $I$  и его профиль  $II$ :

$A, 1, 2, 3, B$  — точки физической поверхности Земли;  $a, 1', 2', 3', b$  — соответствующие им точки профиля

зоны осями координат, ведут от положительного направления оси абсцисс по ходу часовой стрелки.

Для определения положения любой точки, например  $M$ , из нее опускают перпендикуляры на обе оси. Длины отрезков осей от начала координат до оснований перпендикуляров являются соответственно абсциссой  $x$  и ординатой  $y$  точки  $M$ . Чтобы каждой паре координат соответствовала только одна точка зоны, их значению приписывают знак той четверти, в которой лежит точка. В зональных системах все точки территории нашей страны имеют положительные абсциссы  $x$ ; чтобы положительными были и ординаты, к значению ординаты осевого меридиана добавляют 500 км и, значит, отсчет ординат начинают от линии, расположенной на 500 км западнее осевого меридиана (см. рис. 5, б). Если нужно по координатам точки определить, к какой зоне она относится, к значению ординаты слева приписывают номер зоны. Тогда ординату записывают 7—8-значным целым числом, в котором 1 или 2 первые цифры обозначают номер зоны, а остальные 6 — величину ординаты (в метрах).

Пример. Точка  $M$  имеет координаты:  $x=7\ 256\ 345$  м,  $y=3\ 425\ 650$  м. Следовательно, она находится севернее экватора на 7 256 345 м и лежит в 3-й зоне на расстоянии 425 650 м от начала счета ординат этой зоны, т. е. к западу от осевого меридиана на  $74\ 350$  м ( $425\ 650 - 500\ 000 = -74\ 350$ ).

При лесной съемке используют также местную систему плоских прямоугольных координат. В этом случае за начало координат выбирают произвольную точку, а ось абсцисс совме-

щают с географическим или магнитным меридианом. Целесообразно начало координат выносить за пределы снимаемого района в юго-западном направлении, тогда координаты всех его точек имеют положительные знаки. Иногда ось абсцисс направляют на точку, положение которой известно относительно начала системы  $O$ ; здесь имеют дело с частной системой координат. Прямоугольные координаты определяют по топографическим картам и планам, имеющим прямоугольную сетку, а также вычислением по результатам измерений на местности.

При определении полярных координат (рис. 6) на плоскости за полюс обычно принимают точку, положение которой известно как на местности, так и на плане (геодезический пункт, перекресток дорог, пересечение квартальных просеков и пр.), за полярную ось — направление меридиана или на какую-нибудь точку, положение которой также известно. Полярные координаты точек местности определяют по результатам угловых и линейных измерений на местности и по карте.

#### § 4. КАРТА, ПЛАН И ПРОФИЛЬ МЕСТНОСТИ

По результатам съемки местности составляют карты, планы и профили.

Карта представляет собой изображение значительного по размерам участка Земли или всей планеты в целом, спроектированное на эллипсоид или шар, поверхность которого затем развернута в плоскость. Отрезки линий местности на картах уменьшены в десятки тысяч и даже в миллионы раз. Поэтому на них показывают условными знаками лишь важнейшие объекты и явления, специально отобранные и обобщенные в соответствии с назначением карт. Им присущи те или иные искажения, что вызывает необходимость введения поправок в измеренные по ним расстояния, направления или площади. Топографические карты практически не имеют искажений, лишь на краях зон измеренные по ним расстояния могут отличаться от действительных на 0,1 %, а площади на 0,2 %.

План (см. рис. 4) — изображение на плоскости в ортогональной проекции ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается. На плане местность изображают подробно, без существенных обобщений и искажений.

Для решения задач, связанных с проектированием и строительством сооружений линейного типа (дорог, каналов и др.), составляют профили местности (рис. 7). Профилем называют чертеж, изображающий разрез местности вертикальной плоскостью. В отличие от карт и планов на профилях изображают не участки, а линии местности — прямые и кривые.



## § 5. МАСШТАБЫ. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ПО КАРТЕ

**Масштаб, его обозначение и использование.** Расстояния между объектами местности, точнее, их проекции на поверхность относимости, уменьшают на картах в заданное число раз. Отношение, показывающее, во сколько раз уменьшены линейные размеры земной поверхности при изображении на карте, называют масштабом карты. Его записывают под нижней стороной рамки листа в виде дроби с числителем, равным единице, например  $1 : 10\,000$ . Такую запись называют численным масштабом. С использованием последнего по карте измеряют расстояния в любой системе линейных мер. Расстояние на местности равно расстоянию на карте (в миллиметрах, сантиметрах, дюймах или других единицах длины), умноженному на знаменатель численного масштаба. Если на карте  $1 : 10\,000$  отрезок между двумя точками равен 23 мм, соответствующее ему расстояние на местности равно  $23 \cdot 10\,000 = 230\,000$  мм = 230 м. Под численным масштабом записывают именованный масштаб, который выражает именованные числа, обозначающие длину взаимно соответствующих отрезков на карте и в природе, например в 1 см 100 м.

Расстояние на местности, соответствующее 1 см карты, называют величиной масштаба. Измерив на карте расстояния в сантиметрах, легко подсчитать расстояния на местности. Отрезок в природе равен величине масштаба, умноженной на расстояние, измеренное на карте (в сантиметрах). Чтобы избежать вычислений, используют линейный масштаб — график в виде отрезка прямой, разделенного на равные части с подписанными значениями соответствующих им расстояний на местности. Обычно отрезок разбивают на 2-сантиметровые части (основания), что для планов и карт, изготавливаемых в СССР, соответствует целому числу километров или сотен метров в природе. Крайнее левое основание разделяют на более мелкие части. Измерения при помощи линейного масштаба обычно выполняют циркулем-измерителем.

**Точность масштаба.** Объекты местности изображают на картах и планах с максимально возможной точностью, равной, как это установлено опытным путем, 0,01 см. Это расстояние — та минимальная величина, которую можно различить невооруженным глазом и измерить циркулем. Ее называют предельной графической точностью, а соответствующее ей расстояние на местности — предельной точностью (или просто точностью) масштаба. Таким образом, точность масштаба — это расстояние на местности, соответствующее 0,01 см на плане (карте).

Точность масштаба учитывают при решении вопроса о том, какой величины объекты местности могут быть изображены на плане подобной фигурой, а какие с нарушением подобия или

лишь внемасштабным условным знаком. Например, на лесо-устроительном планшете, составленном в масштабе 1 : 25 000 по аэрофотоснимкам, границу таксационного выдела показывают прямой линией, если в натуре она отступает от прямой не более чем на 2,5 м; в масштабе 1 : 10 000 на планшет наносят и такие извилины. Практическое значение имеет обратная задача: в каком масштабе надо вести съемку, чтобы изобразить объекты заданных размеров? Так, для изображения на плане объектов размерами не менее 0,5 м съемку ведут в масштабе 1 : 5000.

**Поперечный масштаб.** С предельной графической точностью отрезки измеряют и откладывают при помощи графика, называемого поперечным масштабом. Его гравировают на отдельных металлических линейках или на линейках некоторых геодезических приборов; ширина основания графика 10; 20; 40 или 50 мм. Принцип построения графика с основанием 20 мм показан на рис. 8. По построению видно, что сторона  $ab$  треугольника  $abo$  (см. рис. 8, б) равна 0,1 основания, т. е. 0,2 см, отрезок  $kl$  на 0,02 см меньше, следующий еще на 0,02 см и т. д.; наименьший из них равен 0,02 см. Оценивая на глаз положение игловок циркуля-измерителя относительно горизонтальных линий, расстояния измеряют с точностью 0,01 см.

**Пример.** Пусть требуется определить расстояние на местности, соответствующее отрезку  $de$  на карте масштаба 1 : 25 000 (рис. 8, а). Раствор циркуля, равный этому отрезку, устанавливают на поперечном масштабе так, чтобы обе ножки были на одной горизонтальной линии, причем правая на одном из перпендикуляров к основанию (точке  $e'$ ), а левая на одной из наклонных линий (точке  $d'$ ). Учитывая, что в масштабе 1 : 25 000 одному основанию, равному 2 см, соответствует на местности 500 м,  $\frac{1}{10}$  доли основания (0,2 см) 50 м и  $\frac{1}{100}$  (0,02 см) 5 м, по цифровым обозначениям линий поперечного масштаба читают длину отрезка  $d'e'$ , которая равна  $500 \text{ м} \cdot 1 + 50 \text{ м} \cdot 3 + 5 \text{ м} \cdot 6 = 680 \text{ м}$ .

**Техника измерения и откладывания расстояний на карте.** Прямые короткие отрезки измеряют (откладывают) на карте с помощью линейного или поперечного масштаба рассмотренными выше способами. При измерении прямых длинных отрезков, когда раствор циркуля больше длины графика масштаба, целое число километров или сотен метров определяют по квадратам прямоугольной сетки (см. § 8), а остаток — по масштабу.

Для получения длины ломаной линии последовательно измеряют длину каждого ее звена, а затем суммируют их величины. Такие линии измеряют также наращиванием раствора циркуля.

**Пример.** Чтобы измерить длину ломаной  $ABCD$  (рис. 9, а), ножки циркуля сначала ставят в точки  $A$  и  $B$ . Затем, вращая циркуль вокруг



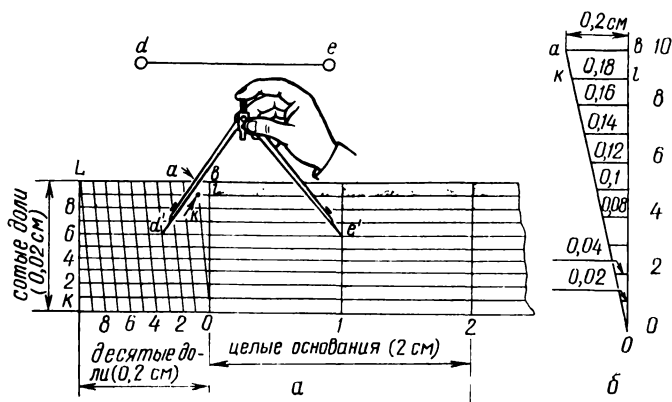


Рис. 8. Поперечный масштаб:

*a* — принцип построения графика и пример измерения расстояния *de*; *б* — длина горизонтальных отрезков в треугольнике *abo*

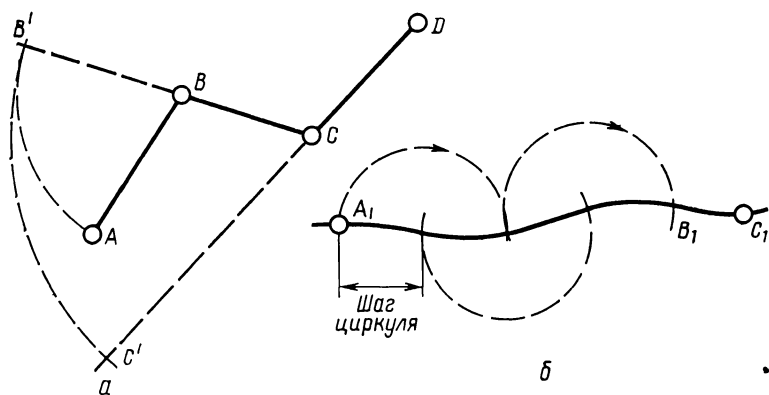


Рис. 9. Измерение длины линии:

*a* — ломаной *ABCD*; *б* — кривой *A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>*; *B'C'* — вспомогательные точки

точки *B*, перемещают заднюю ножку из точки *A* в точку *B'*, лежащую на продолжении прямой *BC*. Переднюю ножку из точки *B* переносят в точку *C*. В результате получают раствор циркуля  $B'C = AB + BC$ . Переместив аналогичным образом заднюю ножку циркуля из точки *B'* в точку *C'*, а переднюю из *C* в *D* получают раствор циркуля  $C'D = B'C + CD$ , длину которого определяют с помощью поперечного или линейного масштаба.

Длинные кривые отрезки измеряют по хордам шагами циркуля (см. рис. 9, б). Шаг циркуля, равный какому-нибудь целому числу сотен или десятков метров, устанавли-

вают с помощью поперечного или линейного масштаба. При перестановке ножек циркуля вдоль измеряемой линии в направлениях, показанных на рис. 9, б стрелками, считают шаги. Общая длина линии  $A_1 C_1$  складывается из отрезка  $A_1 B_1$ , равного величине шага, умноженной на число шагов, и остатка  $B_1 C_1$ , измеряемого по поперечному или линейному масштабу.

Кривые отрезки измеряют курвиметром (рис. 10). Сначала, вращая колесико рукой, устанавливают стрелку на нулевое деление, затем прокатывают колесико по измеряемой линии. Отсчет на циферблате против конца стрелки (в сантиметрах) умножают на величину масштаба карты и получают расстояние на местности.

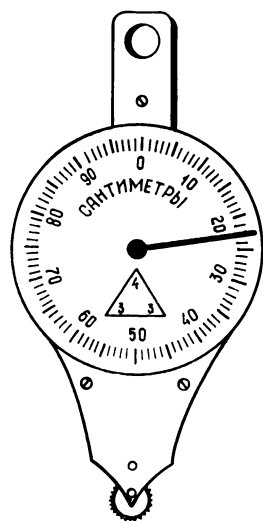


Рис. 10. Курвиметр

## § 6. КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ КАРТ И ПЛАНОВ

**Общегеографические и тематические карты (планы).** Карты и планы поверхности Земли называют географическими. Их подразделяют на общегеографические и тематические. Первые универсальны: по ним решают самые разнообразные народнохозяйственные задачи. Вторые нередко называют отраслевыми или картами специального назначения.

На общегеографических картах изображают рельеф земной поверхности и ситуацию: водные пространства (гидрографию), растительный покров, почвы и грунты, населенные пункты, пути сообщения, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, линии связи и электропередач, границы, ограждения и другие природные и созданные трудом человека объекты. Наиболее распространенный вид карт этой группы — топографические карты и планы масштаба  $1 : 1\,000\,000$  и крупнее. На них с большой подробностью и точностью изображают сушу земной поверхности. Совместно сушу и водные пространства в масштабе мельче  $1 : 1\,000\,000$  изображают на собственно географических картах.

На тематических картах с большой подробностью и наглядностью отображают один или несколько элементов, входящих в содержание общегеографических карт (например, лесную растительность), или отсутствующие на них объекты и явления (общественные либо природные, например почвенный покров). Такие карты создают для решения строго определенных задач какой-либо отрасли науки или народного хозяйства. Поэтому в каждой из них содержится обычно узкий круг

данных, но с более детальной и углубленной характеристикой. Содержание тематических карт весьма разнообразно; большую группу их составляют лесные карты и планы.

**Топографические карты и планы.** В нашей стране топографические карты издают в масштабах 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000, планы — 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Наряду с ними на некоторые районы составляют карты масштаба 1:300 000. Отдельные ведомства для удовлетворения своих потребностей вместо топографических планов создают так называемые горизонтальные, или контурные, планы, на которых отсутствует изображение рельефа. В зависимости от масштаба, определяющего полноту и детальность содержания, а также возможную точность измерений, топографические карты условно объединяют в три группы: крупно- (от 1:10 000 до 1:100 000), средне- (1:200 000, 1:300 000) и мелко масштабные (1:500 000, 1:1 000 000).

Топографические карты широко применяют при инвентаризации, охране, выращивании, эксплуатации и восстановлении лесов. По ним изучают физико-географические свойства покрытых лесом территорий, составляют проекты лесоустройства, планируют размещение лесозаготовительных предприятий, выбирают и проектируют пути транспортирования древесины, ведут лесо- и агролесомелиоративные изыскания, организуют противопожарные мероприятия. Карты используют в качестве топографо-геодезической основы плано-картографических материалов лесоустройства. Для решения каждой из указанных задач используют карты наиболее подходящих масштабов, обеспечивающих достаточно точное и детальное изучение местности.

Лесоустроительные работы I и II разрядов проектируют по карте масштаба 1:25 000, а III и IV — 1:50 000 и даже 1:100 000. По этим же картам составляют планы аэротаксационных работ соответствующей точности и отображают их результаты. При изысканиях и проектировании лесохозяйственных и лесовозных дорог используют любые крупномасштабные карты. Предварительное изучение местности при проектировании работ по лесо- и агролесомелиорации, улучшению состояния сплавных рек осуществляют по картам масштабов 1:25 000 и 1:50 000, а детальное проектирование таких работ — 1:10 000 и 1:5000.

Проекты размещения промышленных объектов, населенных пунктов, жилых и административных зданий, транспортных сооружений составляют по топографическим планам; по ним же готовят данные для переноса проектов на местность. Топографические карты среднего и мелкого масштабов используют при организации и проведении противопожарной авиационной охраны лесов, а также при экономических расчетах, связанных

с планированием лесного хозяйства и лесной промышленности в масштабах лесопромышленного комплекса, области, края.

**Лесные карты и планы.** По сравнению с общегеографическими лесные карты и планы содержат более полную и подробную информацию о лесе как природном явлении и объекте экономики. В зависимости от содержания различают карты и планы лесов, карты лесного хозяйства и карты лесной промышленности.

Планы и карты лесов всесторонне характеризуют занятую лесом территорию и содержат сведения о размещении, количестве и качестве запасов древесины. По ним определяют условия пользования лесом, проектируют лесоводственные, лесовосстановительные и лесомелиоративные мероприятия, защиту леса от вредителей, противопожарную охрану, а также решают многие другие лесохозяйственные и лесопромышленные задачи.

Первичный картографический документ, составляемый по результатам съемки и таксации леса,— лесоустроительный планшет, представляющий собой план группы лесных кварталов. Вместе с другими документами таксации планшет используют для детальной инвентаризации лесного фонда. В лесничестве он служит точным графическим документом, на котором фиксируют все изменения в лесном фонде в результате лесосечных, лесовосстановительных и других работ. По материалам планшетов составляют план лесонасаждений лесничества. Он дает наглядное представление о пространственном размещении лесного фонда, преобладающих породах и возрасте насаждений. В зависимости от разряда лесоустройства планшеты и планы лесонасаждений составляют с разной степенью подробности в соответствии с установленными для них масштабами (табл. 1).

### 1. Масштабный ряд лесоустроительных планшетов и планов лесонасаждений

Разряд лесоустройства	Масштабы	
	планшетов	планов
Iа, I	1 : 5000, 1 : 10 000	1 : 10 000 — 1 : 25 000
II	1 : 10 000	1 : 25 000
III	1 : 25 000	1 : 50 000
IV	1 : 50 000	1 : 100 000

На основе планов лесонасаждений составляют схематические карты объектов лесоустройства (лесхозов, леспромхозов, лесхоззагов и др.). В зависимости от размеров площади предприятия такие карты изготовляют в масштабах 1 : 50 000—1 : 500 000. На них показывают размещение, породный и воз-

растной состав лесных массивов, административно-хозяйственное деление предприятия, наличие и положение путей сообщения и др.

Перечисленные выше картографические материалы, данные лесоинвентаризации и другие источники информации используют для составления карт лесов областей, краев, республик и страны в целом. По содержанию они бывают общие, характеризующие леса данной территории по их основным показателям (преобладающие породы, возраст, продуктивность, хозяйственные единицы), и частные, отображающие лесистость, запас древесины, интенсивность эксплуатации лесов и др.

Карты лесного хозяйства также подразделяют на общие и частные. На общих картах показывают разностороннюю деятельность предприятий отрасли, направление и степень интенсивности лесохозяйственного производства, на частных — детальные характеристики отдельных направлений лесохозяйственной деятельности (лесоустройства, лесовосстановления, охраны лесов от пожаров и др.).

Карты лесной промышленности отображают размещение и мощность лесозаготовительных и лесобрабатывающих предприятий, характеризуют лесосырьевую базу, пути транспорта леса и др. В связи с созданием лесопромышленных комплексов появились карты, характеризующие предприятия комплекса, их технические и транспортные связи, сырьевую и энергетическую базы.

Карты лесов, лесного хозяйства и лесной промышленности издают обычно в средних и мелких масштабах (1 : 300 000 и мельче); они входят также в состав атласов — комплексных и тематических (лесных).

## § 7. РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА КАРТ

Топографические и лесные карты и планы издают отдельными листами. Систему деления карты на листы называют разграфкой, а систему обозначения (нумерации) листов — номенклатурой.

**Разграфка и номенклатура топографических карт и планов.** Границами листов этой группы карт и планов служат изображения параллелей и меридианов. Они образуют рамки листов, ориентируют их относительно сторон горизонта. Северная сторона рамки расположена вверху листа. Листы имеют форму равнобоких трапеций.

В основу деления топографических карт на листы положена разграфка карты масштаба 1 : 1 000 000 (рис. 11). Ее трапеции ограничены параллелями через  $4^{\circ}$  и меридианами через  $6^{\circ}$ . Горизонтальные ряды (пояса) трапеций обозначены латинскими буквами *A, B, C, ..., V*, счет которых ведут в обе стороны от экватора (на рис. 11 пояса *A—G* не показаны). Вертикальные

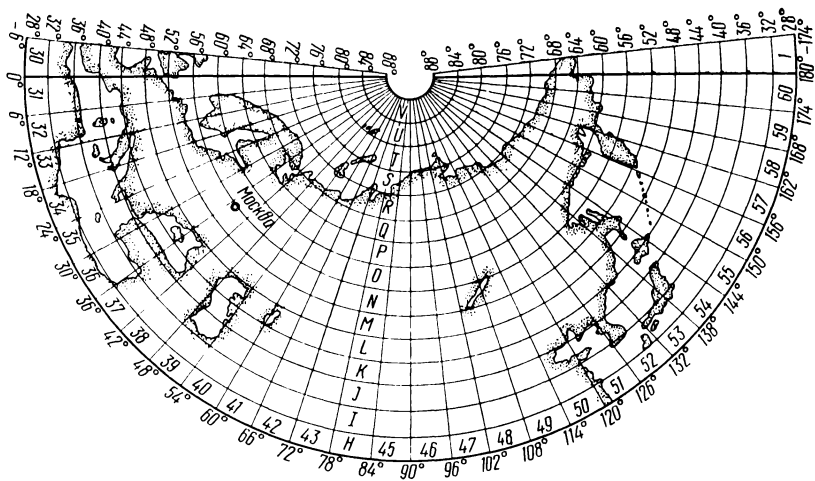
ряды (колонны) обозначают арабскими цифрами (от 1 до 60) и считают от меридиана  $180^\circ$  в восточном направлении. Номенклатура листа карты 1:1 000 000 состоит из буквы, обозначающей номер пояса, и числа, соответствующего номеру колонны. Например, лист на район г. Москвы обозначается *N-37*. Размеры листов топографических карт более крупных масштабов установлены так, что каждому листу карты 1:1 000 000 соответствует целое их число. Поэтому номенклатура любого листа топографической карты масштаба 1:500 000 и крупнее складывается из номенклатуры соответствующего листа карты 1:1 000 000 с добавлением к ней чисел или букв, указывающих расположение на нем данного листа.

Разграфка трапеции 1:1 000 000 на листы масштабов 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000, а также система их обозначения показаны на рис. 12. Каждый лист карты масштаба 1:100 000, 1:50 000 и 1:25 000 делят на 4 листа карты следующего за ним более крупного масштаба, т. е. 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000 соответственно (рис. 13). Рамки планов масштаба 1:5000 нарезают делением листа 1:100 000 на 256 частей. Листы этого масштаба обозначают номером листа карты масштаба 1:100 000, к которому в скобках приписывают свой порядковый номер (рис. 13). Номенклатуру листа указывают над северной стороной его рамки, а рядом с ней — обычно название наиболее крупного населенного пункта (реки, хребта, урочища и пр.). Чтобы облегчить определение номенклатур листов, смежных с данным, их подписывают на всех четырех сторонах рамки.

**Особенности разграфки и обозначения лесоустроительных планшетов, планов лесонасаждений и схематических карт лесхозов.** Данные картографические документы составляют не на сплошные массивы, а на разрозненные районы, поэтому нет необходимости в создании единой системы разграфки и нумерации листов на обширные территории. При лесоустройстве для каждого изолированного участка устанавливают свою систему нарезки границ планшетов, а также решают вопросы компоновки планов лесонасаждений и схем объектов лесоустройства. Эти вопросы следующие: размещение картографических материалов в избранном масштабе на определенном числе листов заданного формата, ориентирование рамок, размещение в рамках и на полях планов (схем) названий, экспликации (пояснительного текста), условных знаков, дополнительных схем и пр. Рамки листов квадратной или прямоугольной формы ориентируют по сторонам горизонта (верхнюю — на север).

Лесоустроительные планшеты изготовляют на листах чертежной бумаги размером  $60 \times 60$  см. Картографическое изображение располагают в квадрате со стороной 50 см. Рамки нарезают от магистральных ходов-просек шириной не





N-42

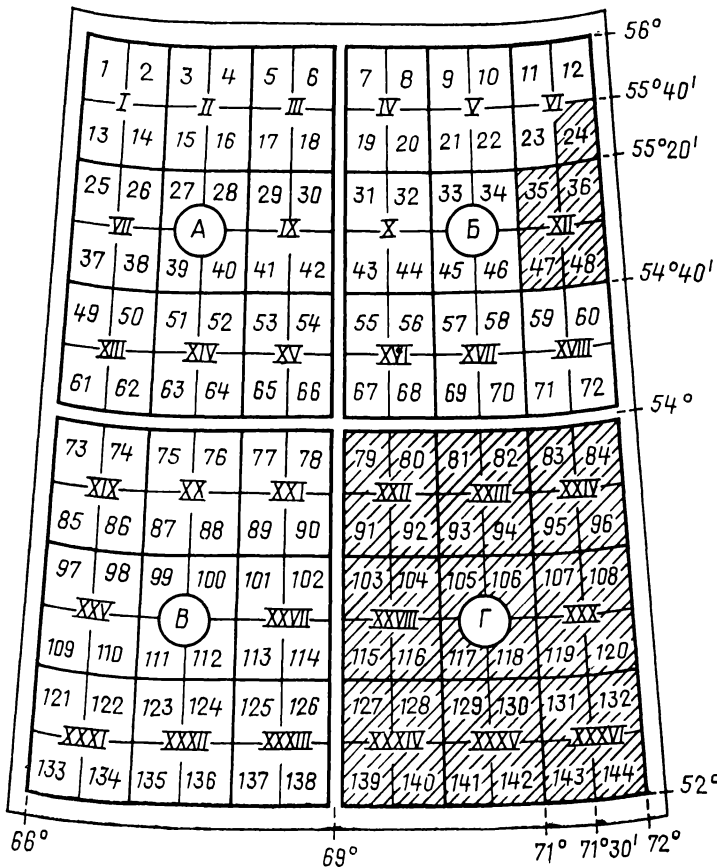


Рис. 11. Схема разграфки карты масштаба 1 : 1 000 000 на листы

Рис. 12. Схема разграфки трапеции масштаба 1 : 1 000 000 на листы карт масштабов 1 : 500 000 — 1 : 100 000 и их обозначение:

горизонтальные линии — параллели с указанием широты; вертикальные — меридианы с указанием долготы; листы А, Б, В, Г — масштаба 1 : 500 000, I—XXXVI — 1 : 200 000, I—144 — 1 : 100 000; номенклатуры заштрихованных листов: N 42-Г — масштаба 1 : 500 000; N-42-XII 1 : 200 000; N-42-24 1 : 100 000

N-42-77

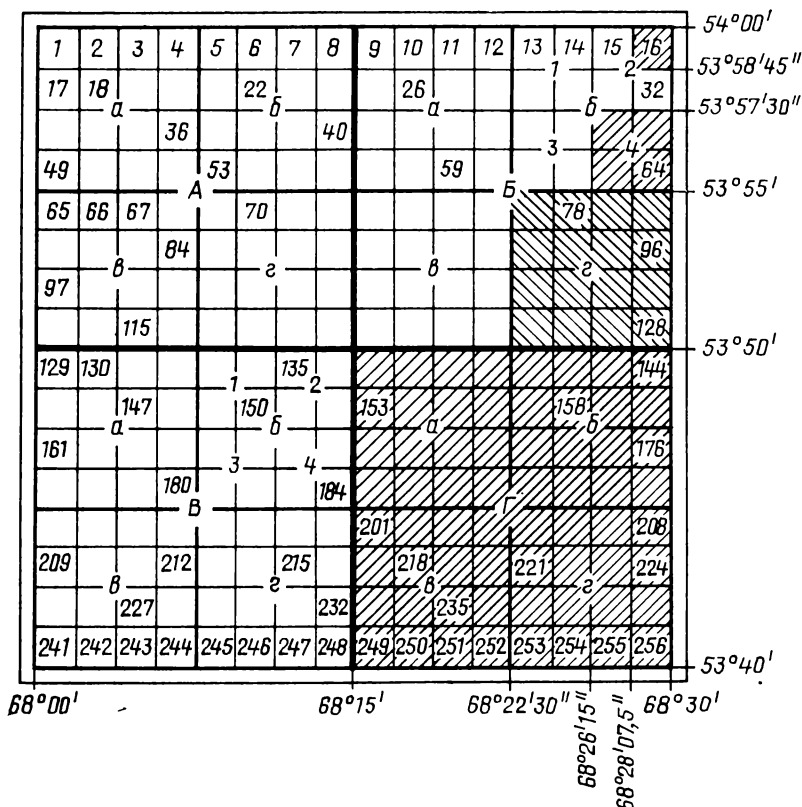


Рис. 13. Схема разграфки трапеции масштаба 1 : 100 000 на листы карт масштабов 1 : 50 000 — 1 : 5 000 и их обозначение:

горизонтальные линии — параллели с указанием широты, вертикальные — меридианы с указанием долготы; листы А, Б, В, Г — масштаба 1 : 50 000; а, б, в, г — 1 : 25 000; I—4 — 1 : 10 000; I—256 — 1 : 5 000; номенклатуры заштрихованных листов: N-42-77-Г — масштаба 1 : 50 000, N-42-77-Б-г — 1 : 25 000, N-42-77-Б-6-4 — 1 : 10 000, N-42-77-16 — 1 : 5 000

менее 1 м, прорубаемых при первичном лесоустройстве примерно через середину устраиваемого массива с юга на север и с запада на восток. Для нумерации планшетов обычно применяют произвольную номенклатуру, т. е. каждому из них присваивают порядковый номер, счет ведут от северо-запад-

ного угла лесничества. Номера возрастают слева направо и сверху вниз. Над северной рамкой планшета крупным шрифтом пишут его номер, а со всех четырех сторон ее более мелким шрифтом — номера соседних планшетов. На нижних полях планшетов или в отдельном приложении помещают схему лесничества с показом рамок и номеров планшетов.

План лесонасаждений размещают не более чем на четырех листах бумаги  $596 \times 836$  мм. Если лесничество состоит из разрозненных частей (массивов, кварталов, урочищ), расположенных на значительных расстояниях друг от друга, для компактности плана их изображают сближенными. Взаимное расположение частей в этом случае показывают на схеме произвольного масштаба, вычерченной на полях плана. План разрезают на форматки размером  $19 \times 28$  см, которые с небольшими разрывами наклеивают на ткань.

Схематическую карту лесхоза (леспромхоза и др.) размещают на отдельном листе размером не более  $80 \times 120$  см.

Для географической привязки лесных планов (карт) над их северными рамками указывают административную принадлежность территории.

## § 8. КООРДИНАТНЫЕ СЕТКИ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПО КАРТАМ

Географические координаты точек местности определяют по карте при помощи картографической сетки, представляющей собой изображение сетки параллелей и меридианов. На карте масштаба  $1:1\,000\,000$  линии картографической сетки проведены с интервалом  $1^\circ$ ,  $1:50\,000$  —  $20'$  по широте и  $30'$  по долготы. На картах более крупных масштабов линиями картографической сетки служат рамки листов (рис. 14). Рядом с ними расположены минутные рамки с указанием выходов параллелей и меридианов через одну минуту. Сами минутные деления на этих картах, за исключением  $1:200\,000$ , разбиты точками на 10-секундные отрезки. Подписи линий сетки помещены в углах рамок листов.

Измерение по карте географических координат точки сводится к проведению через нее параллели и меридиана и отсчету их широты и долготы на соответствующих сторонах минутной рамки. Уложив на листе карты линейку так, чтобы ее ребро проходило через данную точку и одноименные деления на западной и восточной сторонах минутной рамки, отсчитывают по одной из них широту точки; аналогично, пользуясь северной и южной сторонами минутной рамки, отсчитывают ее долготу. На рис. 14 показано, что, действуя таким способом, определили географические координаты дома лесника: широту  $B$  северную  $54^\circ 41' 37''$ , долготу  $L$  восточную  $18^\circ 06' 13''$ . Для на-

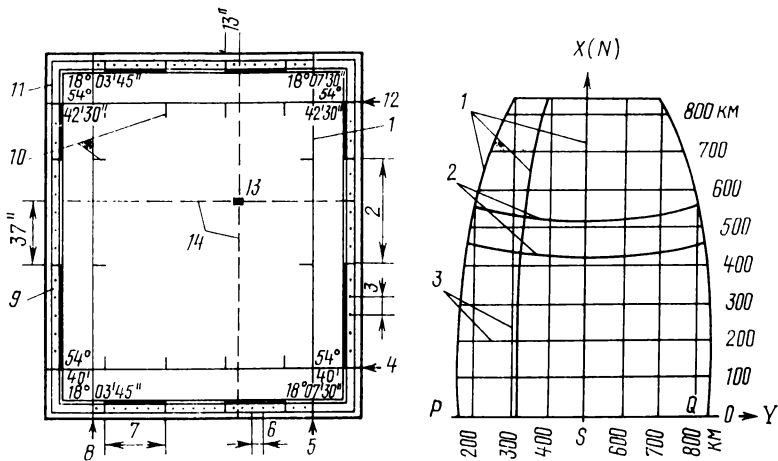


Рис. 14. Картографическая сетка и минутная рамка листа карты масштаба 1 : 10 000 (пример определения географических координат по карте);

1 — рамка листа; 2, 3 — изображения 1' и 10'' широты; 4, 12 — подписи широты южной (54°40') и северной (54°42'30") сторон рамки; 5, 8 — подписи долготы восточной (18°07'30") и западной (18°03'45") сторон рамки; 6, 7 — изображения 10'' и 1' долготы; 9, 11 — минутная и внешняя рамки; 10 — выходы минутных делений на картографическое изображение; 13 — условный знак дома лесника; 14 — линии, проведенные при определении географических координат дома

Рис. 15. Принцип размещения и оцифровки линий прямоугольной сетки в пределах зоны:

NS — осевой меридиан зоны; PQ — экватор; 1 — меридианы; 2 — параллели; 3 — линии прямоугольной сетки

несения на карту объекта по его географическим координатам на ней находят точки пересечения параллели и меридиана данного объекта. Их проводят, соединив на западной и восточной сторонах минутной рамки метки с заданной широтой объекта, а на северной и южной — с долготой.

Важным элементом топографической карты (плана) является прямоугольная сетка. На все листы данной 6-градусной зоны сетку наносят в виде рядов линий, параллельных осевому меридиану и экватору (рис. 15). Интервалы между линиями на картах масштабов 1 : 200 000 — 1 : 50 000 составляют 2 см, 1 : 25 000 — 4 см, 1 : 10 000 — 10 см, что соответствует целому числу километров на местности (рис. 16). Поэтому прямоугольную сетку называют еще километровой, а ее линии километровыми. Километровые линии, ближайšie к углам рамки листа карты, подписывают полным числом километров, остальные — двумя последними цифрами. Надпись 6065 (см. рис. 16) на одной из горизонтальных линий означает, что эта линия удалена от экватора на 6065 км (к северу); надпись 4307 у вертикальной линии означает, что она находится в четвертой зоне и удалена от начала счета ординат к востоку на

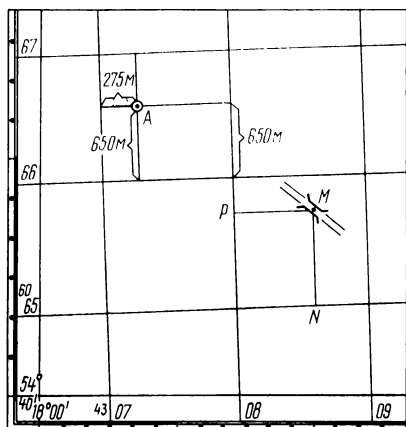


Рис. 16. Расположение и оцифровка линий прямоугольной сетки на листе карты масштаба 1 : 25 000 — уменьшенный фрагмент (примеры определения прямоугольных координат по карте и нанесения на нее точек по их прямоугольным координатам): *M* — точка, изображенная на карте (мост); *MP* и *MN* — перпендикуляры, опущенные на линии сетки при определении координат моста; *A* — точка, нанесенная на карту по ее координатам

307 км. Если около вертикальной километровой линии записано трехзначное число мелкими цифрами, две первые обозначают номер зоны.

На планах, составляемых в местной системе координат, вертикальные линии прямоугольной сетки проводят обычно параллельно одному из меридианов данного участка, а горизонтальные — перпендикулярно этому меридиану. Чаще всего расстояние (интервал) между соседними линиями сетки составляет 10 см.

**Пример:** Надо определить по карте прямоугольные координаты точки местности, например моста *M* (см. рис., 16). Сначала записывают (в километрах) абсциссу южной стороны квадрата, в котором находится эта точка (т. е. 65). Затем измеряют в масштабе карты длину перпендикуляра *MN* (в метрах), опущенного из точки *M* на эту линию. Полученную величину (в данном случае 750 м) добавляют к абсциссе линии. Число 65 750 м есть абсцисса *x* точки *M*. Ордината точки равна ординате западной стороны того же квадрата (в километрах), сложенной с длиной перпендикуляра *MP*, измеренного по карте (в метрах). Число 08660 есть ордината *y* той же точки.

В данном случае обозначение линий сетки записано не полностью, а лишь последними цифрами (65 и 08), поэтому приведенные выше координаты называют сокращенными. Если же оцифровку линий записывают полностью, получают полные координаты; для точки *M* это  $x = 6\,065\,750$  м,  $y = 4\,308\,660$  м. Полными координатами пользуются тогда, когда протяженность участка более 100 км.

Нанесение (накладку) на карту точки *A* по ее прямоугольным координатам  $x = 60\,66\,650$ ,  $y = 43\,07\,275$  выполняют следующим образом (см. рис. 16). В записи координат находят двузначные числа, которыми сокращенно обозначены линии прямоугольной сетки; в данном примере это 66 и 07. По первому числу находят на карте горизонтальную линию сетки, по второму — вертикальную. Их пересечение образует юго-западный угол квад-

рата, в котором лежит искомая точка  $A^*$ . На восточной и западной сторонах квадрата откладывают от его южной стороны два равных отрезка, соответствующих в масштабе карты числу метров в абсциссе  $x$  (650). Концы отрезков соединяют прямой линией и на ней от западной стороны квадрата откладывают в масштабе карты отрезок, соответствующий числу метров в ординате  $y$  (275); конец этого отрезка является искомой точкой  $A$ .

## § 9. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ. ИЗМЕРЕНИЕ ПО КАРТЕ ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ И АЗИМУТОВ

**Углы положения.** Понятие «ориентирование линий» связано с полярной системой координат. Ориентировать линию — значит указать ее угол положения от меридиана, проходящего через нее. Различают два вида углов положения: азимуты и румбы.

**Азимуты** (рис. 17) отсчитывают от северных направлений меридианов по ходу часовой стрелки. Они могут иметь величину от 0 до  $360^\circ$ . Азимут, отсчитываемый от истинного (географического) меридиана, называют истинным  $A$ , от магнитного — магнитным  $A_m$ , от вертикальной линии сетки — дирекционным углом  $\alpha$ .

**Румбы** отсчитывают от ближайшего северного или южного направлений меридиана как по ходу, так и против часовой стрелки (рис. 18). Величина румба не превышает  $90^\circ$ . Чтобы различить румбы направлений, расположенных в равных координатных четвертях, перед угловой величиной каждого записывают сокращенное название четверти. Как и азимуты, румбы бывают истинными и магнитными. Первые отсчитывают от истинного, вторые — от магнитного меридианов. Румбы, отсчитываемые от вертикальной линии прямоугольной сетки, называют дирекционными. Зависимость между румбом и азимутом одного и того же направления приведена в табл. 2.

**Измерение по карте дирекционных углов.** Соединив концы заданного направления прямой, измеряют угол транспортиром (рис. 19). Дирекционный угол направления с точки 1 (мост) на точку 2 (дерево) — прямой, а с точки 2 на точку 1 — обратный; как видно из рис. 19, второй отличается от первого на  $\pm 180^\circ$ . При построении на карте (плане) направления по заданному дирекционному углу через исходную точку проводят прямую, параллельную вертикальной линии сетки; от северного направления этой прямой транспортиром откладывают заданный угол.

---

\* Четырехзначным числом, составленным из сокращенной оцифровки двух линий сетки, условились указывать не только точку их пересечения, но и весь квадрат, расположенный на северо-восток от нее. Обычно это необходимо для приближенного указания положения какого-либо пункта на карте. Так, положение моста (рис. 16) следующее: квадрат 65-08; мост, а в письменной же форме — мост (6508).

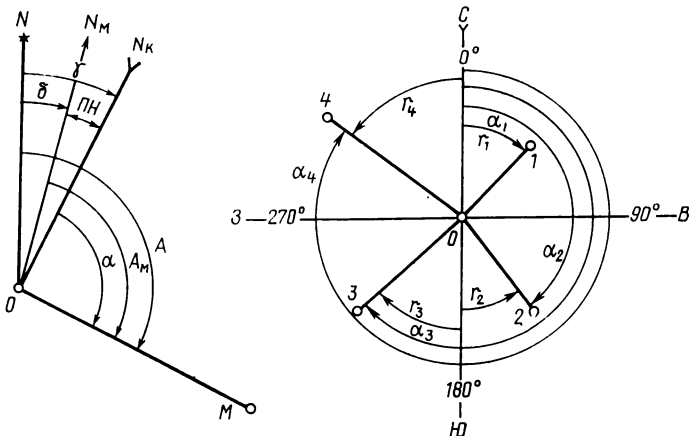


Рис. 17. Азимуты:

$O$  — начало полярной системы координат;  $OM$  — направление на точку  $M$  местности;  $ON$ ,  $ON_M$  — истинный (географический) и магнитный меридианы;  $ON_K$  — прямая, параллельная осевому меридиану зоны;  $A$ ,  $A_M$  — истинный и магнитный азимуты;  $\alpha$  — дирекционный угол;  $\gamma$  — сближение меридианов;  $\delta$  — магнитное склонение;  $PH$  — поправка на направления

Рис. 18. Румбы и их связь с азимутами:

$O$  — начало полярной системы координат;  $CЮ$  — прямая, параллельная вертикальной линии прямоугольной сетки карты (направление север—юг);  $ВЗ$  — прямая, параллельная горизонтальной линии сетки (направление восток—запад); 1, 2, 3, 4 — точки местности;  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  — румбы направлений соответственно  $O1$ ,  $O2$ ,  $O3$ ,  $O4$ ;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  — дирекционные углы тех же направлений

**Определение по карте истинных азимутов.** Если через точку, из которой исходит направление, провести географический меридиан, то истинный азимут можно измерить транспортиром. Однако проще измерить дирекционный угол заданного направления, а истинный азимут вычислить по данным о сближении меридианов. Эти сведения в виде текста и на схеме помещают под южной стороной рамки листа карты и здесь же приводят данные о магнитном склонении и поправке на направления.

## 2. Связь дирекционных румбов и углов

Дирекционный угол $\alpha$ , град	Координатная четверть		Формула связи $r$ с $\alpha$	Пример записи названия величины румба
	номер	название		
0—90	I	Северо-восточная	$r = \alpha$	СВ : 42° 26'
90—180	II	Юго-восточная	$r = 180^\circ - \alpha$	ЮВ : 60° 14'
180—270	III	Юго-западная	$r = \alpha - 180^\circ$	ЮЗ : 16° 18'
270—360	IV	Северо-западная	$r = 360^\circ - \alpha$	СЗ : 39° 55'

Примечание. Формулы связи истинных и магнитных румбов с соответствующими азимутами аналогичны.

Сближение меридианов, показываемое на листе топографической карты, представляет собой угол  $\gamma$  (рис. 20), образованный изображением истинного меридиана точки и прямой, параллельной осевому меридиану зоны. Величина угла зависит от удаления точки от осевого меридиана и не превышает  $3^\circ$ . В точках, расположенных восточнее осевого меридиана, сближение имеет знак плюс, а западнее — минус. Между измеренным дирекционным углом и вычисляемым истинным азимутом (рис. 20) существует зависимость  $A = \alpha + \gamma$ . На карте указывают величину сближения меридианов в центральной точке данного листа. Но поскольку точность измерения углов транспортиром не выше  $\pm 15'$ , вполне допустимо относить указанную величину сближения к любой точке местности, изображенной на листе.

**Пример.** Необходимо определить величину и знак сближения меридианов. Для этого из вершины угла на схеме меридианов (см. рис. 17) нужно провести в произвольном направлении прямую  $OM$ , обозначить ее дирекционный угол  $\alpha$  и истинный азимут  $A$ . По такому чертежу легко установить зависимость между этими углами. Если измеренный по карте транспортиром угол  $\alpha = 87^\circ 15'$ , а подписанный на схеме угол  $\gamma = 2^\circ 16'$ , то  $A = 87^\circ 15' + 2^\circ 16' = 89^\circ 31'$ . По этой же схеме можно перейти от истинных азимутов и дирекционных углов к магнитным азимутам.

**Определение по карте магнитных азимутов.** Измеряют магнитные азимуты на местности приборами, имеющими магнитную стрелку (компас, буссоль). Она устанавливается в направлении магнитного меридиана — линии, проходящей через дан-

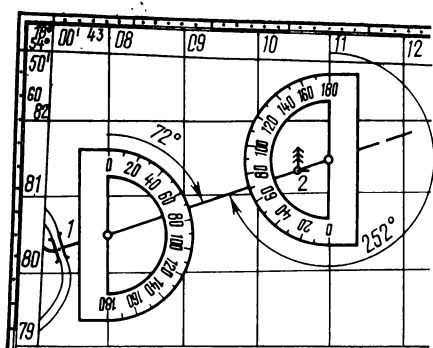


Рис. 19. Измерение дирекционных углов транспортиром на карте:

1 — мост; 2 — дерево

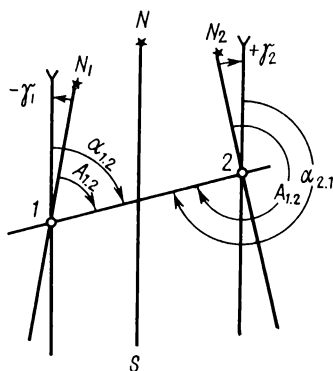


Рис. 20. Зависимость между истинным азимутом и дирекционным углом:

$NS$  — осевой меридиан зоны;  $1N_1$  — меридиан точки 1;  $2N_2$  — меридиан точки 2;  $\gamma_1$  — сближение меридианов в точке 1;  $\gamma_2$  — сближение меридианов в точке 2;  $\alpha_{1,2}$  и  $\alpha_{2,1}$  — прямой и обратный дирекционные углы;  $A_{1,2}$  и  $A_{2,1}$  — прямой и обратный азимуты (истинные)



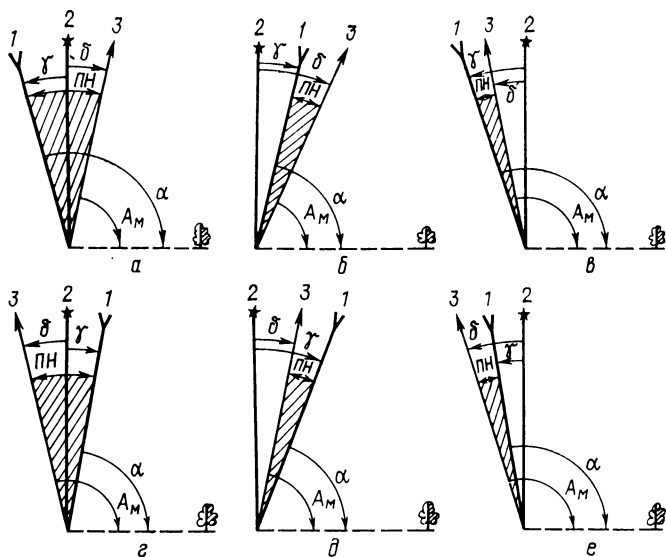


Рис. 21. Переход от дирекционного угла к магнитному азимуту и обратно: а, б, в, г, д, е — возможные случаи взаимного расположения вертикальной линии 1 прямоугольной сетки; истинного 2 и магнитного 3 меридианов;  $A_M$  — магнитный азимут;  $\alpha$  — дирекционный угол;  $\gamma$  — сближение меридианов;  $\delta$  — магнитное склонение; ПН — поправка направления

ную точку и магнитные полюсы Земли. Последние не совпадают с географическими. Вследствие этого магнитный и географический меридианы в общем случае пересекаются между собой, образуя угол  $\delta$ , называемый магнитным склонением (см. рис. 17). Оно может быть восточным (положительным) или западным (отрицательным) в зависимости от направления отклонения магнитного меридиана от географического.

Величина магнитного склонения в данной точке не остается постоянной. Это объясняется тем, что магнитные полюсы медленно перемещаются вокруг географических, делая один оборот примерно за 500 лет. Кроме того, дважды в течение суток наблюдаются колебания магнитного склонения, вызываемые солнечными и лунными приливами атмосферы. В некоторых районах они достигают  $15'$  и более. В период солнечной активности возникают магнитные бури, являющиеся причинами больших изменений в магнитном поле Земли, особенно в полярных районах. Таким образом, простой способ указания направления от магнитной стрелки отличается невысокой точностью, а в районах магнитных аномалий (Курская, Восточно-Сибирская и др.) вообще неприменим. Это надо учитывать при организации съемки местности.

На картах не показывают магнитных меридианов, а дают усредненные сведения о величине магнитного склонения и его

годовом изменении. Следовательно, измерить по карте магнитный азимут нельзя, как нельзя нанести на карту (план) направление по его магнитному азимуту, измеренному на местности. Однако, определив по карте истинный азимут  $A$  заданного направления и учтя магнитное склонение  $\delta$ , легко вычислить магнитный азимут  $A_m = A - \delta$ . Чаще всего к магнитному азимуту переходят от дирекционного угла при помощи поправки направления  $ПН$  — угла отклонения магнитной стрелки от прямой, параллельной осевому меридиану зоны.

Возможны 6 случаев взаимного расположения меридианов (истинного, магнитного и прямой, параллельной осевому меридиану) в точках северного полушария (рис. 21). При этом во всех случаях поправка направления равна алгебраической разности магнитного склонения и сближения меридианов, т. е.  $ПН = \delta - \gamma$ . Измерив на плане дирекционный угол какого-либо направления, находят его магнитный азимут  $A_m = \alpha - ПН$ , чтобы с использованием магнитной стрелки компаса построить это направление на местности. И наоборот, измерив на местности магнитный азимут направления, вычисляют его дирекционный угол  $\alpha = A_m + ПН$ , чтобы прочертить это направление на плане. Из этих соотношений вытекает важная формула

$$ПН = \alpha - A_m, \quad (2)$$

которой пользуются при съемке для определения поправки направления буссоли (см. § 29).

## § 10. ИЗОБРАЖЕНИЕ СИТУАЦИИ МЕСТНОСТИ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ И ЛЕСНЫХ КАРТАХ (ПЛАНАХ)

**Условные обозначения.** На топографических картах (планах) объекты местности изображают общеобязательными для всех ведомств и учреждений условными обозначениями [13, 14]. На плано-картографических материалах лесоустройства (планшетах, планах, схемах) объекты лесной ситуации изображают обозначениями, установленными лесоустроительной инструкцией [8]. Обозначения — это условные знаки, пояснительные и иные надписи, а также цветовое оформление (расцветка) карт. Различают линейные, площадные и **внемасштабные** условные знаки.

Первые применяют для изображения дорог, рек, линий связи и электропередачи, границ и ограждений, других объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты; вторые — для заполнения площадей объектов, выражающихся в масштабе карты (ими показывают количественные и качественные характеристики объектов); третьи — для изображения небольших объектов, площади которых нельзя выразить в масштабе карты. Истинные размеры последних объектов нельзя определить по карте, так как каждый из них

изображается лишь точкой. Однако по рисунку знака определяют наименование группы предметов, к которой принадлежит объект, а по положению главной точки знака — истинное положение изображения центра объекта на карте.

Надписи применяют для передачи названий объектов, их качественных характеристик. Они бывают полные и сокращенные. Полностью подписывают собственные названия населенных пунктов, рек, урочищ и т. п. Характеристики объектов передают сокращенными подписями и цифровыми обозначениями. Расцветка как бы расчленяет изображение местности на элементы и тем самым облегчает чтение карты. Для каждого элемента топографической карты установлен определенный цвет, как правило, близкий к окраске изображаемых объектов.

**Содержание топографических карт.** Полнота и детальность данных о местности зависят от масштаба карт. На крупномасштабных картах, а тем более планах, ситуацию изображают с наибольшим числом деталей. На картах среднего и особенно мелкого масштабов показывают лишь самые важные объекты, наиболее полно характеризующие свойства картографируемого района.

Населенные пункты надписывают на картах разным шрифтом в зависимости от вида поселения (город, поселок городского или сельского типа), числа жителей и политико-административного значения. Чем крупнее населенный пункт, тем крупнее размер надписи. Под названием поселка сельского типа указывают число дворов в нем, наличие сельского или районного совета (СС, РС). Положение любой постройки в населенном пункте можно определить по картам (планам) масштаба 1 : 10 000 и крупнее. На картах более мелких масштабов точно показывают лишь угловые постройки в кварталах, а также выдающиеся здания и прочные дома. По картам масштабов 1 : 10 000—1 : 50 000 определяют огнестойкость построек. Условные знаки промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов в населенных пунктах и вне их сопровождаются надписями, указывающими род производства (кирп.— кирпичный завод, мук.— мельница, шах.— шахта и т. п.).

Дорожную сеть показывают с наибольшей полнотой независимо от ее ведомственной принадлежности. По картам определяют положение, характеристики и состояние железных, шоссейных и грунтовых дорог, данные о сооружениях на них. На картах малообжитых районов приводят сведения о тропах и временных дорогах. Реки и другие объекты гидрографии показывают с большой степенью подробности. О них дают подробные характеристики, пригодные, в частности, для предварительной оценки путей водного транспорта леса.

Леса изображают комплексом условных обозначений, состоящим из линейных знаков границ массивов, зеленой окраски лесопокрытых площадей, пояснительных подписей и значков. На картах показывают состав основных пород, средние высоту и диаметр стволов, расстояния между деревьями. Указанные характеристики относятся только к деревьям верхнего яруса, образующим полог, наблюдаемый по аэроснимкам. Если перед значком де-

рева записана одна порода, значит, к ней относится не менее 80 % деревьев насаждения; при указании двух пород первой записывают преобладающую в данном массиве. Знаком редколесья показывают совокупность деревьев при полноте насаждения 0,2. Если площадь редколесья не ограничена контуром, это означает, что на ней большое число отдельно стоящих деревьев. Знаком же отдельно стоящего дерева обозначают лишь стоящие изолированно и служащие ориентиром. Знак горелого леса ставят, если насаждение повреждено пожарами или погибло от лесных вредителей. Лесосечные участки с сохранившимися пнями и отдельными деревьями показывают знаком вырубки. Если на участке повалено более 50 % деревьев, применяют знак бурелома. Угнетенный древостой, высотой до 6 м, показывают как низкорослый (карликовый). На картах масштабов 1 : 10 000—1 : 50 000 показывают все просеки, указывают их ширину и номера кварталов; при более мелких масштабах часть просек может быть опущена.

На картах показывают скальные грунты и каменные поверхности, а также разные типы песков, галечники, глинистые и щебеночные поверхности; дают сведения о положении болот, их проходимости пешеходами в меженное время года, глубине и характере растительности. Соответствующими условными знаками на картах и планах изображают границы административных районов, областей, краев, республик и границу СССР, а также разные ограждения — каменные, кирпичные, глинобитные стены и заборы, металлические ограды. Линии связи и электропередач, наземные и подземные трубопроводы показывают с их техническими устройствами, количественными и качественными характеристиками.

**Содержание лесных планов и карт.** Основное содержание лесных планов и карт — лесная ситуация: границы лесных предприятий, лесничеств и лесосырьевых баз; окружные меж лесных массивов, сеть квартальных просек и визиров, границы выделов; количественные и качественные характеристики древостоев; границы и показатели нелесных площадей (сенокосов, пашен, болот, противопожарных разрывов и др.) и не покрытых лесом (вырубок, гарей, пустырей и пр.); административные и производственные здания и сооружения предприятий лесного хозяйства и лесной промышленности; сухопутные и водные пути транспорта леса. При картографировании лесных выделов характеризуют их ценность, продуктивность, классы древостоев и объемы запасов. Другие элементы местности на лесных картах и планах показывают в той степени, которая необходима для привязки к местности лесной ситуации, а также для всестороннего изучения природных и экономических условий ведения лесного хозяйства и промышленного использования лесов. Данные об этих элементах местности, а также часть лесной ситуации переносят на лесные планы и карты с топографических и других общегеографических карт.

На лесоустроительные планшеты и планы лесонасаждений наносят с топографических карт и аэроснимков населенные пункты (внемасштабными условными знаками), реки, ручьи,

каналы и водохранилища с их названиями, дороги, постоянные тропы (в малоосвоенных лесах), служебные строения, пожарные вышки, эстакады, верхние и нижние склады, лесные питомники, сады, пасеки и другие объекты, расположенные на землях гослесфонда, а также сведения о рельефе — горизонталями и другими условными знаками\*. Особыми знаками показывают хребтовые и водосливные линии рельефа, если по ним проходят границы кварталов и лесничеств.

На схематические карты лесных предприятий в дополнение к перечисленным выше данным переносят сведения о линиях связи, железнодорожных станциях и пристанях, запанях, лесоперевалочных базах, путях сообщения общего пользования (без указания класса автодорог), мостах (основным условным знаком), лесовозных и лесохозяйственных дорог, границах административных районов.

Одна из особенностей картографического изображения на лесных планах и картах — его дуплановость. Первым планом (наиболее яркими и крупными знаками), а также окраской площадей в разные цвета показывают лесную ситуацию, вторым (одноцветными знаками и подписями меньших размеров) — все другие элементы местности.

При изображении лесной ситуации применяют буквенно-цифровые обозначения, цветовую раскраску, картограммы. Таблицы условных обозначений обычно вычерчивают на полях планов и карт. На лесоустроительных планшетах внутри каждого выдела ставят надпись в виде дроби: в числителе — номер выдела, в знаменателе — его площадь. Надписывают также номера и площади кварталов, номера углов поворота граничной межи, направление и длину каждого участка, названия смежных землепользований. Ситуацию на территории смежных землепользований на планшетах не показывают.

На планах лесонасаждений характеристики выделов показывают в виде дроби, например  $\frac{4-V}{II-I}$ . Здесь 4 — номер выдела, V — класс возраста; II — класс бонитета, I — класс товарности спелых и перестойных насаждений; для эксплуатационных лесов арабскими цифрами (1—5) указывают также группу запаса на 1 га. Для вырубок и гарей показывают дробью номера выделов и год вырубки или пала (числитель), класс бонитета произраставшего насаждения или главной породы и тип вырубки, обозначаемой шифром (знаменатель). На схематических картах лесхозов (леспромхозов) подписывают номера кварталов, указывают, к какому лесничеству и административному району относится та или иная территория.

---

\* В равнинных районах со слабовыраженным рельефом горизонтали на лесоустроительные планшеты не наносят.

Качественные показатели насаждений передают красками различных цветов и тонов. Таблицей условных знаков для каждой породы установлен свой цвет: для сосны — оранжевый, лиственницы — коричневый, березы — голубой и т. д. Тонем окраски каждую преобладающую на участке породу подразделяют на четыре группы возраста: молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. Лесные культуры выделяют штрихами соответствующего цвета.

Описанный выше способ применяют для показа пород и групп возрастов на планах лесонасаждений, схематических картах лесных предприятий, картах лесов областей. Другие качественные показатели отображают раскраской площадей укрупненных выделов на одноцветных копиях карт. Для лесхозов и других лесных предприятий изготавливают раскрашенные установленными цветами схематические карты эксплуатационных насаждений лесов II и III групп, противопожарных мероприятий, лесопатологического и санитарного состояния леса, типов леса и вырубок.

## § 11. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА КАРТАХ И ПЛАНАХ. ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ПО КАРТЕ

**Принципы изображения рельефа.** Важнейший элемент местности — рельеф. Его характер вместе с гидрографией и почвогрунтами в первую очередь учитывают при планировании мероприятий лесного хозяйства, лесоэксплуатации, агролесомелиорации. На картах и планах рельеф изображают горизонталями, дополняя их в необходимых случаях другими условными знаками и цифровыми обозначениями. Горизонталь — линия равных высот на карте (рис. 22). Здесь линия *ABC* расположена на уровне моря, все ее точки имеют высоту, равную нулю. Спроектировав их отвесными линиями на карту (плоскость *P*), получим нулевую горизонталь *abc*. Если представить, что уровень воды в море поднялся на высоту *h*, то будет получено новое сечение суши воображаемой поверхностью, параллельной прежнему уровню моря. Проектирование следа этого сечения на плоскость *P* дает изображение горизонтали *def*, все точки которой имеют высоту *h*. Таким же способом получают изображение других сечений на высоте *2h*, *3h* и т. д. В результате на карте будет изображен горизонталями рельеф суши.

Расстояние между соседними секущими уровнями поверхностями при изображении рельефа горизонталями называют высотой его сечения *h*, а расстояние *s* на карте между двумя последовательными горизонталями по заданному направлению — заложением.

На данном листе карты высота сечения является величиной постоянной, а заложение (см. рис. 22) изменяется в зависимо-

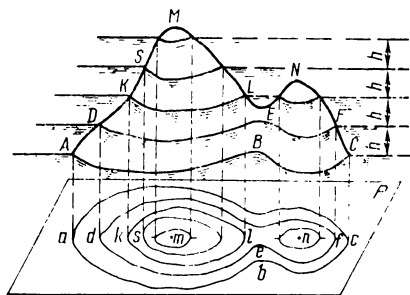


Рис. 22. Принципиальная схема изображения рельефа горизонталями  $A, B, C, \dots, S$  — характерные точки рельефа;  $a, b, c, \dots, s$  их проекции на поверхность относимости  $P$ ;  $h$  — высота сечения рельефа

сти от крутизны ската. В самом деле, на карте отрезок  $sk$  короче отрезка  $kd$ , так как на местности участок ската  $SK$  круче участка  $KD$ . Для топографических карт высоту сечения обычно устанавливают 0,02 см  $\cdot M$  ( $M$  — знаменатель масштаба карты); т. е. 5 м — на карте 1 : 25 000; 10 м — 1 : 50 000, 20 м — 1 : 100 000 и т. п. На топографических планах горизонтали проводят через 0,5—1 м по высоте\*.

Горизонтالي, соответствующие высоте сечения, установленной для данной карты, проводят на ней сплошными линиями и называют основными, или сплошными. Чтобы показать характерные, но не выражающиеся основными горизонталями особенности рельефа, на картах вычерчивают прерывистыми линиями полугоризонтали. Их проводят через половину высоты сечения. Там, где основные и половинные горизонтали не выражают детали рельефа, проводят еще вспомогательные. Их вычерчивают также прерывистыми линиями, но с более короткими звеньями. Сплошные горизонтали, соответствующие 5-кратной высоте сечения, вычерчивают утолщенными линиями\*\*. Крутые скаты, обрывы, уступы, осыпи и подобные им детали рельефа изображают другими условными знаками. Многие из них сопровождают цифрами, указывающими высоту объекта над поверхностью, расположенной у их основания.

**Определение по карте форм, характерных линий и точек рельефа.** Все многообразные неровности местности сводят к нескольким типовым формам, таким, как гора, впадина (котловина), хребет, лощина, седловина (рис. 23).

Гора и котловина выглядят на картах одинаково — в виде системы замкнутых, опоясывающих одна другую горизонталей. Схожи так же изображения хребта и лощины; отличают их по указателям скатов (бергштрихам), т. е. коротким черточкам, расставленным на горизонталях (перпендикулярно к ним) по направлению скатов.

\* На картах и планах горных районов высоту сечения увеличивают в 2 раза.

\*\* На топографических планах при сечении 0,5 и 2,5 м утолщают каждую 4-ю горизонталь, а на карте 1 : 10 000 при сечении 2,5 м — каждую 10-ю.

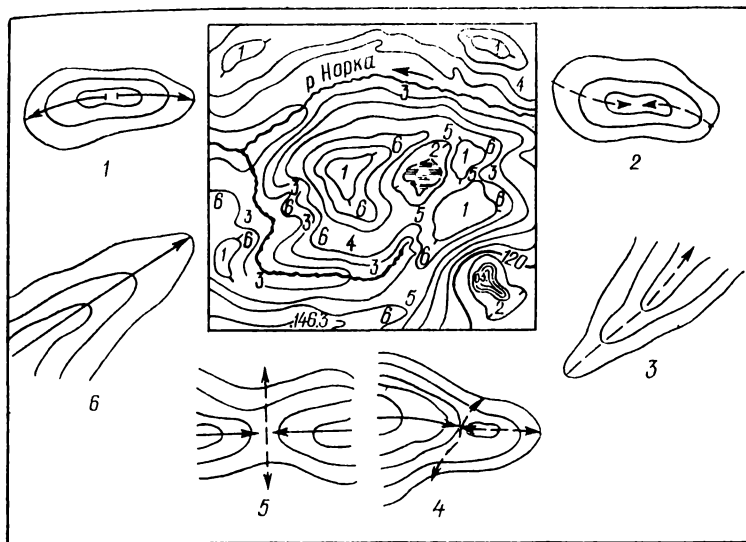


Рис. 23. Определение форм рельефа по начертанию горизонталей (стрелки указывают направление понижений):

— линии хребтовые; - - - линии водосливов; 1 — гора; 2 — котловина; 3 — лощина; 4 — уступ (терраса); 5 — седловина; 6 — хребет

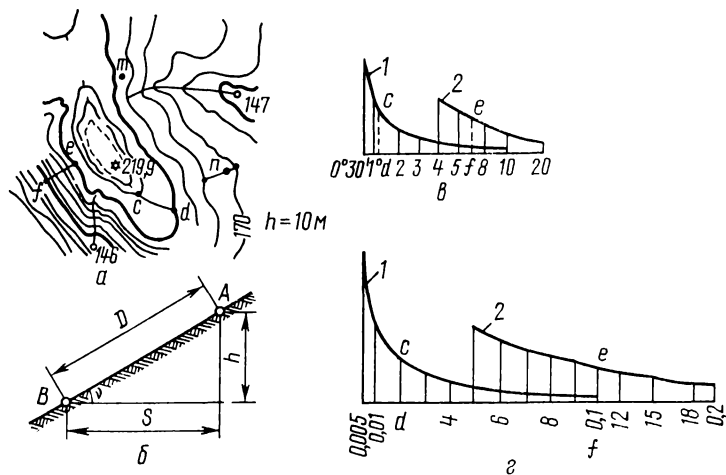


Рис. 24. Определение по карте высоты точек местности, превышений между ними, крутизны скатов и уклонов:

а — вырезка из карты масштаба 1 : 50 000 ( $h=10$  м); б — элементы ската; АВ — линия ската, А — вершина, В — основание, D — протяженность, S — горизонтальное проложение, h — высота,  $v$  — крутизна; в, г — графики заложений для определения крутизны скатов и уклонов при высоте сечения: 1 — 10 м, 2 — 50 м



Формы рельефа различают также по характерным особенностям начертания горизонталей. У изображения хребтов горизонталы своими выпуклостями направлены в сторону понижения ската, а у изображения ложин — в сторону повышения. При определении на карте линий водоразделов и водосливов следует иметь в виду, что они проходят вдоль вытянутых частей горизонталей и пересекают последние в точках их перегиба. На одном склоне возвышенности эти линии, как правило, чередуются, что выражается на карте таким же чередованием изгибов горизонталей, выпуклости которых попеременно обращены то к подошве горы, то к ее вершине. Линию водораздела удобнее отыскивать, проводя плавную кривую от вершины возвышенности к подножью, а линию водослива, наоборот, от подножья к вершине возвышенности. Седловину отыскивают на карте по характерному расположению горизонталей. Они подходят к ней выпуклостями с четырех сторон: от двух гор и двух ложин, расположенных в противоположных направлениях. За вершину горы (низ котловины) принимают точку, находящуюся примерно в центре участка, ограниченного самой верхней (нижней) горизонталью.

**Определение абсолютной и относительной высот точки местности.** Отметку точки определяют по имеющимся на карте надписям отметок горизонталей, урезов воды в водоемах, геодезических пунктов, вершин возвышенностей и др. Отметка точки, расположенной на горизонтали, идентична отметке самой горизонтали. Чтобы найти отметку точки между горизонталями, нужно определить высоту ближайшей из них и прибавить превышение точки над горизонталью. Это превышение находят интерполированием на глаз. Если, например, точка *n* (рис. 24, а) расположена между горизонталями 170 и 180 так, что отрезок между точкой и нижней горизонталью составляет 0,3 кратчайшего заложения, высота этой точки равна  $170 \text{ м} + 0,3 \cdot 10 \text{ м} = 173 \text{ м}$  (10 м — высота сечения). Превышение одной точки местности над другой равно разности их абсолютных высот. Превышение между точками на одном скате удобно подсчитывать по числу заложений между ними. Оно равно произведению высоты сечения на число заложений. Например, точка *n* (рис. 24, а) ниже точки *m* примерно на 23 м, так как между ними  $0,6 + 1 + 0,7 = 2,3$  заложения.

**Определение крутизны и формы скатов.** Угол  $\nu$  наклона ската, или его крутизну (рис. 24, б), можно вычислить по формуле  $\text{tg } \nu = h/S$ . Высоту  $h$  ската находят, определив превышение между его вершиной и основанием, а горизонтальное проложение  $S$  — по результатам измерения расстояния на карте между этими же точками. Обе величины выражают в одинаковых единицах длины — метрах. Для вычисления угла требуются тригонометрические таблицы. Поскольку угол наклона ската обычно невелик, допустима замена  $\text{tg } \nu$  на  $\nu/\rho$  ( $\rho =$

$= 57,3^\circ \approx 60^\circ$  — величина радиана). Поэтому для приближенных расчетов (без таблиц) используют формулу

$$v = 60^\circ h/S. \quad (3)$$

По (3) рассчитывают график заложений (см. рис. 24, в) для графического определения крутизны скатов. На карте его располагают под южной стороной рамки листа. При определении крутизны по графику в раствор циркуля-измерителя берут отрезок на карте между соседними горизонталями по изучаемому направлению ( $cd$  на рис. 24, а), прикладывают этот отрезок к графику (см. рис. 24, в) и читают крутизну; в данном случае она равна  $1,2^\circ$ . Углы наклона более крутых скатов определяют аналогично по правой части графика, пользуясь заложениями между утолщенными горизонталями. Крутизну ската оценивают и на глаз. Если горизонтали расположены редко, скаты пологие, если часто — крутые. Заложению в 1 см соответствует крутизна примерно  $1^\circ$ , 5 мм —  $2^\circ$ , 1 мм —  $10^\circ$ , что следует из расчетов по (3).

Формы скатов различают по взаимному расположению горизонталей (рис. 25). Если последние расположены на одинаковых расстояниях друг от друга, ими изображен ровный скат; если же они более частые вблизи вершины возвышенности — скат вогнутый, а вблизи подошвы — выпуклый. Горизонталями чередующейся частоты изображают волнистые скаты.

**Определение уклонов линий местности.** В технических расчетах крутизну ската чаще всего выражают уклоном  $i$ , вычисляемым по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = h/S. \quad (4)$$

Уклон записывают в виде дроби со знаменателем 100 или 1000 (например,  $5/100$  или  $50/1000$ ), показывающей, что на 100 м горизонтального проложения приходится превышение 5 м, или, что одно и то же, на 1000 м — 50 м. Чаще уклон записывают десятичной дробью (0,05 или 0,050), а также в процентах и промилле (5 % или 50 ‰). Та и другая форма записи выражает величину подъема или понижения наклонной линии в сотых или тысячных долях горизонтального проложения.

Уклон определяют аналитически по тем же данным, снятым с карты, что и крутизну ската, графически — по предварительно построенным графикам заложений (в уклонах), поскольку на картах их не печатают. При построении графика

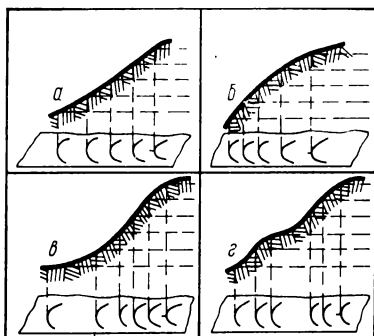


Рис. 25. Изображение горизонталями скатов:

а — ровный; б — выпуклый; в — вогнутый; з — волнистый

(см. рис. 24, з) проводят горизонтальную линию и откладывают на ней несколько равных отрезков. Под точками деления указывают в порядке возрастания заданные уклоны, а вверх от них проводят перпендикуляры длиной, равной заложению горизонталей при данных уклонах. Соединив концы перпендикуляров плавной кривой, получают график для определения уклонов. Пользуются им так же, как и графиком для определения углов наклона.

## Контрольные вопросы

1. Что называют горизонтальным проложением и как его вычисляют?
2. Как определяют положение точек местности в системе географических координат?
3. Что представляет собой система плоских прямоугольных координат зоны в проекции Гаусса?
4. В чем состоят различия между картой и планом?
5. Назовите масштабы отечественных топографических карт и планов.
6. Что такое численный, именованный и линейный масштабы?
7. Как пользоваться поперечным масштабом? С какой точностью он позволяет измерять расстояния?
8. Какие основные задачи решают по топографическим картам и планам в лесном хозяйстве?
9. В чем состоит назначение лесных планов и карт?
10. Как подразделяют на листы карту масштаба 1 : 1 000 000? Как обозначают листы?
11. Как определить по карте полные и сокращенные прямоугольные координаты?
12. Как вычислить истинный и магнитный азимуты направления, если по карте измерен его дирекционный угол?
13. Что такое румб? Как перейти от дирекционного угла (азимута) к румбу и обратно?
14. Назовите и укажите на карте основные группы условных знаков.
15. Как изображают рельеф на карте? Что называют высотой сечения и заложением?
16. Как определить по карте абсолютную и относительную высоты точек местности?
17. Что такое крутизна ската и какие существуют способы ее определения по карте?
18. Дайте определение понятия «уклон линии местности».

## Глава 2. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

### § 12. ВИДЫ И МЕТОДЫ СЪЕМОК. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

**Виды съемок.** В зависимости от назначения топографические съемки делят на основные и специализированные. В результате основной съемки получают топографический план с изображением всех элементов ситуации и рельефа местности. По таким планам составляют карты, имеющие универсальное назначение. В результате специализированной съемки получают специализированный план с отображением необходимой части элементов и объектов местности. На некоторых из

них, называемых горизонтальными, не отображают рельеф или показывают только его отдельные детали; на других наиболее подробно и точно характеризуют рельеф. По специализированным планам и другим материалам составляют тематические карты, необходимые для решения задач одной или группы отраслей народного хозяйства. Специализированной является и лесная съемка, имеющая целью создание лесоустроительных планшетов, отображающих лесную ситуацию.

**Методы съемки.** Современные съемки выполняют с использованием материалов воздушного фотографирования (аэрофотоснимков) и наземными методами. Основные топографические съемки выполняют главным образом по аэрофотоснимкам; этот метод называют аэрофототопографическим. Аэрофотоснимки широко применяют и на специализированных съемках, особенно на лесной.

В зависимости от типов применяемых приборов наземные съемки разделяют на мензульную, тахеометрическую и фототеодолитную. Их применяют при создании основных планов. Если планы должны отображать элементы ситуации, их создают методами горизонтальной съемки. Основная из них — съемка теодолитная, которую часто применяют в комбинации с другими (например, с мензульной), вспомогательная — съемка буссольная. При съемке планов, изображающих в основном рельеф, применяют методы вертикальной съемки, главным образом нивелирование площадей. С учетом экономических и технических соображений чаще всего съемки выполняют сочетанием разных методов. При съемке измеряют расстояния и углы, по ним определяют плановое положение точек местности и их высоту.

**Принципы съемки.** Геодезические работы вообще и съемки в частности выполняют по принципу перехода от общего к частному. Его применение позволяет предотвратить накопление ошибок измерений. Суть принципа состоит в следующем: сначала определяют наиболее точно положение относительно небольшого числа пунктов съемочной геодезической сети, размещенных в определенной системе, затем, опираясь на них, находят положение подробностей местности. Так, при организации съемки лесного массива сначала от пунктов государственной геодезической сети (см. § 15) находят с высокой степенью точности положение межевых знаков на границе со смежными землепользованиями. От них находят вершины лесных кварталов, которые в свою очередь служат исходными для определения положения таксационных визиров. Опираясь на квартально-визирную сеть, находят положение контуров внутриквартальной ситуации.

Во избежание грубых ошибок все измерения, вычисления и графические построения выполняют с контролем. Контроль действий на любой стадии работ — второй принцип организации

геодезических работ. В этих целях измерения выполняют не менее 2 раз. Дважды выполняют и вычисления: по основным и вспомогательным формулам или «в две руки» (два вычислителя независимо друг от друга). При составлении планов также предусматривают контрольные действия.

### § 13. ОСНОВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

При переходе от измеряемых линейно-угловых величин к координатам точек местности необходимо решить несколько геодезических задач.

**Вычисление дирекционных углов направлений.** В геодезическом ходе, представляющем собой построение в виде ломаной  $0, 1, 2, \dots, n$  (рис. 26), легко установить связь между измеренным углом  $\beta$ , исходным дирекционным углом предыдущего направления, если принять во внимание, что  $\alpha_1 = \alpha_0 + \theta$  ( $\theta = 180^\circ - \beta_1' = \beta_1 - 180^\circ$ ). Отсюда

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1 \\ \alpha_1 &= \alpha_0 - 180^\circ + \beta_1' \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В этих формулах  $\beta_1$  — правый,  $\beta_1'$  — левый по ходу углы, если считать, что ход направлен в сторону возрастания номеров вершин. Чаще всего принято измерять правые углы хода.

**Решение треугольников.** Для определения расстояний и углов, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно на местности, прибегают к построениям в виде треугольников. В них измеряют не менее трех линейных и угловых элементов, по которым вычисляют остальные. Рассмотрим следующие типичные случаи.

1. Возможно непосредственное измерение базиса  $AC = b$  (рис. 27, а) и примыкающих к нему углов  $\alpha$  и  $\gamma$ . Тогда находят  $\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma)$  и по теореме синусов вычисляют  $a = b \sin \alpha / \sin \beta$ ;  $c = b \sin \gamma / \sin \beta$ . На практике принято для контроля измерять в треугольнике  $ABC$  и угол  $\beta$ , а также базис  $b'$  и углы  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$  в треугольнике  $ABC'$ , смежном с данным. В стесненных условиях лесной местности допускается определять недоступное расстояние  $AB$  из решения прямоугольного треугольника. При точке  $A$  (рис. 27, а) строят прямой угол, а в точках  $B$  и  $C$  измеряют острые. 2. Возможно непосредственное измерение сторон  $a$  и  $b$  (см. рис. 27, б) и угла  $\gamma$ . Тогда, используя теоремы косинусов и синусов, находят

$$\begin{aligned} c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; & \sin \alpha &= a \sin \gamma / c; \\ & & \sin \beta &= b \sin \gamma / c. \end{aligned}$$

Второй случай особенно характерен для лесной съемки, когда полученные при решении треугольника величины ис-

пользуют, чтобы указать направление прорубки просек (визиров) и определить их длину.

**Прямая геодезическая задача.** По данным координатам  $x_1$  и  $y_1$  точки  $A$  (рис. 28), дирекционному углу  $\alpha$  направления с нее на точку  $B$  и расстоянию  $S$  между ними требуется найти координаты  $x_2$  и  $y_2$  точки  $B$ .

Вычисляют длину катетов  $\Delta x$  и  $\Delta y$  прямоугольного треугольника  $AA'B$ , которые называют приращениями координат

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= S \cos \alpha \\ \Delta y &= S \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Приращения координат — проекции отрезка  $AB$  на оси координат, показывают, на какую величину изменилось положение точки  $B$  относительно точки  $A$ . Эти изменения могут вызвать как увеличение, так и уменьшение координат точки  $B$ . Поэтому приращения координат имеют знаки, зависящие только от величины дирекционного угла  $\alpha$  направления  $AB$ . Практически приращения координат вычисляют, пользуясь румбами направлений. Тогда и знаки приращений определяют по обозначениям румбов (табл. 3).

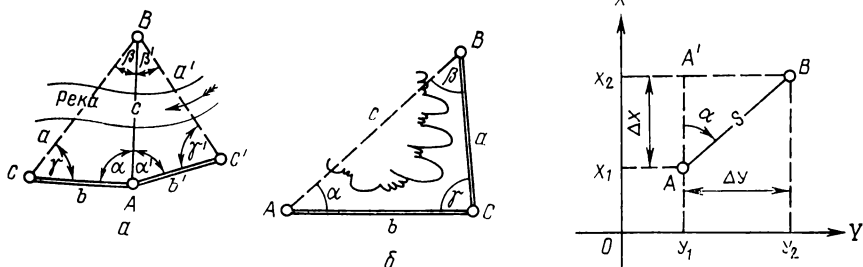


Рис. 27. Решение треугольников:

$a$  — по измеренным углам  $\alpha$  и  $\gamma$  и стороне  $b$ ;  $b$  — по измеренным сторонам  $a$  и  $b$  и углу  $\gamma$

Рис. 28. Решение прямой и обратной геодезических задач в прямоугольной системе координат

Координаты точки находят по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x \\ y_2 &= y_1 + \Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

**Обратная геодезическая задача.** По данным координатам точек  $A(x_1, y_1)$   $B(x_2, y_2)$  требуется найти расстояние  $S$  и дирекционный угол направления с одной точки на другую (см. рис. 28).

### 3. Знаки приращений координат

Дирекцион- ные углы, град	Координатная четверть		Знак приращений	
	номер	название	$\Delta x$	$\Delta y$
$\leq 90$	I	СВ	+	+
90—180	II	ЮВ	—	+
180—270	III	ЮЗ	—	—
270—360	IV	СЗ	+	—

Вычисляют разности абсцисс и ординат точек

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 \\ \Delta y &= y_2 - y_1 \end{aligned} \right\},$$

а затем румб направления  $AB$  по формуле

$$\operatorname{tg} r = \Delta y / \Delta x. \quad (8)$$

По знакам разностей ординат и абсцисс, пользуясь табл. 3, определяют номер координатной четверти, чтобы перевести румб в дирекционный угол. Расстояние между точками вычисляют по формулам

$$S = \Delta x / \cos r = \Delta y / \sin r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}. \quad (9)$$

## § 14. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ

Координаты пунктов съёмочного обоснования определяют построением геодезических сетей методами полигонометрии, триангуляции и трилатерации.

Ход полигонометрии (рис. 29) опирается на исходные стороны  $AB$  и  $CD$  геодезической сети. В ходе известны дирекционные углы  $\alpha_0$  и  $\alpha_n$ , а также координаты начальной и конечной точек хода  $x_B, y_B$  и  $x_C, y_C$ . На местности измеряют углы  $\beta_B, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \beta_C$  и расстояния  $S_{B-1}, S_{1-2}, S_{2-3}, \dots, S_{n-C}$ . Из вычислений по (5) получают дирекционные углы всех сторон хода, а затем по (6) и (7) — приращения координат и координаты точек  $1, 2, 3, \dots, n$ . На лесных съёмках применяют простейшие виды полигонометрии — теодолитные и буссольные ходы.

Триангуляцию применяют для создания сети съемочного обоснования на открытых участках. Ее пункты размещают в виде цепочек треугольников и других систем (рис. 30), в которых измеряют все углы. Образованная треугольниками сеть обычно опирается на одну или две исходные стороны ( $AB$  и  $CD$ ). Если создают сеть в местной системе координат (рис. 30, б), то в ней измеряют не только углы, но также длину  $b$  и азимут  $A_0$  базисной стороны  $I-II$ . Сначала решают последовательно треугольники, начиная с того, который опирается на исходную (базисную) сторону, и находят длину всех сторон сети. Затем по начальному дирекционному углу (азимуту) и измеренным углам вычисляют дирекционные углы всех сторон. Наконец, решая прямые геодезические задачи, последовательно находят координаты пунктов  $I, II, III$  и др.

Трилатерация — метод определения координат пунктов в сети такой же формы, как и при триангуляции, но в ней измеряют все стороны и некоторые углы.

## § 15. ОПОРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Положение пунктов съемочного обоснования на лесных съемках определяют от имеющихся на местности пунктов государственной геодезической сети или развитой на ее основе геодезической сети сгущения. Тем самым обеспечивают необходимую точность и контроль измерений при создании съемочной

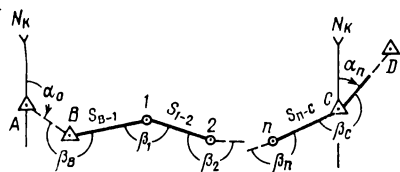


Рис. 29. Схема полигонометрии:  $A, B, C, D$  — исходные геодезические пункты;  $1, 2, \dots, n$  — точки полигонометрического (теодолитного, буссольного) хода;  $N_{кA}, N_{кC}$  — прямые, параллельные осевому меридиану зоны;  $\alpha_0, \alpha_n$  — начальный и конечный исходные дирекционные углы;  $\beta_a, \beta_1, \dots, \beta_c$  — правые горизонтальные углы;  $S_{b-1}, S_{1-2}, \dots, S_{n-c}$  — горизонтальные проложения сторон хода

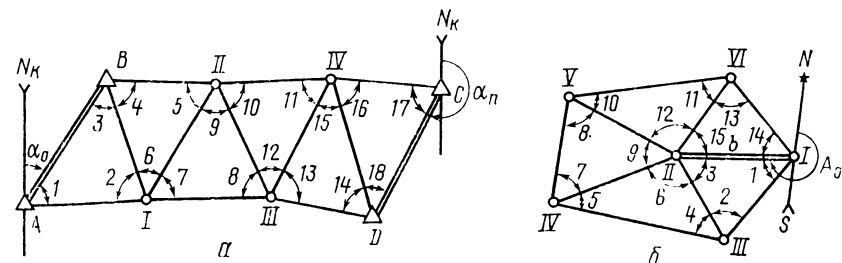


Рис. 30. Примеры триангуляционных построений:

$a$  — цепочка треугольников;  $N_{кA}, N_{кC}$  — прямые, параллельные осевому меридиану зоны;  $A, B, C, D$  — исходные геодезические пункты;  $I-IV$  — определяемые пункты;  $1-18$  — измеренные углы;  $b$  — центральная система;  $I-VI$  — определяемые пункты;  $NS$  — истинный меридиан точки  $I$ ;  $b$  — базис;  $A_0$  — азимут стороны  $I-II$ ;  $1-15$  — измеренные углы



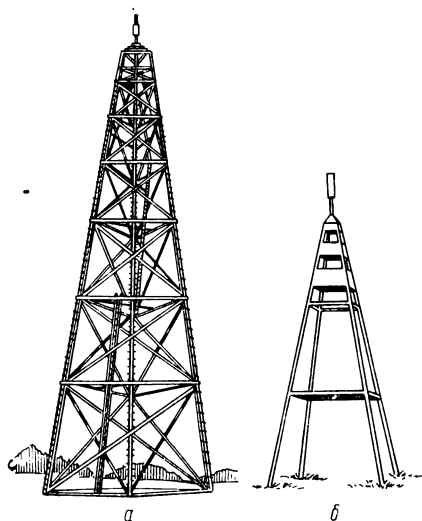


Рис. 31. Наружные знаки геодезических пунктов:

а — сигнал; б — пирамида

на возвышенностях, вдоль железных и шоссейных дорог, по берегам рек, в населенных местах. В обжитых районах один пункт приходится на каждые 20—60 км<sup>2</sup>, в малообжитых — на 50—200 км<sup>2</sup>. Некоторые из них обозначают наружными знаками в виде деревянных, металлических или железобетонных сигналов и пирамид (рис. 31). Каждый пункт закрепляют подземным центром — бетонным монолитом или металлической трубой с якорем (рис. 32). К головке центра, выполненной в виде металлической марки, относят определенные для пункта координаты.

Пункты нивелирной сети в виде грунтовых и ственных реперов и марок (рис. 33) располагают вдоль главных дорог, по берегам рек и морей, в населенных пунктах. В высотном отношении определены также и пункты плановой сети. На каждые 20—25 км<sup>2</sup> территории приходится один высотный пункт (в труднодоступных районах — на 100—200 км<sup>2</sup>). Работу по созданию ГГС в основном выполняют организации Главного управления геодезии и картографии.

**Геодезическая сеть сгущения (ГСС).** Развивается в районах с недостаточной плотностью пунктов ГГС. Ее создают организации, выполняющие съемку местности. Пункты сетей сгущения в отличие от пунктов ГГС обычно обозначают простейшими наружными знаками — пирамидами и вехами.

Сведения о координатах точек опорных геодезических сетей, а также другие данные, характеризующие каждый пункт и

сети, а также возможность использования лесных картографических материалов при общегосударственном картографировании.

**Государственная геодезическая сеть (ГГС)** представляет собой совокупность закрепленных на местности геодезических пунктов, определенных в общегосударственной системе координат. При помощи ГГС распространяют координаты на всю территорию страны, создавая основу для ведения всех видов съемок местности. ГГС подразделяют на плановую и высотную (нивелирную). Первую используют для определения положения точек местности в плане, вторую — по высоте. Пункты плановой сети расположены

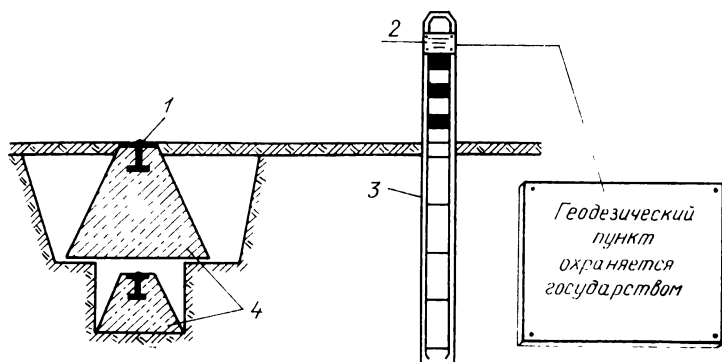


Рис. 32. Центр геодезического пункта с опознавательным столбом:  
 1 — головка центра; 2 — металлическая пластина охранная; 3 — опознавательный столб; 4 — бетонные монолиты

сеть в целом, помещают в специальных книгах, называемых каталогами координат. Исполнители съемочных работ получают выписки из них на районы съемок.

## § 16. ОБОЗНАЧЕНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОЙ СЕТИ

Пункты съемочного обоснования лесных съемок закрепляют лесоустроительными столбами установленной формы и некоторыми другими знаками. Их подразделяют на постоянные,

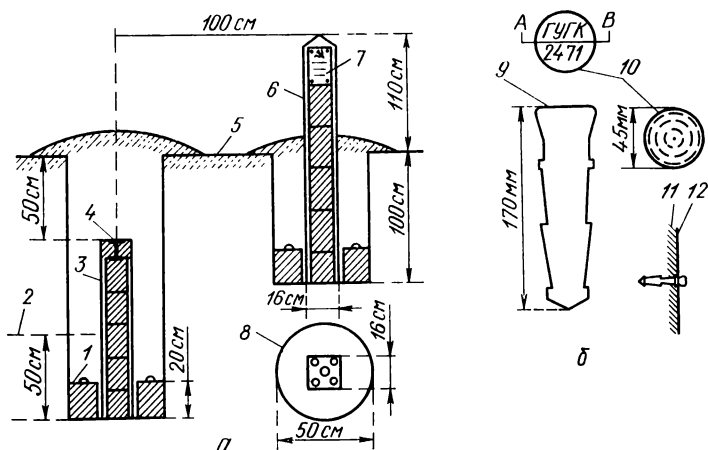


Рис. 33. Нивелирные знаки и центры:  
 а — грунтовый репер; б — стенная марка; 1 — железобетонная плита; 2 — граница промерзания грунта; 3 — пилон; 4 — марка; 5 — поверхность земли; 6 — опознавательный знак; 7 — охранная плита; 8, 10 — вид сверху пилона и стенной марки; 9 — разрез по АВ; 11 — общий вид; 12 — стена

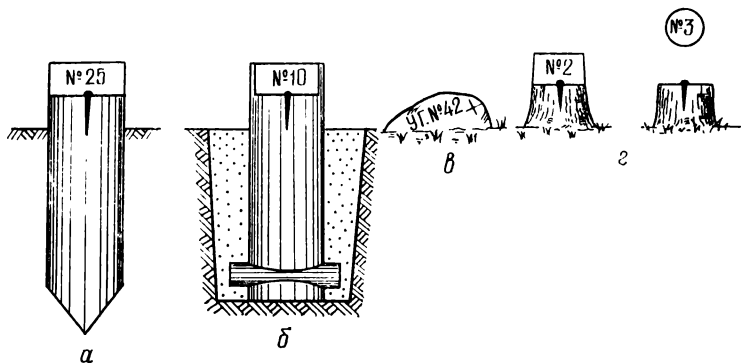


Рис. 34. Временные знаки:

а — свайка; б — столб; в — валун; г — пни

используемые длительное время при проведении разных лесохозяйственных мероприятий, и временные, необходимые только при съемках.

Вершины триангуляционных построений и геодезических ходов, не совпадающие с пунктами установки лесоустроительных знаков, закрепляют столбами, свайками, кольями, металлическими трубами или совмещают с такими местными предметами, которые длительное время сохраняют свое положение, — пнями, валунами (рис. 34). На знаках фиксируют точки, к которым относят измерения: заостренную вершину квартального столба, крест (краской) на валуне, шляпку гвоздя, вбитого в верхний срез кола или столба. Знаки окапывают круглой канавкой диаметром 0,6—0,8 м. На время измерений на пунктах ставят переносные вехи, а при необходимости — наружные знаки в виде пирамид и высоких вех. На снимаемом участке все знаки ставят заблаговременно, до начала измерений. Их нумеруют так, чтобы в пределах участка номера не повторялись. Квартальные столбы и другие лесоустроительные знаки нумеруют в соответствии с установленными положениями.

## Контрольные вопросы

1. Как подразделяют съемки по видам и методам выполнения?
2. Какими принципами руководствуются при выполнении съемок?
3. Какие надо выполнить измерения и вычисления, чтобы определить все элементы треугольника?
4. Что такое государственная геодезическая сеть? Как используют пункты сети при лесной съемке?
5. Как обозначают и закрепляют на местности пункты съемочной сети?

## Глава 3. НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

### § 17. ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ПОГРЕШНОСТИ

Любые измерения, как бы тщательно их ни выполняли, сопровождаются погрешностями, т. е. отклонениями  $\Delta$  измеренных величин  $l$  от их истинного значения  $X$ :

$$\Delta = l - X. \quad (10)$$

Это объясняется тем, что в процессе измерений непрерывно меняются условия: состояние внешней среды, мерного прибора и измеряемого объекта, а также внимание исполнителя. Поэтому в практике измерений всегда получают приближенное значение величины, точность которого требуется оценить. Возникает и другая задача: выбрать прибор, условия и методику измерений, чтобы выполнить их с заданной точностью. Эти задачи решает теория погрешностей измерений. Она изучает законы возникновения и распределения погрешностей, устанавливает допуски к точности измерений, способы определения вероятнейшего значения измеренной величины, правила предвычисления ожидаемых точностей. Знакомство с этой теорией начнем с классификации измерений и их погрешностей.

**Классификация измерений.** Все величины, с которыми мы имеем дело, подразделяют на измеренные и вычисленные.

Измеренной величиной называют ее приближенное значение, найденное путем сравнения с однородной единицей меры. Так, последовательно укладывая землемерную ленту по оси квартальной просеки и подсчитывая число уложений, находят приближенное значение длины просеки.

Вычисленной величиной называют ее значение, определенное по другим измеренным величинам, функционально с ней связанным. Например, площадь квартала прямоугольной формы есть произведение его измеренных сторон.

Для обнаружения промахов и повышения точности результатов одну и ту же величину измеряют неоднократно. По точности такие измерения подразделяют на равноточные и неравноточные. Равноточные — однородные многократные результаты измерения одной и той же величины, выполненные одним и тем же прибором (или разными приборами одного и того же класса точности), одинаковым способом и числом приемов, в идентичных условиях. Неравноточные — измерения, выполненные при несоблюдении условий равноточности.

При математической обработке результатов измерений большое значение имеет число измеренных величин. Например, чтобы получить величину каждого угла треугольника, достаточно измерить лишь два из них — это и будет необходимое число величин. Но чтобы судить о качестве измерений, про-

контролировать их правильность и повысить точность результата, измеряют и третий угол треугольника — избыточный. Вообще принято измерять не только минимальное число необходимых величин, но и все избыточные.

**Классификация погрешностей.** В целях изучения закономерностей появления погрешностей последние классифицируют по группам. Грубые погрешности, которые могут быть вызваны промахами или просчетами наблюдателя, неисправностями прибора, резким ухудшением внешних условий. Такие погрешности выявляют повторными измерениями, а результаты, содержащие их, отбраковывают. Систематические погрешности, возникающие из-за воздействия одной какой-либо существенной причины. Например, всегда преувеличена длина линий, измеряемых укороченной лентой. Чаще всего такие погрешности возникают из-за неточности прибора, которую можно установить при его поверке. Поэтому систематические погрешности можно исключить из результатов измерений введением соответствующих поправок. Случайные погрешности, происхождение которых объясняется воздействием многих факторов, способствующих уменьшению или увеличению результата измерения совершенно непредвиденным образом (случайно). Число факторов, вызывающих составные части случайной погрешности, обычно велико. Каждая из этих частей весьма мала по сравнению с общей погрешностью. Поскольку их не улавливает прибор при данной методике измерений, их появление неизбежно. Чем точнее прибор и совершенней методика измерений, тем меньше величина случайной погрешности.

## § 18. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ К РАВНОТОЧНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

**Закономерности (свойства) случайных погрешностей.** Их выявляют многократными измерениями какой-либо одной величины, истинное значение которой известно. Вычисленные по (10) случайные погрешности  $\Delta$  имеют следующие свойства: при определенных условиях они не превышают по абсолютной величине определенного предела  $\Delta_{\text{пр}}$ ; положительные погрешности появляются приблизительно так же часто, как и равные им по абсолютной величине отрицательные; малые по абсолютной величине погрешности появляются чаще больших. Из этих свойств вытекает следствие: при неограниченно большом числе измерений одной и той же величины случайные погрешности компенсируются, а их среднее арифметическое стремится к нулю, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n)/n = \lim_{n \rightarrow \infty} [\Delta]/n = 0.$$

где  $[\Delta]$  — сумма  $\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$  (по К. Ф. Гауссу).

Из формулы видно, что среднее арифметическое из бесконечно большого числа измерений стремится к истинному зна-

чению измеряемой величины. Но так как на практике измеряют одну и ту же величину лишь несколько раз (2; 4; 9), среднее арифметическое из результатов измерений будет не истинным, а близким к нему, вероятнейшим значением измеренной величины. Вычисляют среднее арифметическое по формуле

$$L = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / n = [l] / n, \quad (11)$$

где  $l_1, l_2, \dots, l_n$  результаты 1, 2, ...,  $n$ -го измерений;  $n$  — число измерений.

**Истинная и вероятнейшая погрешности. Поправки к измерениям.** В связи с тем что есть различие между истинным и вероятнейшим значениями измеряемой величины, погрешности также подразделяют на два вида: истинную и вероятнейшую. Разность между измеренным и истинным значениями величины, вычисленную по (10), называют истинной погрешностью, а разность между измеренным  $l$  и вероятнейшим (средним арифметическим)  $L$  значениями величины  $v = l - L$  (12) — вероятнейшей погрешностью. Обе погрешности вычисляют по мнемоническому правилу «есть минус должно быть», которое облегчает определение знака погрешности.

Величины  $X - l = \omega_1$  и  $L - l = \omega_2$  называют поправками к измеренным величинам. Поправка равна погрешности, взятой с обратным знаком.

Рассмотрим одно из важнейших свойств вероятнейших погрешностей. Для этого напомним и просуммируем почленно уравнения, по которым вычисляют каждую из погрешностей ряда

$$\begin{aligned} v_1 &= l_1 - L \\ v_2 &= l_2 - L \\ &\dots \dots \dots \\ v_n &= l_n - L \\ [v] &= [l] - nL. \end{aligned}$$

Согласно (11)  $nL = [l]$ . Следовательно,  $[v] = 0$ . Это свойство используют для контроля правильности вычисления арифметического среднего. Если сумма вероятнейших погрешностей равна нулю, вероятнейшее значение измеренной величины вычислено верно.

**Абсолютная и относительная погрешности.** Как истинная, так и вероятнейшая погрешности могут быть выражены в абсолютных или относительных величинах. Вычисленные по (10) и (12)  $\Delta$  и  $v$  — абсолютные погрешности. Их выражают в тех же единицах меры, что и измеренные величины. Относительной погрешностью называют отношение соответствующей абсолютной погрешности к полученному значению измеренной величины. Ее обычно выражают в виде дроби с числителем, равным единице. Относительными погрешностями часто

характеризуют точность измерения расстояния, площади и объема. Если, например, измеряя длину просеки, в прямом направлении получили 1002,9 м и в обратном 1003,6 м, то относительная погрешность  $(D_{пр} - D_{обр})/D_{ср} = 0,7 \text{ м}/1003,2 \text{ м} = 1/1400$ . Знаменатель относительной погрешности обычно округляют до двух значащих цифр с нулями.

**Критерии оценки точности измерений. Средняя квадратическая погрешность.** Если известен ряд случайных погрешностей измерений какой-либо величины, можно оценить точность измерений. Для этого достаточно вычислить среднюю погрешность  $\theta$ , получив ее как среднее арифметическое из абсолютных величин погрешностей:

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

Однако предпочитают оценивать точность ряда равнозначных измерений по средней квадратической погрешности  $m$  одного (отдельного) измерения, которую вычисляют по формуле К. Ф. Гаусса

$$m = \pm \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2)/n} = \pm \sqrt{[\Delta^2]/n}, \quad (13)$$

где  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  — случайные истинные погрешности данного ряда измерений.

Оценка по средней квадратической погрешности более показательна, чем по средней: во-первых, на величину средней квадратической погрешности главное влияние оказывают большие по абсолютной величине случайные погрешности, тогда как при вычислении средней погрешности эти отклонения уравновешиваются малыми; во-вторых, средняя квадратическая погрешность обладает достаточной устойчивостью, поэтому даже при относительно небольшом числе измерений ее величину получают с большой достоверностью.

Теоретическими расчетами и опытом установлено, что 67 % случайных погрешностей в данном ряду измерений не превышают по абсолютной величине среднюю квадратическую погрешность  $m$ , 95 % —  $2m$ , а 99,7 % —  $3m$ . Поэтому по средней квадратической погрешности судят о допустимости той или иной случайной погрешности. Если случайная погрешность  $3m$ , ее считают предельной, а свыше  $3m$  — грубой. Выполненные с такими погрешностями измерения в обработку не принимают.

По (13) оценивают точность измерений, если известно истинное значение измеренной величины; обычно же оно неизвестно. Многократным измерением находят среднее арифметическое значение величины, а затем и вероятнейшие погрешности каждого результата. При этом условии среднюю квадратическую

погрешность одного измерения вычисляют по формуле Бесселя<sup>1</sup>

$$m = \pm \sqrt{(v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2)/(n-1)} = \pm \sqrt{[v^2]/(n-1)}, \quad (14)$$

где  $v_1, v_2, \dots, v_n$  — вероятнейшие погрешности.

Точность определения самого среднего арифметического оценивают по формуле  $M = \pm m/\sqrt{n}$  (15), показывающей, что средняя квадратическая погрешность арифметического среднего, полученного из равноточных измерений, в  $\sqrt{n}$  раз меньше средней квадратической погрешности одного измерения. Часто рядом с вероятнейшим значением величины записывают и ее среднюю квадратическую погрешность  $M$ , например  $70^\circ 05' \pm 1'$ . Это означает, что точное значение угла может быть больше или меньше указанного на  $1'$ . Однако эту минуту нельзя ни прибавить к углу, ни вычесть из него. Она характеризует лишь точность получения результатов при данных условиях измерений.

**Пример.** По результатам 5-кратного измерения одной линии вычислены: вероятнейшее значение  $L$  ее длины, средние квадратические погрешности одного измерения  $m$  и результата  $M$ , предельные абсолютная  $\Delta_{пр}$  и относительная  $\Delta_{пр}/L$  погрешности (табл. 4).

#### 4. Обработка результатов измерения линии

Номер измерения	Результат измерения, м	Вероятнейшая погрешность, см	Квадрат вероятнейшей погрешности, см <sup>2</sup>	Характеристика точности
1	980,49	-16	256	$m = \pm \sqrt{1446/(5-1)} =$ $= \pm 19 \text{ см}$ $M = \pm 19 \text{ см}/\sqrt{5} =$ $= \pm 8 \text{ см}$ $L = (980,65 \pm 0,08) \text{ м}$
2	980,91	+26	676	
3	980,44	-21	441	
4	980,68	+3	9	
5	980,73	+8	64	
$L = 980,65$		$[v] = 0$	$[v^2] = 1446$	

Предельная погрешность  $\Delta_{пр} = \pm 3 \cdot 0,19 \text{ м} = \pm 0,57 \text{ м}$ ; относительная предельная погрешность  $\Delta_{пр}/L = 0,57 \text{ м}/980,65 \text{ м} = 1/1700$ .

### § 19. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ К НЕРАВНОТОЧНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

**Вес измерения.** Неравноточные измерения, как показывает их название, непригодны для вычисления простого арифметического среднего. Их обрабатывают с учетом не только численного значения величин, но и степени надежности их получения. Эту степень надежности выражают числом  $n$  и называют весом.

<sup>1</sup> Ф. В. Бессель (1784—1846) — немецкий астроном и геодезист.



Он тесно связан с точностью, характеризуемой средней квадратической погрешностью. Чем меньше средняя квадратическая погрешность, тем выше степень доверия к результату измерения, т. е. больше его вес. Это положение выражают формулой

$$p_i = c/m_i^2, \quad (16)$$

где  $m_i$  — средняя квадратическая погрешность  $i$ -го результата;  $c$  — коэффициент пропорциональности, выбираемый так, чтобы было удобно сравнивать вес разных измерений.

Обычно за коэффициент  $c$  принимают квадрат средней квадратической погрешности  $\mu$  самого ненадежного в обрабатываемом ряду результата. Тогда вес такого измерения равен единице, а вес других представляет собой отношение  $\mu^2$  к квадрату соответствующей средней квадратической погрешности. За вес измерения иногда принимают и число измерений  $n$ .

**Вычисление весового среднего и его погрешности.** С учетом сказанного формулу вычисления общего (весового) среднего  $L_0$  записывают так же, как и (11) простого среднего  $L$ , только в числителе проставляют результаты измерений с их коэффициентами в виде веса, а в знаменателе — сумму весов, т. е.

$$L_0 = \frac{L_1 p_1 + L_2 p_2 + \dots + L_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[Lp]}{[p]}, \quad (17)$$

где  $L_1, L_2, \dots, L_n$  — результаты 1, 2, ...,  $n$ -го неравноточных измерений;  $p_1, p_2, \dots, p_n$  — их вес.

Вероятнейшую погрешность при обработке неравноточных измерений вычисляют как разность между отдельным результатом и общей арифметической средней, т. е.  $v_i = L_i - L_0$ . Основное свойство погрешностей неравноточных измерений состоит в том, что  $[vp] = 0$ , т. е. сумма произведений вероятнейших погрешностей на вес соответствующих результатов измерений всегда равна нулю. Среднюю квадратическую погрешность результата, вес которого равен единице, или, как ее называют, погрешность единицы веса, для случаев, когда даны истинные  $\Delta$  и вероятнейшие  $v$  погрешности, вычисляют соответственно по формулам

$$\mu = \pm \sqrt{[\rho \Delta^2]/n} \quad \text{и} \quad \mu = \pm \sqrt{[\rho v^2]/(n-1)}, \quad (18)$$

где  $n$  — число результатов, участвующих в вычислении среднего весового.

Среднюю квадратическую погрешность весового среднего вычисляют по формуле

$$M_0 = \pm \mu / \sqrt{[p]} = \pm \sqrt{[\rho v^2]/[p](n-1)}. \quad (19)$$

Пример математической обработки результатов неравноточных измерений рассмотрен в § 40.

## § 20. ПОНЯТИЕ О СРЕДСТВАХ И ПРАВИЛАХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**Вычислительные средства.** В полевых условиях для вычисления применяют таблицы, номограммы, графики, портативные вычислительные машины, например «Электроника-155» и «Искра-122», микрокалькуляторы типов «Электроника БЗ-18А и БЗ-18М» и др. При отсутствии портативных машин для полевых вычислений можно использовать счеты и арифмометры. В стационарных условиях геодезические вычисления ведут в основном на ЭВМ. (Устройство и правила использования вычислительной техники рассматриваются в специальном курсе.)

**Правила вычислений.** Вычислительная обработка результатов измерений требует прежде всего аккуратности и внимательности. Ее выполняют в последовательности, определяемой формами журналов и бланков для вычислений. Это позволяет избежать просчетов и напрасных затрат труда на отыскание ошибок. В процессе вычислений придерживаются определенных правил.

1. Получение каждого результата контролируют, ибо без проверки вычисление считается незаконченным.

2. Записи ведут аккуратно и четко, применяя табличный шрифт; ошибочно сделанную запись перечеркивают одной чертой, цифру по цифре не пишут. Чтобы не допустить ошибок, вычисления не переписывают. Результаты полевых измерений записывают только в журналах установленной формы, которые являются документами строгого учета. Все журналы и страницы в них должны быть пронумерованы и заверены руководителем работ. В журналах пишут простым карандашом, шариковой или перьевой ручкой. Пользоваться резинкой для исправления записей в журнале запрещается. Неудовлетворительные или неправильные записи аккуратно перечеркивают и далее записывают результаты повторных наблюдений с припиской слова «повторный» или «bis» и указанием причины повторного измерения. Полевой журнал переписывать строго запрещается.

3. Значащих цифр, которые нужно удерживать в промежуточных результатах, при вычислениях должно быть на одну больше, чем требуется в конечных результатах и имеется в исходных данных и результатах измерений.

4. Если число требуется округлить, погрешность оставшегося числа должна быть не более чем на 5 отброшенных единиц; если отбрасываемая часть числа состоит из одной цифры 5, последняя оставшаяся цифра должна быть четной.

Числа до округления . . . . . 124,372; 124,376; 124,375; 124,365.  
Числа после округления . . . . . 124,37; 124,38; 124,38; 124,36.

5. При сложении и вычитании приближенных чисел в окончательном результате сохраняют столько десятичных знаков, сколько их в числе с наименьшим количеством десятичных знаков. При умножении и делении приближенных чисел в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их в числе

с наименьшим количеством значащих цифр. При возведении приближенных чисел в квадрат и куб в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их в основании степени. При извлечении корня в результате записывают столько значащих цифр, сколько их в подкоренном числе. При интерполировании берут один лишний десятичный знак.

### Контрольные вопросы

1. Какие погрешности называют грубыми, систематическими и случайными? 2. Дайте определение истинной и вероятнейшей, абсолютной и относительной погрешностям. 3. По какой формуле вычисляют среднее арифметическое? 4. Напишите формулы Гаусса и Бесселя. Объясните разницу между ними и укажите примеры. 5. Как вычислить общее арифметическое среднее по (17)? Какие измерения обрабатывают по этой формуле?

## Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

### § 21. ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Площадь определяют графическим, механическим, аналитическим способами и их комбинированием. При решении лесохозяйственных задач определение площадей графическим и механическим способами выполняется по планам и картам.

Графический (геометрический) способ состоит в разбивке плана участка на простейшие фигуры (треугольники, прямоугольники, трапеции), измерении их линейных размеров и вычислении площади по геометрическим формулам с учетом масштаба. Чтобы уменьшить относительные погрешности измерений, участок разбивают на фигуры больших размеров с примерно одинаковыми сторонами. Для контроля вычисления выполняют дважды — по разным исходным величинам. Площади кварталов прямоугольной формы рассчитывают по результатам полевых измерений. Чем крупнее масштаб карты, тем точнее можно определить площадь. По данным проф. А. В. Маслова, абсолютная погрешность измерений равна  $10^{-6} M \sqrt{P}$  ( $M$  — знаменатель масштаба карты;  $P$  — площадь, га).

К графическому способу относят также определение площади палетками. Их изготавливают на целлулоиде, плексиглазе, кальке и другом прозрачном материале, на который наносят сеть взаимно перпендикулярных линий через 1, 2, 5 или 10 мм. При помощи палеток определяют площадь небольших участков (1—3 га), ограниченных криволинейными контурами. Перед работой устанавливают цену деления палетки. Так, если сторона ее квадрата 2 мм, то на плане масштаба 1 : 10 000 в одном квадрате умещается 0,04 га.

Наложив на карту палетку, подсчитывают на ней сначала число квадратов, полностью укладываемых внутри контура измеряемой площади, а затем — число квадратов, пересекаемых контуром. Каждый неполный квадрат принимают за половину полного. В результате перемножения цены деления палетки на сумму квадратов получают площадь участка. В практике лесоустройства применяют палетки разных типов. Точность измерения площади палетками примерно в 2,5 раза ниже, чем геометрическим способом.

## § 22. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Механическое определение площади выполняют планиметрами. В настоящее время используют полярные и электронные планиметры, имеющие устройства для обвода контура фигуры и подсчета ее площади. Полярные планиметры бывают с одной или двумя каретками. Однокареточный полярный планиметр (рис. 35) состоит из каретки, полюсного и обводного рычагов. На каретке установлен счетный механизм: счетный ролик с барабаном, имеющим шкалу из 100 делений, и циферблат с 10 делениями. Счетный ролик, перемещаясь по карте, показывает число делений, пройденных им во время обвода контура фигуры. Число полных оборотов ролика отсчитывают по циферблату, а его частей — с помощью верньера. Игла полюсного рычага держит полюс планиметра в одной точке. Другой конец этого рычага при помощи стержня с шарообразной головкой скреплен с кареткой, имеющей конусное отверстие. На конце обводного рычага закреплен шпиль или стекло с точкой. Их перемещают по карте при помощи серьги. По обводному рычагу может передвигаться каретка. В зависимости от ее положения на рычаге и считают его длину, используя шкалу верньера рычага. У двухкареточных полярных планиметров марки ПП-2К на обводном рычаге имеются две каретки одинакового устройства.

К планиметру предъявляют следующие требования: 1) расстояние между барабаном счетного ролика и дугой верньера должно быть минимальным, не больше толщины листа писчей бумаги; 2) ось счетного ролика должна быть параллельна оси обводного рычага; если это положение не соблюдено, средние из обводов при «полюсе право» (ПП) и «полюсе лево» (ПЛ) отличаются более чем на три деления; 3) разность отсчетов двух смежных обводов должна отличаться не более чем на два деления верньера; 4) счетный ролик должен легко вращаться и не иметь люфта в подшипниках.

Хорошие результаты измерения получают при работе с планшетом на жесткой основе. Карту тщательно разглаживают и прикрепляют кнопками к чертежной доске. Работу планиметром начинают с определения цены деления. Для этого им изме-

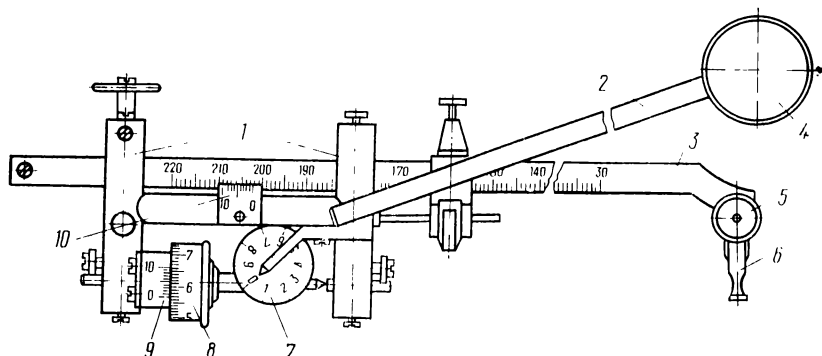


Рис. 35. Однокареточный полярный планиметр:

1 — каретка; 2 — полюсный рычаг; 3 — обводный рычаг; 4 — груз с иглой (полюсом); 5 — обводное устройство; 6 — серьга; 7 — циферблат; 8 — счетный ролик с барабаном; 9, 10 — верньеры счетного механизма и обводного рычага

ряют площадь, величина которой заранее известна, например один или несколько квадратов прямоугольной сетки карты. При определении цены деления и измерении площади какой-либо фигуры полюсный рычаг устанавливают вне контура, чтобы углы между полюсным и обводным рычагами были в пределах  $30\text{--}150^\circ$ . Точку или иглу обводного устройства устанавливают в начальную точку контура и снимают отсчет со счетного механизма. Отсчет составляют из четырех цифр (рис. 36). Первая цифра-номер (4) младшего штриха на циферблате, ближайшего к указателю; вторая цифра-номер (2) младшего подписанного штриха на барабане счетного ролика, ближайшего к нулю верньера; третья цифра-номер (3) младшего неподписанного штриха на барабане, ближайшего к нулю верньера; четвертая цифра-номер (4) штриха на верньере, совпадающего с каким-либо штрихом на барабане (на рис. 36 совпадающие штрихи отмечены пунктиром). Записав отсчет до обводки, передвигают точку обводного устройства по контуру. Движение ведут по ходу часовой стрелки плавно, без рывков. Обвод заканчивают в той же точке, в которой начинали. После обвода вновь берут отсчет по счетному механизму. Измерения выполняют дважды — при двух положениях полюса: ПП и ПЛ. Это означает, что в первом случае полюс планиметра расположен правее обводного устройства, во втором — левее. При использовании двухкареточного планиметра отсчеты берут по двум счетным механизмам. Обозначив среднее значение разностей отсчетов до и после обводки при

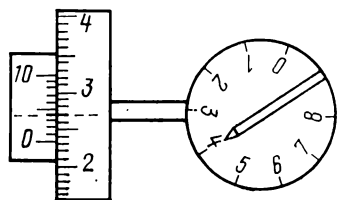


Рис. 36. Отсчет по счетному механизму планиметра 4234

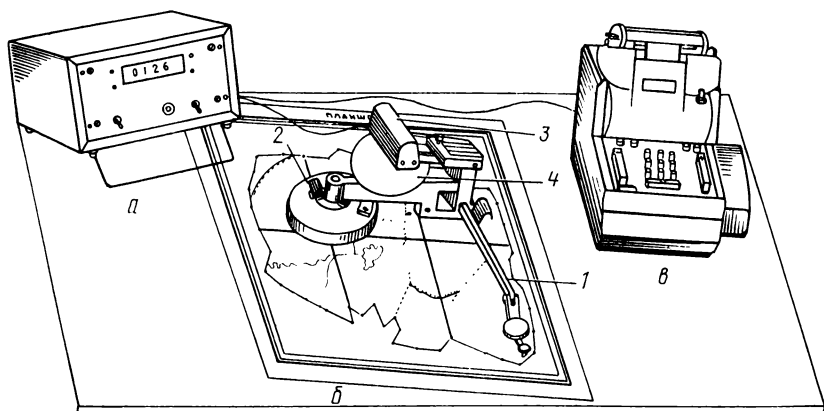


Рис. 37. Электронный планиметр:

*а, б* — счетное и обводное (планиметр) устройство; *в* — вычислительная печатающая машина; *1* — обводный рычаг; *2* — основание; *3* — импульсный датчик; *4* — диск

ПП и ПЛ через  $n$  и площадь известных размеров через  $P_0$ , цену деления планиметра вычисляют по формуле  $p = P_0/n$ . Такая цена деления действительна только для данного планиметра с зафиксированной длиной обводного рычага  $R$  и при работе с картой данного масштаба. Зная цену  $p$  деления планиметра, площадь  $P$  измеряемой фигуры вычисляют по формуле  $P = pn$ .

Электронный планиметр (рис. 37) кроме устройства для обвода контура (собственно планиметра) включает электронно-счетное устройство и вычислительную печатающую клавишную машину. Точность измерений этим планиметром повышается за счет того, что измерительное колесо вращается не по карте, а по идеально ровному диску *4*. На табло электронно-счетного устройства фиксируется измеренная площадь с предварительно заданным масштабным коэффициентом или в метрической системе мер. Величина площади выделов и их сумма (в квартале, на планшете) может быть отпечатана на бумажной ленте вычислительной печатающей машины. Повышая точность определения площади, электронный планиметр экономит затраты труда. Важно и то, что измерения можно выполнять по картографическим материалам, изготовленным на любой основе: бумаге, кальке, синьке и др.

## § 23. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Этим способом вычисляют площади многоугольников, координаты вершин которых известны. Если порядковые номера вершин обозначить по часовой стрелке, то площадь участка

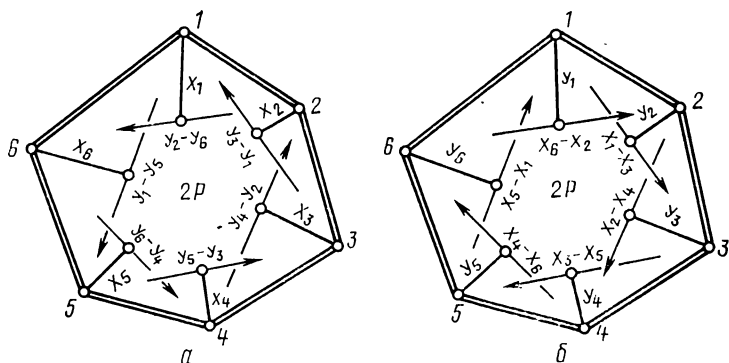


Рис. 38. Схемы составления разностей ординат  $a$  и абсцисс  $b$  вершин 1—6 многоугольника при аналитическом определении его площади

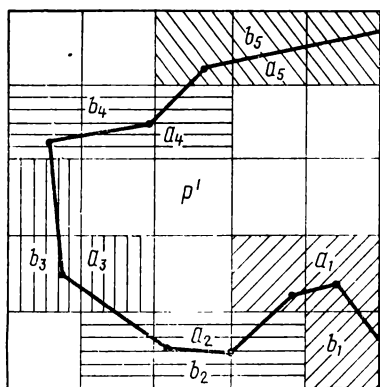


Рис. 39. Вычисление площади планшета по способу А. Н. Савича

можно вычислить по формулам аналитической геометрии

$$2P = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); \quad 2P = \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где  $x_i$ ,  $y_i$  — абсцисса и ордината  $i$ -й вершины многоугольника;  $i$  — номер вершины (1, 2, ...,  $n$ ).

Площадь вычисляют так, как показано в табл. 5. Сначала в ней заполняют 1, 2 и 3-ю графы, последовательно записав номера вершин многоугольника (в порядке возрастания по часовой стрелке), их абсциссы  $x$  и ординаты  $y$ . При заполнении остальных граф пользуются схемой (рис. 38). По схеме видно, что на строке, на которой записана точка 3, в графах 4—7 должны быть последовательно записаны следующие числа:  $y_4 - y_2$ ,  $x_2 - x_4$ ,  $x_3(y_4 - y_2)$ ,  $y_3(x_2 - x_4)$ . Если вычисления сделаны правильно, алгебраические суммы всех чисел 4-й графы, как 5-й, равны нулю, а сумма чисел графы 6-й тождественна сумме чисел графы 7-й. Последние представляют собой двойную площадь многоугольника.

## 5. Вычисление площади полигона по координатам его вершин

Номер вершины <i>l</i>	Координаты, м		Разности координат, м		Произведения, м <sup>2</sup>	
	$x_i$	$y_i$	$y_{i+1} -$ $- y_{i-1}$	$x_{i-1} - x_{i+1}$	$x_i (y_{i+1} -$ $- y_{i-1})$	$y_i (x_{i-1} -$ $- x_{i+1})$
1	2	3	4	5	6	7
1	6213,4	4248,6	+509,5	+910,4	+3 165 727	+3 867 925
2	5724,2	4261,1	-595,8	+1106,6	-3 410 478	+4 715 333
3	5106,8	3652,8	-1411,8	+301,1	-7 209 780	+1 099 858
4	5423,1	2849,3	-1014,4	-1304,0	-5 501 193	-3 715 487
5	6410,8	2638,4	+902,3	-1211,5	+5 784 465	-3 196 422
6	6634,6	3751,6	+1610,2	+197,4	+10 683 032	+740 566
<b>Итого</b>			0	0	3 511 773	3 511 773

$$P = 3\,511\,773 : 2 = 1\,755\,886 \text{ м}^2 = 175,59 \text{ га}$$

Погрешность определения площади аналитическим способом не превышает 1 : 1000. Поэтому допустимо координаты записывать в таблицу с округлением до 0,1 м, а произведения до 1 м. Как наиболее точный этот способ используют при Ia—II разрядах лесоустройства.

### § 24. УВЯЗКА ПЛОЩАДЕЙ. ПОРЯДОК ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПЛАНШЕТА, КВАРТАЛА, ВЫДЕЛА

**Невязка и ее устранение.** При определении площади неизбежны погрешности, вызываемые ошибками работы приборов и неточными действиями исполнителя. В результате сумма площадей составных частей какого-либо участка не совпадает с его общей площадью на величину, называемую невязкой. Если невязка допустима, общую площадь не изменяют, а во все ее части вводят поправки следующим способом: невязку делят на общую площадь, выраженную в целых гектарах и получают ее величину, приходящуюся на 1 га, которую умножают последовательно на площадь каждой части, также округленную до целых гектаров; произведения со знаком, противоположным знаку невязки, добавляют к площади соответствующих частей.

**Порядок определения площадей.** Площадь определяют по правилу перехода от общего к частному. Сначала вычисляют аналитическим способом площадь лесничества или отдельного урочища и полученную величину согласовывают с общей площадью района. Затем находят площадь планшетов. Работу целесообразно выполнять также аналитическим способом. При отсутствии аналитически определенных координат вершин поворотных точек границы лесного массива их определяют графическим способом (см. § 8), восстановив предварительно на планшете прямоугольную сетку. Такой способ определения площадей называют графоаналитическим. При большом



числе поворотных точек он приближается по точности к аналитическому.

**Комбинированный способ определения площади планшета.** Надежные результаты дает комбинированное определение площади планшета по квадратам прямоугольной сетки и результатам измерений планиметром по способу А. Н. Савича (1810—1884). В этом случае (рис. 39) подсчитывают площадь  $P'$  на полных квадратах сетки, затем планиметром измеряют площади  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  групп неполных квадратов и дополняющие их площади  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ . Результаты измерений получают в делениях планиметра. Цену деления  $p$  планиметра получают многократно по формуле

$$p_i = P_0 / (a_i + b_i),$$

где  $P_0$  — площадь известных размеров (для примера на рис. 39 — площадь на трех квадратах сетки).

Расхождение между двумя определениями цены деления должно быть не более 1 : 400. Среднее из  $p_1, p_2, \dots, p_n$  принимают за цену деления  $p$  и используют в дальнейшем при определении площади выделов. Площадь планшета представляет сумму площадей

$$P = P' + p(a_1 + a_2 + \dots + a_n).$$

Сумму площадей планшетов увязывают с общей площадью лесничества (урочища).

**Определение площади квартала и выдела.** Площадь кварталов прямоугольной формы подсчитывают графическим способом по данным непосредственного промера квартальных просек. Площадь кварталов иной формы определяют планиметром. Сумма вычисленных площадей кварталов не должна расходиться с увязанной площадью планшета более чем на 1 %. Величину площади квартала после увязки подписывают на планшете с округлением до целого гектара. Площадь выделов, занимающих на плане более 1 см<sup>2</sup>, определяют планиметром, меньше — палеткой. Сумма площадей выделов не должна отличаться от площади квартала более чем на 2 %. Увязанные площади выделов подписывают на планшете с округлением до 0,1 га. Площадь узких объектов (дорог, канав и др.) вычисляют по фактической длине и ширине на местности, определяемым из промерных работ или по плану. Если они попадают в выдел, из площади выдела их исключают, но учитывают при подсчете сумм площадей квартала.

## § 25. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ЗАДАННОЙ ПЛОЩАДИ

По лесоустроительным планшетам проектируют участки разного назначения, чаще всего отводимые в рубку — лесосеки.

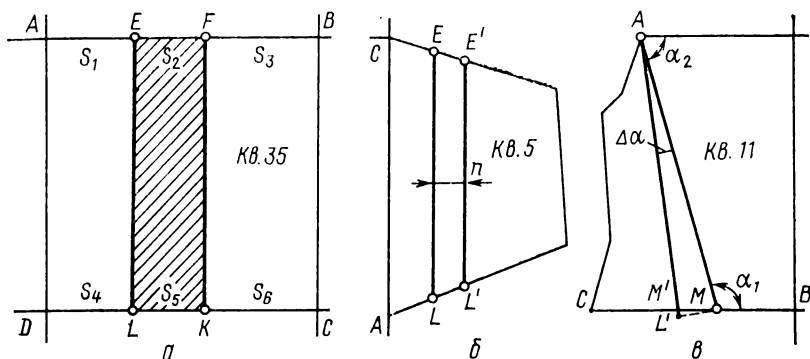


Рис. 40. Проектирование участков заданной площади:

$A, B, C, D$  — вершины кварталов;  $E, F, K, L, M$  — проектное положение вершин участков;  $E', L', AM'$  — вспомогательные прямые, прочерченные на плане при проектировании;  $n(\Delta\alpha)$  — сдвиг (поворот) прямой в расчетное положение;  $S_1-S_6, \alpha_1, \alpha_2$  — линейные и угловые величины для выноса участков в натуру

**Характерные случаи проектирования.** 1. В квартале прямоугольной формы (рис. 40, а) отводят лесосеку со сторонами, параллельными стороне квартала. В этом случае по длине квартала и заданной площади лесосеки вычисляют ее ширину. Полосу такой ширины в необходимом месте наносят на планшет и измеряют по нему расстояния от квартальных столбов до углов лесосеки, а также румб (азимут) ее продольной стороны.

2. В квартале неправильной формы (рис. 40, б) проектируют участок заданной площади в виде полосы, примыкающей к стороне квартала. На плане участок намечают на глаз, для чего проводят линию  $E'L'$ , параллельную стороне квартала  $AC$ . Площадь четырехугольника  $ACE'L'$  измеряют планиметром или определяют графически. Если она больше проектируемой, линию  $E'L'$  сдвигают на отрезок  $n$  в положение  $EL$ . Отрезаемая площадь  $\Delta P$  представляет собой разность измеренной и заданной площадей, а  $n = \Delta P / E'L'$ . Прочертив прямую  $EL$ , параллельную  $AC$ , определяют для контроля площадь участка  $ACEL$ . Для переноса линии  $EL$  в натуру по планшету находят и на схеме обозначают расстояния  $CE$  и  $AL$ , а также румб (азимут) стороны  $EL$ .

3. Если граница проектируемого участка совпадает с прямой, выходящей из заданной точки  $A$  (рис. 40, в), сначала из этой точки на глаз проводят линию  $AM'$  и находят планиметром площадь участка  $SAM'$ . Если она меньше заданной, прирезают недостающую площадь  $\Delta P$ . Для этого линию  $AM'$  поворачивают вокруг точки  $A$  на такой угол, чтобы в образовавшемся треугольнике с основанием  $AM'$  и высотой  $a = L'M$  площадь была равна величине прирезаемой (высоту  $a$  нетрудно рассчитать, поделив  $2\Delta P$  на  $AM'$ ). Не делая различия между точками  $L'$  и  $M'$ , откладывают на квартальной линии  $CB$

отрезок  $M'M$ . Прямая  $AM$  и есть граница лесосеки. Для выноса точки  $M$  в натуру и прорубки визира  $AM$  графически по плану находят отрезки  $CM$  и  $BM$ , а также углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

**Определение площади склона.** На склонах гор размеры лесосек, пробных площадей и других участков несколько больше, чем определенные по карте. Фактические размеры площади с учетом углов наклона вычисляют по специальной таблице (табл. 6). Если, например, измеренная по плану площадь лесосеки на склоне крутизной  $20^\circ$  равна 8,4 га, то на местности она составит  $8,51 + 0,42 = 8,93$  га. Эту площадь и ограничивают в натуре линиями, соответствующими линиям на плане.

#### 6. Выписка из таблицы определения площади в натуре по ее горизонтальной проекции на плане

Угол наклона, град	Наклонная площадь в натуре, га, в зависимости от площади горизонтальной проекции, га								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,064	2,13	3,19	4,25	5,32	6,38	7,45	8,51	9,58

#### Контрольные вопросы

1. Какие измерения выполняют на планах (картах) для определения площади участков графическим способом? Какие формулы применяют для вычисления площади? 2. Как устроен полярный планиметр и как им измеряют площадь? 3. Как найти цену деления полярного планиметра? 4. Как увязать площадь выделов с общей площадью участка? 5. В каком порядке вычисляют площадь планшета? 6. Как проектируют участки заданной площади?

### Глава 5. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

#### § 26. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ЛЕНТАМИ

**Способы и средства измерения расстояния.** Расстояние на местности измеряют непосредственно при помощи мерных приборов и косвенно — дальномерами. На лесных съемках для непосредственного измерения расстояния используют землемерные ленты и рулетки, для косвенного — оптические дальномеры. В ближайшем будущем следует ожидать применения также электрооптических и радиотехнических дальномеров (свето- и радиодальномеров), выпускаемых отечественной промышленностью.

**Рулетки и землемерные ленты.** Для измерения коротких расстояний применяют рулетки — тесьмяные и стальные. Тесьмяная рулетка может иметь длину 3; 5; 10 и 20 м. На ее ленте нанесены деления через 1 см, а подписаны каждые 10 см и целые метры. Стальные рулетки имеют длину от 20 до 100 м; некоторые из них имеют цену деления 1 мм. Длинные расстояния измеряют землемерными лентами. Различают землемерные и землемерные штриховые ленты.

**Землемерные ленты (ЛЗ)** (рис. 41) бывают длиной 20; 24 и 50 м. На концах ленты против штрихов сделаны прорезы, в которые вставляют шпильки; на оси каждые 10 см отмечены сквозными отверстиями, полуметры — шайбами, метры — пластинками с надписями. В комплект ленты входят 11 или 6 шпилек. Штриховые землемерные ленты (ЛЗШ) позволяют с несколько большей точностью измерить расстояние. На крайних дециметровых делениях их нанесены штрихи с интервалом 1 мм. При лесной съемке применяют редко.

**Компарирование лент.** До начала работы с лентой ее компарируют, т. е. устанавливают ее действительную длину. Простейший способ компарирования — сравнение рабочей ленты с нормальной (контрольной), истинная длина которой известна. Для этого рабочую и контрольную ленты укладывают рядом,

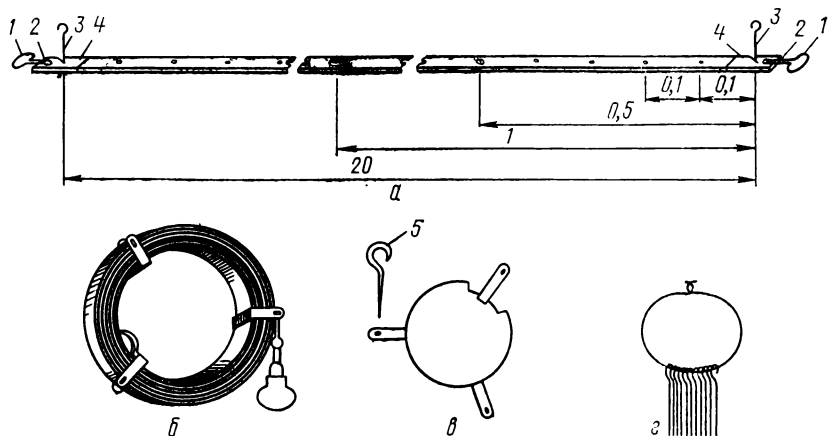


Рис. 41. Землемерная лента:

*a* — рабочее положение; *б* — на кольце; *в* — кольцо оправы; *г* — комплект шпилек; 1 — ручки; 2 — вертлюги; 3 — шпильки в прорезях; 4 — накладки; 5 — болтик

натягивают с одинаковым усилием и миллиметровой линейкой измеряют разность  $\Delta l$  между ними. Эта разность положительна, если длина рабочей ленты  $l_p$  больше длины эталонной  $l_0$ , и отрицательна при  $l_p < l_0$ . Вполне очевидно, что  $l_p = l_0 + \Delta l$ . Поправку за компарирование в расстояние, равное длине рабочей ленты, вычисляют по формуле

$$\Delta l_k = l_p - l_0, \quad (20)$$

а равное 1 м по формуле

$$\Delta l_{k(1м)} = \Delta l_k / l_0. \quad (21)$$

В формулах (20) и (21)  $l_0$  — номинальная длина ленты, например 20 м. Поправку за компарирование учитывают тогда, когда длина ленты отличается от своего номинального значения больше чем на  $\pm 2$  мм.

**Подготовка линии к измерению.** Перед измерением линию закрепляют, провешивают и расчищают. Закрепление состоит в установке на концах линии временных или постоянных знаков (см. рис. 34 и 111) и вех. Длинную прямую обозначают промежуточными вехами — это так называемое вешение линии. Оно необходимо для того, чтобы в процессе измерения можно было укладывать ленту с возможно малыми отклонениями от створа — вертикальной плоскости, проходящей через концы линии. Используют вехи фабричного производства или изготовленные из подручных материалов; длина их 1,5—2,5 м, толщина 4—6 см. Вешение ведут обычно способом на себя (рис. 42, а). Установив две вехи в заданном направлении, отхо-

дят на нужное расстояние и последовательными приближениями становятся в створе линии, где ставят третью веху.

Если необходимо проложить прямую между точками  $A$  и  $B$  (рис. 42, б), взаимная видимость между которыми закрыта лесом, в стороне от линии выбирают точку  $C$ , из которой видны точки  $A$  и  $B$ . На направлении  $AC$  перед лесным участком ставят веху  $D$  и измеряют землемерной лентой расстояния  $AD$ ,  $DC$  и  $BC$ , а гониометром или bussолью (см. гл. 6) — угол  $\beta$  в точке  $C$ . Такой же угол откладывают от направления  $DA$  и на его стороне ставят веху  $F$ . Затем вычисляют отрезок  $DE = BC \cdot AD / AC$  и откладывают его на направлении  $DF$ . Точка  $E$  находится в створе линии и служит ориентиром при ее вешении.

Провешивая прямую в лесу, крупномерные деревья на линии не срубают, а обходят вехами (рис. 42, в). Для этого примерно в 10 м от дерева на прокладываемой линии ставят три вехи, затем их переставляют строго по перпендикулярам к линии вправо или влево на определенное расстояние, например 0,5 м, измеряемое рулеткой. Создается новый створ, параллельный заданной линии. Его продолжают и за деревом, также выставляя три вехи. Последние тем же способом смещают на направление прокладываемой линии и продолжают ее вешение.

В случае, когда видимость между концами линии  $AB$  (см. рис. 42, г) закрыта возвышенностью, створ создают следующим образом. В произвольных точках на противоположных склонах возвышенности вблизи ее вершины ставят вехи  $1'$  и  $2'$  (рис. 42, д). Визируя из точки  $2'$  на веху  $A$ , переносят на линию визирования в точку  $1''$  веху из точки  $1'$ . Затем, визируя по линии  $1''B$ , выставляют на нее веху  $2''$ , снятую с точки  $2'$ . Веше-

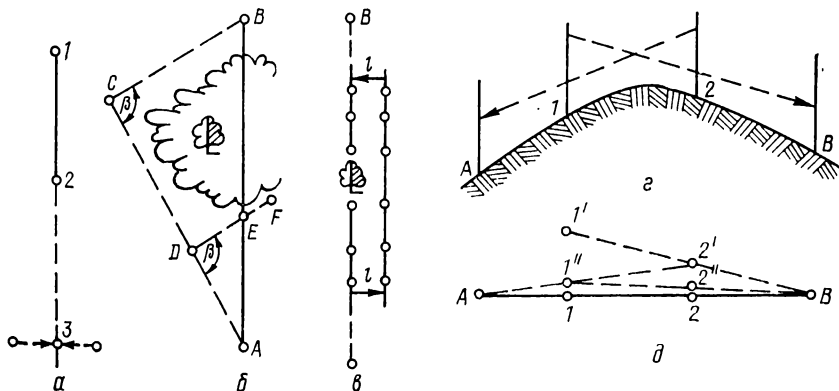


Рис. 42. Вешение линий:

$a$  — способ вешения на себя;  $б$  — подготовка данных для провешивания линии в лесу;  $в$  — обход дерева;  $г, д$  — вешение через возвышенность (вид сбоку и сверху);  $A, B$  — концы линий;  $C, D, E, F$  — вспомогательные точки;  $\beta$  — вспомогательный угол;  $1, 2, 3, 1', 2', 3', 1'', 2'', 3''$  — вехи;  $l$  — смещение створа при обходе дерева

ние заканчивают тогда, когда вехи 1 и 2 оказываются точно на линии АВ.

Расчищая линию, с нее убирают валежник, вырубают кустарник, скашивают высокую траву.

**Порядок измерения линии.** Измерение ведут два мерщика — передний и задний. Второй берет себе одну шпильку, а первый — все остальные (10 или 5) и, разматывая ленту, идет по линии. Задний ставит шпильку в начальную точку, зацепляет за нее конец ленты и показывает переднему, как уложить ее в створ. Выполнив это, передний мерщик встряхивает ленту, натягивает и прищипливает ее конец к земле. Так откладывают первую ленту. После этого задний мерщик вынимает из земли шпильку, а передний аккуратно выводит ленту из зацепления со шпилькой и оставляет последнюю в земле. Взяв ленту за ручки, мерщики идут вперед по линии и останавливаются тогда, когда задний подходит к шпильке, оставленной в земле передним. Описанным выше способом откладывают вторую ленту. В дальнейшем мерщики повторяют свои действия до тех пор, пока передний не израсходует все шпильки; задний передает ему собранные шпильки, кроме одной, находящейся в земле, и они продолжают измерение. Число передач шпилек замечают оба мерщика.

Подойдя к конечной точке, они отсчитывают с точностью до 0,01 м остаток (домер) — расстояние между последней шпилькой и концом линии; здесь же они подсчитывают длину линии по формуле

$$D = (10p + n) l_0 + a, \quad (22)$$

где  $p$  — число передач шпилек;  $n$  — число шпилек, находящихся в руках у заднего мерщика, не считая ту, которая стоит в земле;  $l_0$  — номинальная длина ленты;  $a$  — остаток.

Если используют 6 шпилек, то в (22) коэффициент 10 заменяют на 5.

Линию обязательно измеряют в обратном направлении, и из двух результатов, если они сходятся в пределах допуска, вычисляют среднюю длину  $D_{\text{ср}}$  и добавляют к ней поправку за компарирование ленты, вычисляемую по формулам

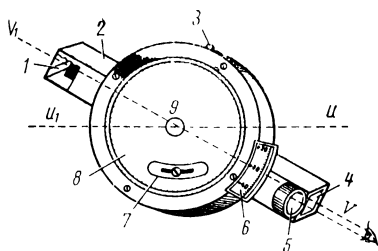
$$\Delta D_{\text{к}} = (D_{\text{ср}} / l_0) \Delta l_{\text{к}}; \quad \Delta D_{\text{к}} = D_{\text{ср}} \Delta l_{\text{к}(1\text{м})},$$

в которых  $\Delta l_{\text{к}}$  и  $\Delta l_{\text{к}(1\text{м})}$  — поправки за компарирование ленты и ее 1 м, вычисленные по (20) и (21).

**Погрешности и точность измерения линий лентой.** Вследствие неточного укладывания ленты в створе измеряемой линии, непостоянства ее натяжения, провисания и прогибов, колебания температуры и других причин результат измерения отличается от истинного расстояния. Но так как последний показатель неизвестен, о качестве измерений судят по сходимости прямого  $D_{\text{пр}}$  и обратного  $D_{\text{обр}}$  результатов. Считается, что измерение выполнено удовлетворительно, если относительная по-

Рис. 43. Эклиметр:

1, 4 — предметный и глазной диоптры; 2 — трубка; 3 — стопорная кнопка; 5 — лупа; 6 — обод колеса с градусной шкалой; 7 — юстировочная пластинка; 8 — коробка; 9 — ось вращения колеса;  $u, u_1$  — линии горизонтальная и визирования



грешность  $f_{отн} = (D_{пр} - D_{обр}) / D_{ср}$  не превышает 1:2000 при благоприятных условиях измерения (ровная местность, крепкий грунт), 1:1500 при средних условиях и 1:1000 при неблагоприятных (пересеченная или заболоченная местность, наличие пней, мелкого кустарника). При измерении длины просек, визиров и других ходовых линий (линии, на которых расположены пункты таксации) при лесоустроительных работах верным считают такой результат, который отклоняется от контрольного промера не более 1/500 при Ia—II и не более 1/300 при III—IV разрядах лесоустройства.

**Приведение к горизонту длины наклонной линии.** Измеренные лентой расстояния приводят к горизонту по формуле (1) или путем введения в них поправок за наклон; необходимые углы наклона линий измеряют с помощью портативного прибора — эклиметра (рис. 43). Последний состоит из коробки, к которой наглухо прикреплена визирная трубка с диоптрами — глазным в виде щели и предметным в виде металлической нити. Внутри коробки на оси помещается колесо, на цилиндрический обод которого нанесены градусные деления, по  $60^\circ$  в обе стороны от нулевого штриха. В рабочем положении колесо под

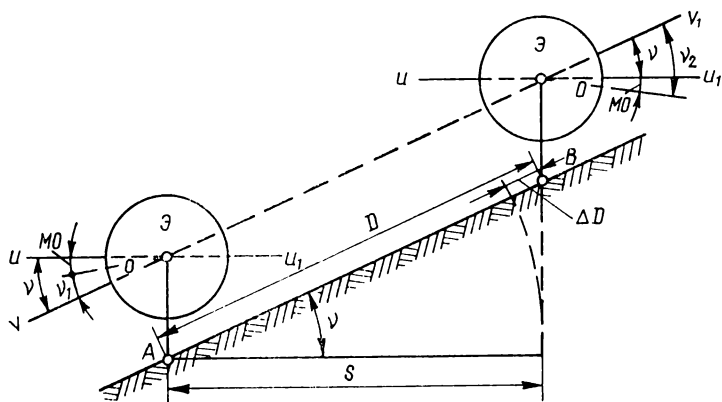


Рис. 44. Проверка эклиметра и измерение угла наклона; поправка за наклон: AB — концы линии; D — наклонное расстояние; S — его горизонтальное проложение;  $\Delta D$  — поправка за наклон; Э — эклиметр;  $u, u_1$  — линии горизонта и визирования; O — положение нулевого штриха шкалы; MO — место нуля;  $\gamma$  — угол наклона линии AB к плоскости горизонта;  $\gamma_1, \gamma_2$  углы, измеренные эклиметром



действием припаянного к нему груза занимает одно и то же положение относительно горизонтальной плоскости, в нерабочем оно прижимается пружиной к коробке. Чтобы измерить угол наклона линии  $AB$  (рис. 44), становятся с эклиметром в одном конце ее, а в другом устанавливают вежу с отмеченной на ней высотой глаз наблюдателя. Наведя нить предметного диоптра на метку вежи, нажимают стопорную кнопку и в момент, когда колесо успокоится, отпускают ее, через лупу против нити предметного диоптра читают на ободу колеса отсчет с точностью до  $0,25^\circ$ . В отрегулированном эклиметре этот отсчет представляет собой угол наклона линии.

В отрегулированном эклиметре нулевой диаметр свободно подвешенного колеса занимает горизонтальное положение. Прежде чем пользоваться эклиметром, это условие проверяют, измеряя угол наклона одной и той же линии местности в прямом и обратном направлениях. Если отсчеты  $v_1$  и  $v_2$  (см. рис. 44) одинаковы по абсолютному значению и разные по знакам, эклиметр работает правильно. Если же их абсолютные величины различны, нулевой диаметр свободно подвешенного колеса образует с плоскостью горизонта угол, называемый местом нуля ( $MO$ ). Тогда в точке  $A$  вместо угла  $v$  измеряют угол  $v_1$ , а в точке  $B$  — угол  $v_2$ . Из рис. 44 видно, что

$$\left. \begin{aligned} v &= v_1 + MO, \\ v &= v_2 - MO. \end{aligned} \right\}$$

Складывая уравнения и вычитая из первого второе, находим

$$v = (v_2 + v_1)/2; \quad MO = (v_2 - v_1)/2.$$

Таким образом, среднее арифметическое из результатов измерений представляет собой верное значение угла наклона. Следовательно, можно работать и неверным эклиметром, но измерения выполнять в обоих концах линии. Чтобы одним измерением получить правильный угол наклона, следует изменить положение нулевого диаметра на угол  $MO$ . Для этого, вычислив из результатов двух измерений угол  $v$ , вновь визируют по линии  $uv_1$  и, передвинув юстировочную пластинку, прикрепленную к нижнему ободу колеса, добиваются того, чтобы щель предметного диоптра встала против отсчета, равного углу  $v$ . В этом положении нулевой диаметр колеса лежит в горизонтальной плоскости. Измеренное наклонное расстояние  $D$  длиннее горизонтального проложения  $S$  (см. рис. 44), поэтому поправку  $\Delta D$  за наклон линии следует вводить со знаком минус, составляя ее по правилу  $\Delta D = S - D$ . Учитывая, что  $S = D \cos v$ , находим  $\Delta D = D \cos v - D = D (\cos v - 1) = -D (1 - \cos v)$  или

$$\Delta D = -2D \sin^2 (v/2). \quad (23)$$

В процессе лесоустроительных работ ходовые линии при измерении разбивают на пикеты длиной 100 или 200 м. На крутых скатах к отложенной длине пикета добавляют поправку  $\Delta D$  за наклон, чтобы получить пикет на горизонтальной плоскости. В этом случае поправка имеет знак плюс и составляется по правилу  $\Delta D = D - S$ . Учитывая, что  $D = S \sec \nu$ , находим  $\Delta D = S \sec \nu - S$  или окончательно

$$\Delta D = S (\sec \nu - 1). \quad (24)$$

Примеры. 1. На скате крутизной  $30^\circ$  измерена линия длиной 115,47 м. Горизонтальное проложение ее  $115,47 \text{ м} - 2 \cdot 115,47 \text{ м} \cdot \sin^2 15^\circ = 100 \text{ м}$ .

2. При промере ходовой линии на скате крутизной  $30^\circ$  отложено 100 м. Чтобы получить 100-метровый пикет на горизонтальной плоскости, необходимо линию продлить на  $\Delta D = 100 \text{ м} \cdot (\sec 30^\circ - 1) = 100 \text{ м} \cdot 0,1547 = 15,47 \text{ м}$  и отметить конец этого отрезка пикетным колом.

В полевых условиях поправки находят по специальным таблицам. Вычисляя горизонтальное проложение, пользуются таблицами поправок для приведения к горизонту наклонных линий, измеренных лентой. При разбивке наклонных линий на пикеты используют таблицу поправок к наклонным линиям, соответствующим горизонтальным проложениям [15].

## § 27. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДАЛЬНОМЕРАМИ

**Принцип действия и классификация оптических дальномеров.**

Дальномерное измерение расстояний в геометрическом отношении основано на вычислении высоты  $S$  равнобедренного треугольника (рис. 45) по формуле

$$S = (b/2) \operatorname{ctg} (\beta/2), \quad (25)$$

где  $b$  — база,  $\beta$  — параллактический угол.

Одна из величин,  $b$  или  $\beta$ , обычно является постоянной, другая — переменной (измеряемой). В зависимости от этого различают оптические дальномеры с постоянной базой или с постоянным углом. По конструктивным особенностям их подразделяют на нитяные и двойного изображения.

**Измерение расстояния нитяным дальномером.** Зрительные трубы современных геодезических приборов (теодолитов, нивелиров и др.) являются одновременно и нитяными дальномерами с постоянным параллактическим углом (рис. 46). Переменная база — дальномерная рейка, устанавливаемая на точке, до которой требуется измерить расстояние. На сетке нитей трубы (см. рис. 46 и 63) через точки  $m$  и  $l$  прочерчены горизонтальные штрихи, являющиеся дальномерными нитями. Лучи света, идущие от точек  $m$  и  $l$ , пересекаются в главном фокусе  $F$  объектива и попадают в точки  $M$  и  $L$  рейки соответственно, отсекая на ней отрезок  $n$ . Из подобия треугольников  $MFL$  и

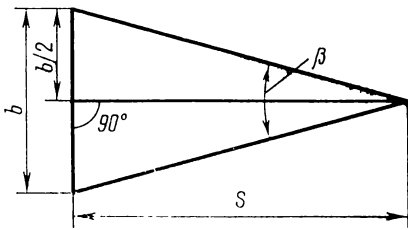


Рис. 45. Параллактический треугольник

мер, при  $f=200$  мм и  $p=2$  мм. Как видно из рис. 46, все измеряемое расстояние  $S=S_1+c$  ( $c=f+\delta$ ). Трубы геодезических приборов конструируют так, чтобы  $c$  было близким нулю. Поэтому

$$S \approx S_1 = kn. \quad (26)$$

Нитяным дальномером удобно измерять расстояния по рейке с сантиметровыми делениями, так как отсчет по такой рейке в сантиметрах равен расстоянию между прибором и рейкой в метрах.

Приведение к горизонту расстояния, измеренного нитяным дальномером. На наклонной местности (рис. 47) дальномером определяют длину луча  $IR$  и угол  $\nu$  его наклона к горизонту. Если бы при этих измерениях рейку можно было установить перпендикулярно линии визирования, то для вычисления горизонтального расстояния применили бы формулу  $S=D \cos \nu$ ,

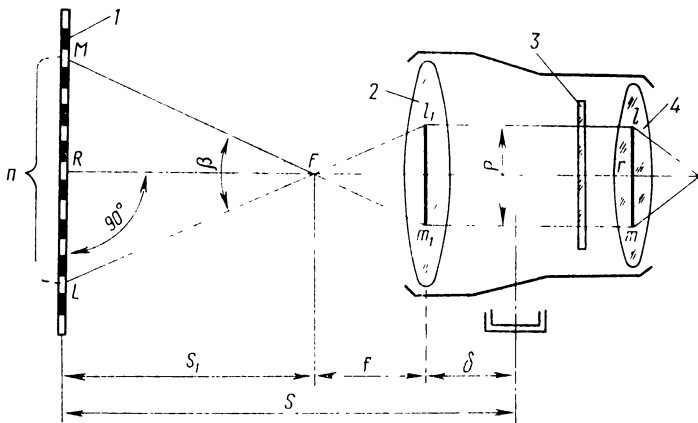
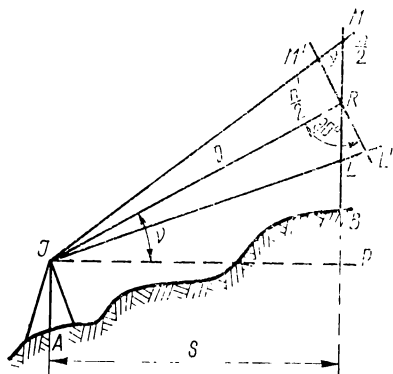


Рис. 46. Схема нитяного дальномера:

1 — рейка; 2 — объектив; 3 — сетка нитей; 4 — окуляр;  $f$  — фокусное расстояние объектива;  $\delta$  — расстояние от объектива до оси вращения прибора;  $S$  — расстояние между дальномером и рейкой;  $S_1$  — основная часть измеряемого расстояния;  $l_m = l_1 m_1 = p$  — расстояние между горизонтальными нитями сетки;  $ML = n$  — отсчет по рейке;  $rF$  — визирная ось трубы

Рис. 47. К выводу формулы приведения к горизонту расстояния, измеренного нитяным дальномером:

$A$  — точка стояния дальномера  $I$ ;  $B$  — точка стояния рейки;  $ML=n$  — отсчет по рейке;  $D$  — наклонное расстояние;  $S$  — горизонтальное проложение;  $\nu$  — угол наклона линии визирования  $IR$  к горизонту  $IP$ ;  $M'L'$  — перпендикуляр к линии визирования



в которой  $D=kn'$ . Но в точке  $B$  рейку ставят отвесно и отсчитывают на ней отрезок  $n$  между точками пересечения рейки с проекциями дальномерных нитей. Вполне очевидно, что в треугольнике  $MRM'$  угол  $R=\nu$ , а угол  $M'\approx 90^\circ$ . Поэтому  $n'/2 = n \cos \nu/2$  или  $n'=n \cos \nu$ , а наклонное расстояние  $D=kn'=kn \cos \nu$ . Следовательно,  $S=kn \cos \nu \cos \nu = kn \cos^2 \nu$ . Полагая, что  $kn \approx D$ , находим

$$S = D \cos^2 \nu. \quad (27)$$

Горизонтальное проложение  $S$  по (27) вычисляют при помощи тахеометрических таблиц.

Формулу для вычисления поправки в наклонное расстояние, измеренное нитяным дальномером, находим следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta D = S - D &= D \cos^2 \nu - D = D (\cos^2 \nu - 1) = -D (1 - \cos^2 \nu); \\ \Delta D &= -D \sin^2 \nu. \end{aligned} \quad (28)$$

**Точность измерения расстояния нитяным дальномером.** Вследствие неодинакового преломления в атмосфере верхнего и нижнего лучей возникают значительные ошибки определения расстояния, особенно в жаркие дни. В такие дни можно измерять линии небольшой протяженности (100—150 м) и использовать при отсчетах верхнюю часть рейки. Кроме того, причинами ошибок служат неодновременность снятия отсчетов по дальномерным нитям, отклонение рейки от вертикального положения и др. Относительная погрешность определения расстояния нитяным дальномером при благоприятных условиях составляет 1 : 300—1 : 400 при длине до 200—250 м, а при неблагоприятных условиях может достигать 1 : 100.

**Понятие о дальномерах двойного изображения и светодальномерах** Дальномеры двойного изображения конструктивно оформляют в виде самостоятельных приборов (Д-2) или насадок на зрительную трубу теодолита (ДНР-5 и ДН-8).

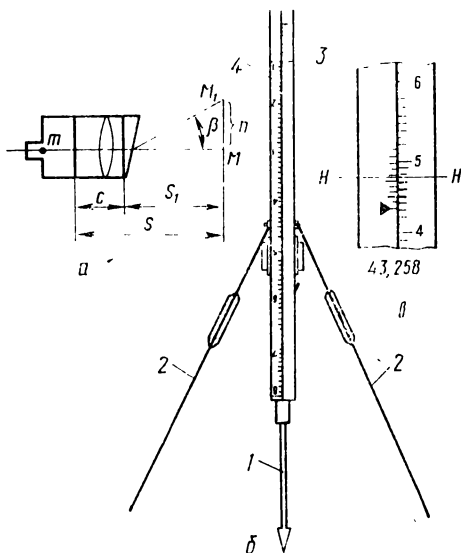


Рис. 48. Схема действия дальномера двойного изображения:

*a* — труба с оптическим клином;  $\beta$  — параллактический угол;  $n = MM_1$  — смещение изображения точки *m* оптическим клином; *c* — постоянное слагаемое дальномера;  $S_1$  — основная часть измеряемого расстояния; *S* — расстояние между дальномером и рейкой; *b* — рейка; 1 — наконечник; 2 — упорные ножки; 3 — нониус; 4 — шкала; *v* — пример отсчета по рейке; 4, 5, 6 — дециметровые деления рейки; *HN* — проекция горизонтальной нити сетки на рейку

$$S = n \operatorname{ctg} \beta + c = 100n + c.$$

Обычно рейки оцифровывают так, что величина *c* автоматически прибавляется к отсчету. Величину смещения изображения *n* определяют разными способами, например, помещением на дальномерную рейку нониуса (см. рис. 48, б). Перемещая трубу в вертикальной плоскости, добиваются точного совмещения одного из штрихов нониуса со штрихом основной шкалы рейки. Тогда отсчет по рейке (см. рис. 48, в) составляют: из целого числа делений рейки, прочитанных против нуля нониуса (на рисунке он обозначен треугольником); десятых долей рейки, определенных по номеру совмещенного штриха нониуса; сотых и тысячных долей деления рейки, прочитанных на нониусе по горизонтальной нити сетки. Погрешность определения дальномером двойного изображения ниже, чем погрешность нитяного дальномера в несколько раз и не превышает 1 : 2000—1 : 1000 расстояния.

Расстояния светодальномерами определяют по времени распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии; ее длину вычисляют по формуле  $S = \tau v / 2$ , где  $\tau$  — время прохождения электромагнитных волн от источника их излучения к отражателю и обратно; *v* — скорость электромагнитных волн в воздухе во время измерений.

Редукционный дальномер ДИР-5 с постоянным параллактическим углом автоматически редуцирует (приводит к горизонту) наклонные расстояния. Дальномер ДИ-8 с постоянной базой в виде горизонтальной рейки измеряет с высокой точностью параллактические углы.

У дальномеров двойного изображения с постоянным параллактическим углом половину объектива трубы теодолита (рис. 48, а) закрывают оптическим клином, отклоняющим визирный луч на угол  $\beta = 34,4'$ . Коэффициент такого дальномера  $\operatorname{ctg} \beta = 100$ . Луч света, идущий от центра сетки нитей *m* через открытую часть объектива, пересекает рейку в точке *M*, а тот же луч, идущий через клин, отклоняется им от прямолинейного направления в точку *M*<sub>1</sub>. Наблюдатель видит одновременно две части рейки, смещенные по высоте на величину *n*. Определив величину этого смещения, находят расстояние от вертикальной оси прибора до рейки по формуле

Светодальномеры бывают импульсные и фазовые. При работе с импульсными измеряют время движения импульсного сигнала, моменты излучения и приема которого отмечаются с большими погрешностями. При помощи фазовых светодальномеров расстояние  $S$  определяют с высокой точностью по формуле  $S = \lambda(N + \Delta)/2$ ,

где  $\lambda$  — излучаемая длина электромагнитных волн;  $N$  — число волн, укладываемое на отрезке измеряемого расстояния;  $\Delta$  — дробная часть целого числа волн, находящаяся с точностью до 1 : 1000—1 : 1500 от периода колебания.

Светодальномер состоит из приемо-передатчика, устанавливаемого на одном конце линии, и отражателя — на другом. Приемо-передатчик излучает электромагнитные волны в направлении отражателя и принимает отраженные им волны, измеряя время их распространения. Отражатель отправляет посланные к нему волны в обратном направлении.

## Контрольные вопросы

1. Какими приборами и способами измеряют расстояние при лесной съемке? 2. Что такое компарирование ленты и как его выполняют? 3. Как измеряют линии лентой? 4. Для чего и как приводят к горизонту расстояния, измеренные лентой? 5. Как определяют на наклонной местности длину 100-метрового пикета? 6. Как измеряют расстояния при помощи нитяного дальномера? 7. Почему дальномером двойного изображения расстояние измеряется точнее, чем нитяным дальномером?

## Глава 6. СЪЕМКА БУССОЛЬЮ И ГОНИОМЕТРОМ

### § 28. БУССОЛИ И ГОНИОМЕТР

Буссолю и гониометром выполняют работы, не требующие высокой точности: съемку внутриквартальной ситуации, привязку пробных площадей, отвод лесосек в рубку и др. При помощи этих приборов на местности измеряют азимуты или румбы направлений и горизонтальные углы между ними.

Основная часть буссоли — магнитная стрелка, ось которой устанавливается по направлению магнитного меридиана. Стрелка вращается на острие шпиля, укрепленного в центре латунной или пластмассовой коробки, прикрытой сверху стеклянной крышкой. Чтобы острие шпиля не затупилось, в нерабочем положении стрелку при помощи арретирующего устройства прижимают к стеклу коробки. Внутри коробки, на ее краю укреплено буссольное кольцо с градусными делениями.

**Штативная буссоль БС-2.** Коробка (рис. 49) прикреплена к горизонтальному угломерному кругу. Между коробкой и кругом вращается алидадная линейка (алидада) с двумя вертикальными диоптрами. Край горизонтального круга (лимб) имеет деления. Буссольное кольцо и лимб горизонтального круга разбиты через  $1^\circ$ , а оцифрованы через  $10^\circ$ . Кольцо имеет

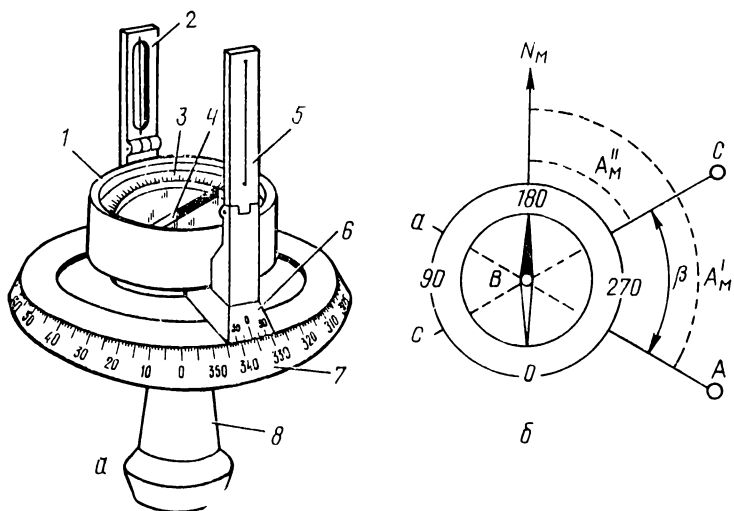


Рис. 49. Буссоль БС-2:

*a* — устройство: 1 — коробка; 2, 5 — предметный и глазной диоптры; 3 — буссольное кольцо; 4 — магнитная стрелка; 6 — алидадная линейка с верньером; 7 — горизонтальный круг с лимбом; 8 — втулка; *б* — схема измерения азимутов и углов

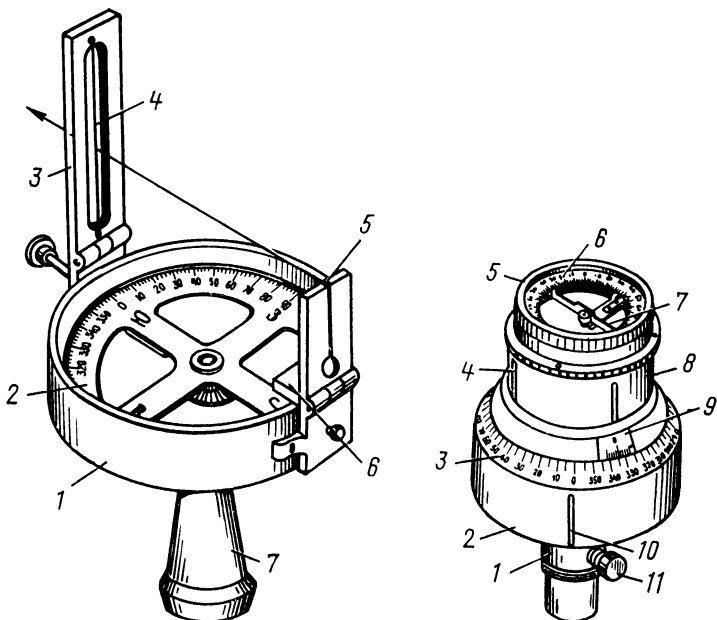


Рис. 50. Ручная призмная буссоль:

1 — коробка; 2 — кольцо с градусными делениями; 3 — стойка предметного диоптра; 4 — волосок; 5 — глазной диоптр; 6 — призма; 7 — втулка

Рис. 51. Гониометр:

1 — втулка; 2, 8 — нижний и верхний цилиндры; 3 — лимб; 4, 10 — диоптры; 5 — буссольная коробка; 6 — румбическое кольцо буссоли; 7 — магнитная стрелка; 9 — верньер; 11 — винт

румбическую оцифровку (от 0 до  $90^\circ$  в каждой четверти), а лимб — азимутальную (от 0 до  $360^\circ$  по ходу часовой стрелки). На концах алидадной линейки нанесены шкалы — верньеры, позволяющие отсчитывать лимб с точностью до  $5'$ . Разновидность БС-2 — лесная буссоль, имеющая несколько больший диаметр лимба, уровень для приведения оси вращения прибора в отвесное положение и подставку в виде шаровой пяты.

В последние годы на лесных съемах стали применять универсальную геодезическую буссоль БГ-2 с вертикальным кругом и зрительной трубой с нитяным дальномером. Этим прибором можно измерять азимуты (румбы), горизонтальные и вертикальные углы и расстояния. Для измерения угла  $ABC$  (рис. 49, б) буссоль устанавливают в точке  $B$  на легком штативе и приводят в горизонтальное положение (по уровню или при помощи магнитной стрелки, добиваясь, чтобы оба ее конца оказались в плоскости буссольного кольца). Это действие называют нивелированием прибора. Затем буссоль вращают по горизонту до тех пор, пока нулевой диаметр кольца не совпадет с направлением магнитной стрелки. Таким способом буссоль ориентируют.

У ориентированной буссоли диаметр  $0-180^\circ$  лимба лежит в плоскости магнитного меридиана, при этом деление  $0^\circ$  направлено на юг от центра коробки. Теперь, оставляя неподвижной коробку буссоли, поворачивают алидаду так, чтобы через диоптры был виден объект  $A$ . Точно совместив с объектом вертикальную плоскость, проходящую через прорезь глазного и нить предметного диоптров, т. е. выполнив визирование на объект, берут на лимбе под глазным диоптром отсчет  $a$ . Он представляет собой магнитный азимут  $A'_m$  направления  $BA$ . Таким же образом визируют на объект  $C$  и определяют на лимбе отсчет  $c$ , являющийся магнитным азимутом  $A''_m$  направления  $BC$ . Разность азимутов и является измеряемым углом  $\beta$ . Угол  $ABC$  можно измерить буссолью без ориентирования ее лимба; важно лишь, чтобы в процессе измерений он оставался неподвижным. Тогда при любом положении нулевого деления лимба угол  $\beta$  представляет собой разность отсчетов  $a$  и  $c$ .

**Ручная призенная буссоль.** В коробке (рис. 50) на магнитной стрелке уложено легкое алюминиевое кольцо с градусными делениями. Диаметр  $0-180^\circ$  кольца совпадает с магнитной стрелкой,  $0^\circ$  поставлен у южного конца стрелки. К коробке прикреплены на шарнирах предметный и глазной диоптры. Под стойкой глазного диоптра находится призма, через которую в момент визирования читают деления на кольце. При помощи втулки буссоль можно насаживать на штатив. Определяя магнитный азимут направления на какой-либо объект местности, буссоль удерживают в руке или на штативе и наводят диоптры



на объект. Одновременно с предметом видят на кольце отсчет, который и является азимутом направления.

**Гониометр** (рис. 51). Состоит из двух цилиндров: нижнего — неподвижного, выполняющего роль горизонтального круга, и верхнего — вращающегося, выполняющего роль алидады. На конической поверхности нижнего цилиндра помещен лимб с градусными делениями от 0 до 360°. На конической поверхности верхнего цилиндра есть два верньера, расположенных симметрично относительно одного из диаметров цилиндра. В нижнем цилиндре против делений 0 и 180° прорезаны диоптры. При их помощи лимб ориентируют по направлению, от которого начинают измерять углы. В верхнем цилиндре прорезаны две пары диоптров: первая, расположенная против нулевых делений верньеров, — для измерения горизонтальных углов, вторая — для построения прямых углов. На верхнем цилиндре помещена буссольная коробка с румбическим или азимутальным кольцом и магнитной стрелкой, в нижний ввинчена втулка, в которую вставлен штырь головки штатива, закрепленный винтом.

Магнитные азимуты направлений и углы между ними измеряют гониометром так же, как и буссолью БС-2, но предварительно совмещают ноль верньера, расположенного под глазным диоптром, с 0° лимба, а затем весь прибор поворачивают по азимуту до тех пор, пока магнитная стрелка не совпадет с направлением пологового диаметра буссольного кольца. При этом южный конец стрелки окажется над половым делением лимба. После этого гониометр закрепляют на штативе винтом.

**Отсчетные приспособления. Верньер.** При угловых измерениях с использованием магнитной стрелки отсчеты с буссольного кольца снимают по северному концу магнитной стрелки, если кольцо азимутальное, и по концу, ближайшему к предметному диоптру, если кольцо румбическое. Сделать отсчет по концу стрелки — значит определить, в пределах какого деления кольца находится этот конец. Точность такого отсчета невелика, не выше 0,5°. Лимб горизонтального круга отсчитывают при помощи верньера, что выполняется более точно.

Верньер представляет собой равномерную шкалу штрихов, нанесенную на алидаду вдоль ее края, соприкасающегося с лимбом. Дугу  $MN$  верньера (рис. 52, *a*) разбивают так, чтобы  $n$  ее делений приходилось против  $n-1$  деления на лимбе. Разность  $t$  между ценой деления  $l$  лимба и ценой деления  $a$  верньера называют точностью верньера, ее необходимо знать для отсчета лимба. Точность верньера найдем из уравнения  $MN = na = (n-1)l$ . Решая уравнение относительно  $a$ , находим  $a = (ln-l)/n$ , поэтому  $t = l-a = l - (ln-l)/n$  или оконча-

$$t = l/n. \quad (29)$$

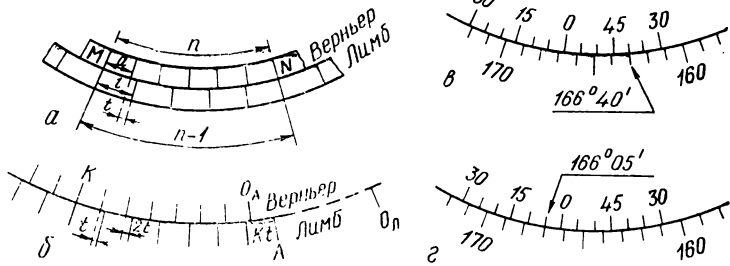


Рис. 52. Верньер:

*а* — принцип построения и точность; *б* — схема отсчета по кругу; *в*, *г* — примеры отсчитывания по горизонтальному кругу гониометра (буссоли БС-2)

Таким образом, точность верньера равна частному от деления цены деления лимба на число делений верньера. Если, например, цена деления лимба гониометра, как и буссоли БС-2 (см. рис. 52, *в*), составляет  $1^\circ$ , а шкала верньера разбита на 12 делений, то  $t = 60' : 12 = 5'$ .

При снятии отсчета с круга при помощи верньера определяют величину дуги между нулевым  $O_L$  штрихом лимба и нульпунктом  $O_A$  верньера (см. рис. 52, *б*). Отсчет складывается из числа целых делений лимба и части деления, расположенной между нульпунктом верньера и ближайшим к нему меньшим по номеру (младшим) штрихом *А* лимба. Число целых делений определяют по их оцифровке, а дробную часть деления по штрихам верньера, которая равна произведению точности верньера на номер штриха его шкалы, совпадающего с каким-либо штрихом лимба.

**Пример.** Если штрих *К* верньера совпадает с каким-то штрихом лимба, то штрих с номером  $K-1$  верньера отстоит от ближайшего к нему штриха лимба на угловом расстоянии, равном  $t$ , а штрих с номером  $K-2$  на расстоянии  $2t$  и т. д. Следовательно, нульпункт верньера  $O_A$  находится от штриха *А* лимба на угловом расстоянии  $Kt$ .

Чтобы упростить нахождение отрезка  $O_A A = Kt$ , штрихи верньера нумеруют не порядковыми номерами, а числами, равными произведению номера штриха на точность верньера. Так, на верньерах гониометра и буссоли БС-2 (рис. 52, *в*, *г*) штрихи пронумерованы числами, кратными  $5'$ ; каждый третий штрих подписан. Пользуясь такой оцифровкой, сначала на лимбе находят ближайший к нулю верньера младший градусный штрих (на рис. 52, *в* это  $166^\circ$ ); затем на шкале верньера находят штрих, совпадающий с каким-либо штрихом лимба, и по его цифровому значению читают число минут, в данном случае  $40'$ . Полный отсчет  $166^\circ 40'$ .

**Проверки буссолой и гониометров.** Приборы проверяют до начала работы. Главное внимание уделяют правильной работе магнитной стрелки, так как от длительного пользования, случайных толчков и под воздействием других внешних факторов

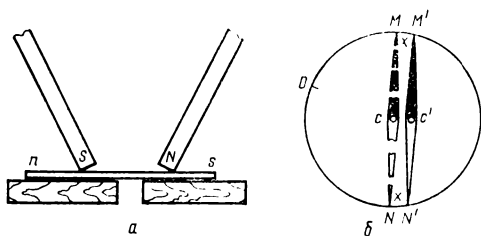


Рис. 53. Намагничивание *a* и эксцентриситет *б* стрелки буссоли:

*ns* — стрелка; *N, S* — магниты; *O, c* — нулевое деление и центр буссольного кольца; *c'* — ось вращения стрелки; *MN, M'N'* — неискаженные и искаженные эксцентриситетом отсчеты; *x* — искажение

она может размагнититься, а острие затупиться. Обычно проверяют чувствительность, уравновешенность и плавность вращения стрелки; при получении новой буссоли убеждаются, что ее коробка не содержит железа.

Проверяя отсутствие железа, вынимают стрелку из коробки и разными сторонами подносят ее к другой буссоли или к стрелке этой же буссоли, свободно подвешенной на игле, воткнутой в стол. Если стрелка не колеблется, коробка не содержит железа; в противном случае буссоль не годна для работы.

Чувствительность и плавность работы стрелки проверяют следующим образом: к буссоли подносят какой-либо железный предмет и отводят стрелку в сторону, затем дают ей успокоиться. Сравнивая отсчеты по одному из концов стрелки до и после испытания, устанавливают, возвращается ли стрелка в плоскость магнитного меридиана. Если отсчеты неодинаковы, следует выяснить причину недостаточной чувствительности стрелки. Если последняя колеблется очень долго, но отсчеты равны, значит она плохо намагничена. Когда стрелка быстро останавливается, но отсчеты разные, это значит, что плохо отточено острие оси ее вращения или плохо отшлифован агат-камень, которым она опирается на ось. Плохо намагниченную стрелку вынимают из коробки и намагничивают при помощи двух магнитов (рис. 53, *a*). Разными полюсами магниты водят по стрелке одновременно от середины к краям по несколько раз с обеих сторон. Буссоль с затупившимся острием оси или плохо отшлифованным агатом сдают в мастерскую.

Уравновешенность стрелки проверяют после приведения коробки буссоли в горизонтальное положение по выверенному уровню. Если концы стрелки находятся на одной и той же высоте относительно плоскости угломерного круга, стрелка уравновешена; в противном случае поднимающийся ее конец надо обернуть станнолевой полоской или прикрепить к нему кусочек сургуча. На некоторых стрелках есть муфта, перемещением ко-

торой уравнивают стрелку. Далее проверяют правильность установки оси вращения стрелки и диоптров.

Ось вращения стрелки должна находиться в центре буссольного кольца. Нарушение этого условия называется эксцентриситетом стрелки. Для его выявления буссоль вращают по азимуту и по обоим концам стрелки снимают отсчеты через каждые  $10^\circ$ . Если отсчеты  $M$  и  $N$  (рис. 53, б) по азимутальному кольцу разнятся на  $180^\circ$  (по румбическому кольцу — одинаковы), на данном диаметре кольца влияние эксцентриситета стрелки не проявляется. При его наличии получают отсчеты  $M'$  и  $N'$ , неверные на величину  $x$ . Правильный отсчет, равный дуге  $OM$ , можно вычислить по уравнению

$$OM = [(OM' - x) + (ON' + x - 180^\circ)]/2 = (OM' + ON' - 180^\circ)/2.$$

Чтобы исключить влияние эксцентриситета на результаты измерений, с кольца снимают отсчеты по северному и южному концам стрелки. За окончательный отсчет берут среднее арифметическое из них, изменив предварительно отсчет по южному концу на  $180^\circ$ , если оцифровка кольца азимутальная.

Наличие эксцентриситета стрелки в ручной призмной буссоли выявляют измерением прямого и обратного азимутов одной и той же линии. В буссоли БС-2 и гониометре выявлять его нет необходимости, так как при помощи этих приборов магнитные азимуты измеряют по горизонтальному кругу. Однако у них может быть другой эксцентриситет — несовпадение центра вращения алидады с центром лимба. Его влияние исключается также вычислением среднего арифметического из двух отсчетов: у глазного и предметного диоптров.

Диоптры должны быть перпендикулярны плоскости буссольного кольца. Проверая это условие, коробку буссоли при помощи уровня приводят в горизонтальное положение и в 20—30 м от нее вешают отвес. Наводят плоскость диоптров на нить отвеса и перемещают глаз вверх и вниз. Если волосок предметного диоптра пересекает нить, диоптр поставлен неверно. Если же при каком-то положении глаза волосок закрывает нить отвеса на всем протяжении, а при перемещении глаза по вертикали отходит от нити в сторону, неверен глазной диоптр. Чтобы исправить положение диоптра, ослабляют винты, прикрепляющие его к коробке, и подкладывают под тот или иной край слой бумажных полосок, а затем закрепляют винты.

При проверке буссоли (гониометра) выявляют также коллимационную ошибку. В буссоли БС-2 под коллимационной ошибкой понимают несовпадение нулевого диаметра буссольного кольца с диаметром  $0-180^\circ$  лимба и несовпадение плоскости, проходящей через прорезь глазного и волосок предметного диоптров, с линией, соединяющей нулевые штрихи верньеров. Выявляя ошибку, ставят алидаду так, чтобы нулевые штрихи верньеров совпали со штрихами  $0$  и  $180^\circ$  лимба. Через

прорезь глазного и волосок предметного диоптров натягивают тонкий волосок и, глядя сверху, замечают, на какую примерно величину (в градусной мере) отклоняется проходящая через волосок вертикальная плоскость от нулевого диаметра буссольного кольца. Эта величина и есть коллимационная ошибка. Точных способов ее определения не существует.

Для выявления коллимационной ошибки гониометра плоскость диоптров нижнего цилиндра наводят на вежу, установленную в 40—60 м от прибора. Затем, не трогая нижнего цилиндра, визируют на эту же вежу через диоптры верхнего. Отсчет, сделанный на лимбе, показывает величину коллимационной ошибки.

Исправить коллимационную ошибку буссоли (гониометра) можно только в мастерской, но в этом нет необходимости. Дело в том, что коллимационная ошибка увеличивает или уменьшает все магнитные азимуты направлений на одну и ту же величину и, следовательно, не искажает углов между ними. При нанесении направлений на план эта ошибка также не оказывает влияния, поскольку она исключена поправкой направления (см. § 29).

## § 29. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ БУССОЛЬНОЙ СЪЕМКЕ

Буссольная съемка состоит из прокладки буссольного хода и съемки подробностей местности с линий и точек этого хода. Перед съемкой определяют поправку на направления (ПН) буссоли. Для этого ее ставят на геодезическом пункте (точке съемочного обоснования) и измеряют магнитный азимут на другой пункт, на который известен дирекционный угол. Поправку направления вычисляют по формуле (2).

**Прокладка буссольного хода.** Съемку любого контура внутри квартала (рис. 54) начинают с одной из точек съемочного обоснования, например *В*. На ней измеряют примычные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , а также магнитный азимут направления на точку *1*. Землемерной лентой в прямом и обратном направлениях измеряют длину стороны *В—1*, а затем сторон *1—2*, *2—3* и др. Буссоль переносят в точку *1*, а на точках *В*, *2* и *4* ставят вежи. В точке *1* измеряют азимут направления на точку *В* и угол между направлениями на вежи *4* и *2*. Далее последовательно измеряют внутренние углы полигона на точках *2*, *3* и *4*. Правильность угловых измерений контролируют по сходимости прямого и обратного азимутов, а также по величине угловой невязки в полигоне. Отклонение обратного азимута от прямого допускается на величину не более  $\pm 30'$  (сверх  $180^\circ$ ).

Угловая невязка  $f_\beta$  в полигоне представляет собой отклонение практической суммы  $\Sigma\beta_{\text{пр}}$  углов от ее теоретического значения  $\Sigma\beta_{\text{т}}$ , т. е.  $f_\beta = \Sigma\beta_{\text{пр}} - \Sigma\beta_{\text{т}}$ . Практическую сумму углов замкнутого буссольного хода получают из результатов измере-

Рис. 54. Буссольный ход:

АС — кварталная просека; В — точка съемочного обоснования; 1, 2, 3, 4 — точки буссольного хода

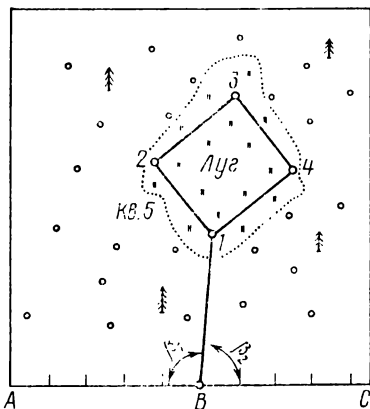
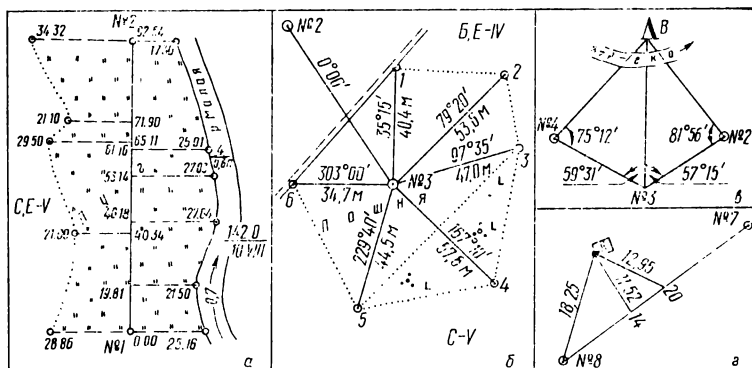


Рис. 55. Абрисы съемки ситуации:

а — способ прямоугольных координат с ходовой линией № 1—2; б — способ полярных координат; № 3 — съемочная станция; № 2 — ориентирный пункт; надписи у направлений на снимаемые точки 1—6 — их полярные координаты; в — способ угловых засечек; № 2—4 — съемочные станции; В — снимаемый объект (вышка); г — способ линейных засечек; № 7—8 — ходовая линия; ж — снимаемый объект (деревянный жилой дом)



ния внутренних углов, а теоретическую подсчитывают по известной геометрической формуле  $\Sigma\beta_{\tau} = 180^{\circ}(n-2)$ , в которой  $n$  — число углов многоугольника. Допустимая угловая невязка — не более  $\pm 10'\sqrt{n}$ .

**Съемка подробностей местности.** Чтобы изобразить на плане объект местности внемасштабным условным знаком, нужно в поле определить положение главной точки объекта относительно точек съемочного обоснования. Для нанесения линии местности на план устанавливают положение ее поворотных точек. Таким образом, сущность съемки подробностей местности заключается в определении положения отдельных ее точек относительно пунктов съемочной основы. С этой целью выполняют угловые и линейные измерения. По времени они обычно совпадают с измерениями, выполняемыми для определения положения точек съемочного обоснования. В зависимости от характера местности и расположения снимаемых объектов по отношению

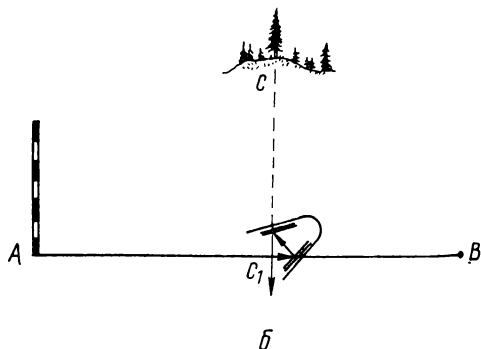
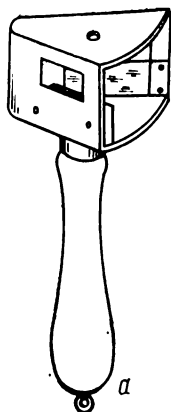


Рис. 56. Эккер:

*a* — внешний вид; *б* — определение основания  $C_{\perp}$  перпендикуляра, восстановленного из снимаемой точки *C* на линии хода *AB*

к пунктам съемочной сети применяют разные способы съемки (рис. 55).

Способ прямоугольных координат, или способ перпендикуляров (рис. 55, *a*) применяют для съемки объектов и контуров, расположенных вблизи сторон хода. Положение снимаемых точек (на рисунке точки поворота опушки леса и берега реки) определяется их ординатами (перпендикулярами, опускаемыми на сторону хода) и абсциссами (расстояниями, измеряемыми по ходовой линии от ее начала до оснований перпендикуляров). Съемку ситуации выполняют в процессе измерения линий хода. Положение оснований перпендикуляров на линии хода устанавливают на глаз, рулеткой и эккером.

На глаз определяют основания коротких перпендикуляров длиной не более 20 м при съемке в масштабе 1 : 10 000. В этом случае встают на линии хода лицом к снимаемой точке и вытягивают руки вдоль линии на уровне плеч. Затем руки быстро сводят перед собой; если наблюдатель правильно встал в основание перпендикуляра, руки должны указывать на снимаемую точку. При работе рулеткой, удерживая ее начало в снимаемой точке, путем проб находят самое короткое расстояние до линии хода. Эккером (прибором для построения прямых углов) находят на ходовой линии основания длинных перпендикуляров (рис. 56). Встав на линию (рис. 56, *б*), наблюдатель держит эккер на уровне глаз так, чтобы в его зеркале была видна одна из установленных на линии вех. Перемещаясь по линии, наблюдатель находит на ней точку  $C_1$ , в которой видимая в зеркало вежа находится на одной прямой, проходящей через глаз наблюдателя и снимаемый объект *C*.

Точки пересечения ходовой линии с дорогами, канавами, границами таксационных выделов и другими линейными объектами фиксируют непосредственно по ленте, т. е. снимают способом створов.

Способ полярных координат (см. рис. 55, б) применяют для съемки объектов на открытой местности. Положение снимаемой точки относительно пункта съемочного обоснования определяется расстоянием между ними и горизонтальным полярным углом, отсчитываемым от направления на ориентир по ходу часовой стрелки. За ориентир принимают заднюю точку хода. При буссольной съемке полярные углы отсчитывают и от магнитного меридиана. Расстояние до снимаемых объектов обычно измеряют дальномером. Ленту (рулетку), что характерно для буссольной съемки, применяют лишь для определения положения объектов, близко расположенных к точкам хода (станциям).

Способ угловых засечек (см. рис. 55, в) применяют при съемке труднодоступных объектов и контуров. Засекают объект не менее чем с трех пунктов съемочного обоснования. Лишь в случае, если можно измерить контрольный угол при определяемой точке, допускается засечка с двух пунктов. Углы при определяемой точке не должны быть меньше  $30^\circ$  и больше  $150^\circ$ . При буссольной съемке часто используют способ обратных угловых засечек — разновидность рассмотренного выше. В этом случае буссоль ставят в определяемой точке и измеряют азимуты направлений не менее чем на три станции хода. Затем переводят прямые азимуты в обратные и по ним наносят определяемую точку на план.

Способ линейных засечек (см. рис. 55, г) применяют для съемки отдельных объектов, расположенных вблизи точек и линий съемочной сети. Точки для засечек выбирают так, чтобы расстояние до них от станции выражалось целым числом метров.

Способ обхода (см. рис. 54) применяют для съемки площадных объектов внутри лесного массива (вырубок, гарей, полян, болот и пр.). Вблизи границ участка прокладывают съемочный ход, с линий и точек которого снимают ситуацию рассмотренными выше способами.

Часто сочетают разные способы съемки. Линии съемочных ходов выбирают так, чтобы в их створах размещалось как можно больше подлежащих съемке объектов.

При буссольной съемке ведут полевые документы — журнал и абрис. В полевом журнале записывают данные, полученные при проложении буссольных ходов: номера точек стояния, азимуты (румбы) и горизонтальные углы, длину линий хода и углы наклона их к горизонту. На абрисах схематически изображают контуры снимаемых объектов и записывают результаты линейных и угловых измерений (см. рис. 54 и 55).



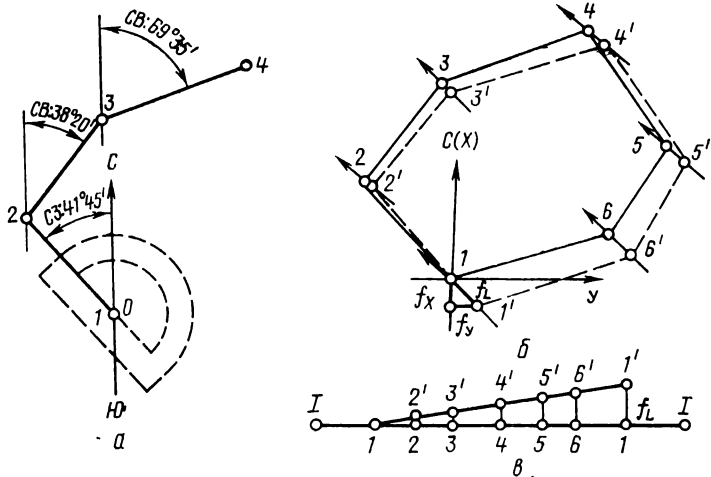


Рис. 57. Составление плана по материалам буссольной съемки:  
 а — построение точек буссольного хода; б, в — устранение линейной невязки

### § 30. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ПО МАТЕРИАЛАМ БУССОЛЬНОЙ СЪЕМКИ

План снятого участка местности составляют непосредственно на лесоустроительном планшете или на листе кальки с последующей перекопировкой ситуации на планшет. Построение углов и линий на планшете ведут от соответствующих точек съемочного обоснования, нанесенных на планшет по координатам. Прежде чем наносить на планшет линии буссольных ходов и направлений, определенных от магнитной стрелки, магнитные азимуты переводят в дирекционные углы, используя установленную формулой (2) зависимость между ними.

Если план составляют на кальке (рис. 57), предварительно проводят ряд параллельных линий, принимаемых за направление магнитного меридиана. Положение точки 1 на кальке (рис. 57, а) подбирают так, чтобы весь план расположился в пределах данного листа. Ее намечают на одной из вертикальных линий, например в точке  $O$ . От этого меридиана транспортиром откладывают угол, равный румбу первой линии, а от точки  $O$  — отрезок, равный длине линии 1—2 в масштабе плана. Так получают на плане точку 2, от нее строят следующую сторону хода, получая точку 3, и т. д.

Вследствие ошибок полевых измерений и камеральных построений конечная точка 1' может не совпадать с начальной точкой 1 (см. рис. 57, б). Это — линейная невязка  $f_L$ , допустимая, если ее длина не превышает  $(1/300)L$  ( $L$  — периметр хода). Допустимую невязку устраняют смещением всех точек по линиям, параллельным направлению невязки 1'—1. Вели-

чины смещения (поправок) определяют графическим способом. Для этого на вспомогательной прямой  $I-I$  (рис. 57, в) в произвольном масштабе откладывают линии  $1-2, 2-3, \dots, n-1$ . От крайней справа точки  $1$  строят перпендикуляр к линии  $I-I$  длиной  $1-1'$ ; точку  $1'$  соединяют с крайней левой точкой  $1$ . В точках  $2, 3, \dots, n$  проводят перпендикуляры к линии  $I-I$  до пересечения с наклонной  $1-1'$ . Длина этих перпендикуляров является поправкой в соответствующие точки. После введения поправок на плане вычерчивают сплошной линией буссольный ход.

Пользуясь абрисами, от точек и линий хода на план наносят ситуацию теми же способами, какими вели съемку контуров. Составленный в карандаше план проверяют в поле инструментально и глазомерным сличением плана с местностью. Пропущенные контуры доснимают. Проверенный в поле план вычерчивают тушью в точном соответствии с принятыми условными знаками.

## Контрольные вопросы

1. Какие величины измеряют буссолями и гониометром? 2. Как устроены буссоль БС-2 и гониометр? 3. Как определяют поправку направления буссоли? 4. Как прокладывают буссольный ход? 5. Какими способами снимают подробности местности? 6. Для чего используют эккер? 7. Как составляют план по данным буссольной съемки?

## Глава 7. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

### § 31. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Наиболее распространенный вид горизонтальной (контурной) съемки — теодолитная съемка. Ее выполняют теодолитом (угломерный геодезический прибор), землемерной лентой или оптическим дальномером, позволяющим создавать съемочное обоснование на обширных площадях, а также более точно и производительно снимать ситуацию, чем при буссольной съемке.

Предварительно проводят подготовительные работы: изучают район по картографическим, аэросъемочным и лесоустроительным материалам; составляют технический проект; выполняют рекогносцировку района; прорубают просеки и визиры с расстановкой лесоустроительных и других знаков. Затем ведут угловые и линейные измерения в целях определения планового положения точек съемочного обоснования и съемки подробностей местности. Наконец, выполняют камеральные вычислительные и графические работы, конечным итогом которых

является изготовление оригинала контурного плана местности, необходимого для составления лесоустроительных планшетов.

В зависимости от наличия и качества исходных материалов технологическая схема съемки может видоизменяться. Если есть карты и аэроснимки, теодолитной съемкой чаще всего снимают окружную границу лесного массива, что требуется для точного размежевания сельскохозяйственных и лесных угодий. Внутреннюю ситуацию переносят на планшеты с карт и аэроснимков. По сокращенной программе, заключающейся лишь в проложении теодолитных ходов, выполняют работы и при плановой привязке аэроснимков, используемых в качестве основы лесоустроительных планшетов. При отсутствии топографических карт подходящего масштаба и аэроснимков устраиваемый лесной массив снимают, выполняя все процессы технологической схемы.

## § 32. НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕОДОЛИТОВ

Теодолит предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов, а также расстояний. Он имеет горизонтальный и вертикальные круги с алидадами и зрительную трубу. При помощи буссоли теодолита можно измерять и магнитные азимуты линий. Для измерения горизонтального угла  $ABC$  (рис. 58, *а*) горизонтальный круг устанавливают так, чтобы его центр был совмещен с отвесной линией  $zz_1$ , проходящей через вершину  $B$  угла, а его плоскость занимала горизонтальное положение. Зрительную трубу вместе с алидадой последовательно наводят на точки  $A$  и  $C$  и снимают каждый раз отсчет по кругу. Разность отсчетов показывает величину поворота алидады, т. е. величину горизонтального угла  $\beta$ , равного двугранному углу, составленному вертикальными плоскостями  $P$  и  $Q$ , в которых лежат стороны  $BA$  и  $BC$  измеряемого угла.

При измерении вертикального угла  $CBC_1$  (рис. 58, *б*) зрительную трубу наводят на точку  $C$ , а алидаду вертикального круга по уровню приводят в горизонтальное положение. Вместе с трубой вращается наглухо прикрепленный к ней вертикальный круг. Допустив некоторое упрощение, можно принять, что нулевой отсчет круга отходит от горизонтальной линии  $OO_1$  на угол наклона  $\nu$ , величину которого и читают против нулевого штриха алидады.

В зависимости от того, из какого материала изготовлены угломерные круги, различают теодолиты со стеклянными кругами (оптические) и металлическими. Теодолиты со стеклянными и металлическими кругами точностью  $15-60''$  обычно относят к техническим.

В СССР в настоящее время изготавливают только оптические теодолиты — они более удобны в эксплуатации, легче и ком-

пактнее. В соответствии с ГОСТ 10529—79 в нашей стране выпускают шесть типов теодолитов: Т1, Т2, Т5, Т15, Т30 и Т60. Буква Т в шифре означает «теодолит», цифры — его точность (в секундах), которая характеризуется средней квадратической погрешностью 1-кратного (одним приемом) измерения угла в лабораторных условиях. Например, теодолитом Т1 измеряют углы одним приемом с погрешностью  $\pm 1''$ , а Т30  $\pm 30''$ .

На лесных съемках применяют в основном оптический теодолит Т30. В будущем возможно широкое использование портативного теодолита невысокой точности Т60, но в ближайшие годы будут использовать и теодолиты с металлическими кругами (ТТ-5, ТТ-50 и др.), поэтому ниже о них даны необходимые сведения.

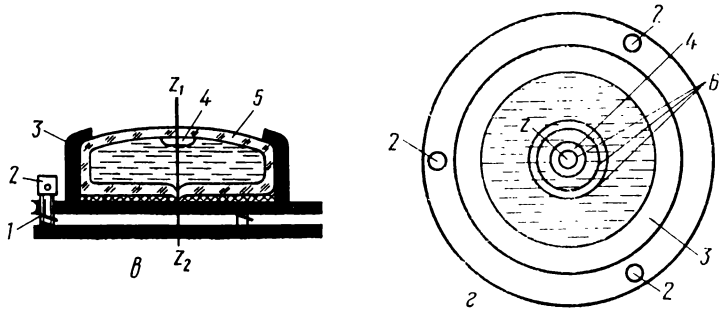
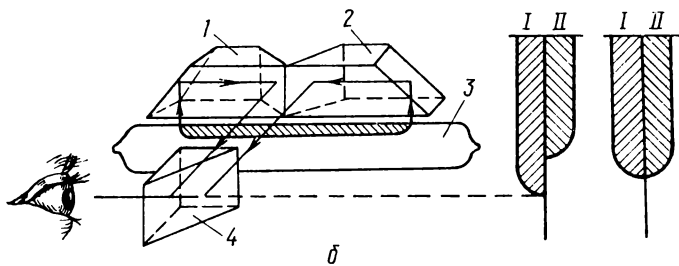
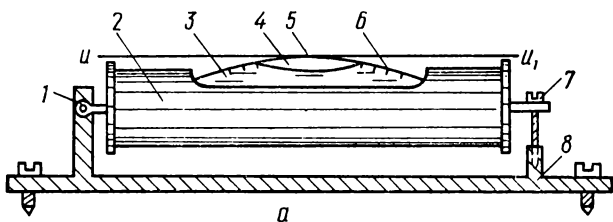
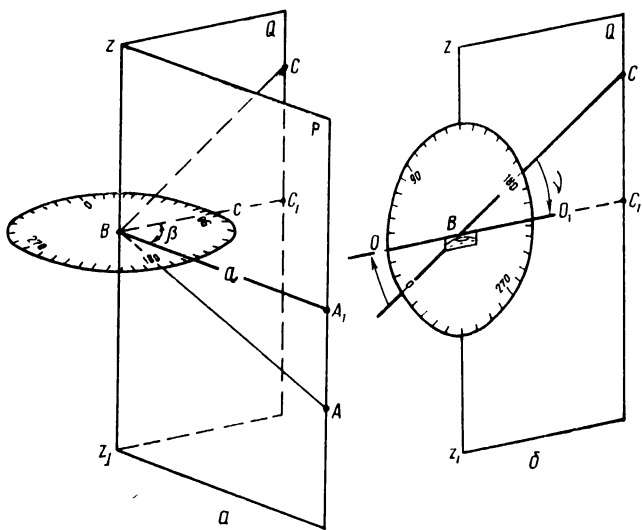
### § 33. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ

Важнейшие части теодолита — уровни, угломерные круги, отсчетные приспособления и зрительная труба.

**Уровни.** Ориентирование геодезического прибора и его отдельных частей относительно отвесной линии выполняют при помощи уровней. В зависимости от формы ампулы они бывают цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 59, а) представляет собой запаянную стеклянную ампулу, наполненную серным эфиром или спиртом так, чтобы в ней оставалось пространство с парами наполнителя — пузырек. Последний всегда стремится занять в ампуле наивысшее положение. Ампула закреплена в металлическую оправу с окном над средней частью, а оправа смонтирована на подставке или непосредственно на коже алидады так, что одна сторона удерживается шарниром, а другая — исправительным винтом. Такое крепление позволяет изменять наклон уровня относительно подставки.

Внутренняя поверхность ампулы отшлифована по дуге окружности, а на верхнюю ее поверхность нанесена шкала штрихов с интервалом через 2 мм. Угол между радиусами, проведенными через два соседних штриха, называют ценой деления уровня. Теодолиты имеют уровни с ценой деления 15—60". Среднюю точку ампулы называют нульпунктом, а касательную к внутренней ее поверхности, проходящую через нульпункт, — осью уровня. Последняя занимает горизонтальное положение тогда, когда пузырек располагается симметрично относительно нульпункта, т. е. приведен на середину. Наиболее точно приводится в нульпункт пузырек контактного уровня (рис. 59, б), на ампуле которого нет делений; для наблюдения за пузырьком над ней установлены призмы, передающие изображения половинок концов пузырька в поле зрения зрительной трубы. При наклоне оси уровня их изображения скользят в противоположные стороны. Действуя соответствующим винтом, наблюдатель



соединяет (приводит в контакт) обе половинки. В этот момент ось уровня занимает горизонтальное положение. Контактный уровень точнее обычного цилиндрического и более удобен в работе.

В круглом уровне (рис. 59, *в, г*) ампула расположена вертикально. Ось уровня, представляющая собой нормаль к внутренней поверхности ампулы в нульпункте, занимает отвесное положение, когда центр пузырька совмещен с нульпунктом. Положение оправы можно изменять на приборе исправительными винтами. На внешнюю поверхность ампулы также наносят деления через 2 мм в виде концентрических окружностей. Круглые уровни менее точные, чем цилиндрические, используют для предварительного приведения частей геодезических приборов в горизонтальное положение.

**Угломерные горизонтальные и вертикальные круги.** Рабочими мерами для угловых измерений в теодолитах служат металлические или стеклянные диски, края которых разделены радиальными штрихами на равные доли окружности. Промежуток между двумя соседними штрихами называют делением, а величину соответствующего ему центрального угла — ценой деления круга (лимба), которая в технических теодолитах бывает 10 и 20'. Для удобства отсчитывания градусные и полуградусные штрихи удлиняют, из них указывают кратные 1, 5 или 10°. На горизонтальных кругах надписи делений возрастают по ходу часовой стрелки.

**Отсчетные приспособления.** По стеклянным кругам технических теодолитов отсчет выполняют при помощи отсчетных микроскопов (штриховых и шкаловых), по металлическим — при помощи верньеров, рассматриваемых в лупы.

Отсчетный микроскоп расположен рядом с трубой теодолита. Лучи света, проходя через деления стеклянного угломерного круга (рис. 60, *а*) передают их рисунок через систему призм и линз микроскопа на плоскость *АВ*. Здесь их через окуляр рассматривает глаз наблюдателя. На плоскости изображения *АВ* штрихового микроскопа (рис. 60, *б*) нанесена вертикальная черта, видимая наблюдателю в поле зрения микроскопа вместе с изображением части угломерного круга. По расположению этой черты относительно штрихов круга делают отсчет, оценивая доли делений на глаз с точностью до 0,1 цены,

Рис. 58. Принципиальная схема измерения теодолитом углов:

*а* — горизонтального; *б* — вертикального

Рис. 59. Уровни:

*а* — цилиндрический: 1 — шарнир; 2 — оправка; 3 — ампула; 4 — пузырек; 5 — нульпункт шкалы; 6 — шкала штрихов; 7 — исправительный винт; 8 — подставка; 6 — контактный цилиндрический: 1, 2, 4 — призмы; 3 — ампула; 1, II — вид половинок концов пузырька в поле зрения зрительной трубы; *в, г* — круглый (вид сбоку и сверху); 1 — пружина;  $z_1, z_2$  — ось уровня; *z* — нульпункты; 2 — исправительный винт; 3 — оправка; 4 — пузырек; 5 — ампула; 6 — шкала

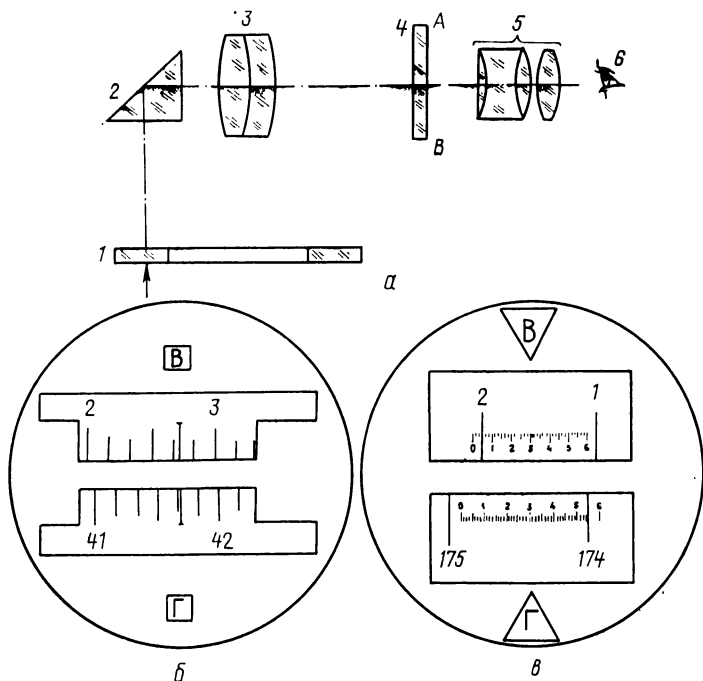


Рис. 60. Снятие отсчетов с кругов оптических теодолитов:

*a* — принципиальная схема оптического микроскопа: 1 — стеклянный круг; 2 — призма; 3 — объектив; 4 — стеклянная пластинка (плоскость изображения); 5 — окуляр; 6 — глаз наблюдателя; *б* — поле зрения штрихового микроскопа теодолита Т30 (отсчет по вертикальному кругу  $2^{\circ}43'$ , по горизонтальному  $41^{\circ}41'$ ); *в* — поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т5 (отсчет по вертикальному кругу  $2^{\circ}05,1'$ , по горизонтальному  $174^{\circ}55'$ )

в данном случае  $1'$ . На пластинку шкалового микроскопа (см. рис. 60, *в*) нанесена шкала штрихов, равная по длине изображению одного деления круга. В данном случае шкала состоит из 60 делений, а цена деления круга равна  $1^{\circ}$ . Оценивая на глаз десятые доли шкалы, наблюдатель получает отсчет с точностью до  $0,1'$ .

Верньеры теодолитов с металлическими кругами (рис. 61) устроены по тому же принципу, что и верньеры буссоли (см. § 28). Разница состоит в том, что, во-первых, их точность выше (для ТТ-5 и ТТ-50 она равна  $0,5'$ ), во-вторых, нулевой штрих верньера расположен на краю шкалы, в-третьих, над верньером установлена лупа. При расположении штрихов лимба и алидады, как на рис. 61, отсчет по кругу теодолита



Рис. 61. Верньер теодолита ТТ5

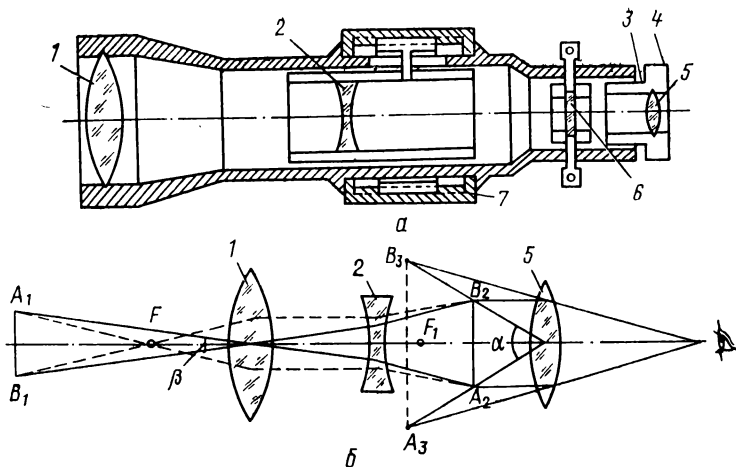


Рис. 62. Схемы зрительной трубы *a* и хода лучей в ней *б*:

1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3, 4 — окулярные трубочка и кольцо; 5 — окуляр; 6 — сетка нитей; 7 — кремальера;  $A_1B_1$  — объект;  $A_2B_2$  — обратное действительное изображение объекта в плоскости сетки нитей;  $A_3B_3$  — мнимое увеличенное изображение объекта;  $F, F_1$  — главные фокусы объектива и окуляра

ТТ-5 равен  $145^{\circ}23,5'$ . Чтобы исключить влияние на отсчет эксцентриситета алидады, на ней расположены два верньера — I и II: отсчитав круг по I, в журнал записывают градусы и минуты, а отсчитав по II — только минуты. В качестве среднего отсчета записывают градусы, прочитанные по первому верньеру и полусумму минут, отсчитанных по обоим верньерам. Правильность отсчетов контролируют по разности: отсчет градусов по II верньеру должен отличаться от отсчета по I на  $\pm 180^{\circ}$ , разность минут не должна превышать 2—3 точностей верньера.

При измерении углов техническими теодолитами со стеклянными кругами отсчет ведут только по одной стороне лимба. Неизбежное влияние эксцентриситета устраняют вместе с исключением некоторых других инструментальных погрешностей по результатам измерения угла двумя полуприемами (см. § 36).

**Зрительная труба.** Визируют на объекты и рассматривают их при помощи зрительной трубы. Она же служит дальномерным устройством. Во многих геодезических приборах используют трубы астрономические с обратным (перевернутым) изображением. Современные теодолиты стали изготовлять также с трубой прямого изображения. Труба геодезического прибора (рис. 62) является телескопической системой, состоящей из телеобъектива, сетки нитей и окуляра.

Телеобъектив имеет сложный объектив и фокусирующую линзу. В качестве последней служит двояковогнутая рассеивающая линза, расположенная в специальной трубочке. При помощи устройства, называемого кремальерой, эта линза пере-



мещается в корпусе трубы, удаляясь от объектива или приближаясь к нему. Перемещение необходимо для получения резкого контрастного изображения предмета в плоскости сетки нитей. Посредством телеобъектива осуществляется внутренняя фокусировка зрительной трубы.

Сетка нитей представляет собой стеклянную пластинку с нанесенными на нее двумя взаимно перпендикулярными штрихами; на сетках технических теодолитов имеются еще дальномерные штрихи для измерения расстояний по рейке (рис. 63). Вертикальный элемент сетки чаще всего имеет вид биссектора. Стеклянная пластинка с сеткой укреплена в диафрагме и вместе с ней может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Воображаемую прямую, соединяющую центр (перекрестие) сетки нитей с оптическим центром объектива, называют визирной осью трубы, а ее продолжение до наблюдаемого объекта — линией визирования или наведения. Навести трубу на предмет — значит совместить перекрестие сетки нитей с центральной точкой предмета.

Окуляр (см. рис. 62) предназначен для рассматривания уменьшенного, обратного и действительного изображения, построенного объективом. Выполняя роль лупы, он строит увеличенное, прямое и мнимое изображение, которое и видит глаз наблюдателя.

Перед наблюдениями трубу наводят на светлую поверхность и, вращая окулярное кольцо (см. рис. 62), добиваются четкой видимости сетки нитей. (Это действие, во время которого несколько перемещается окулярная трубочка в корпусе трубы, называют установкой трубы по глазу.) Затем ее наводят на первый наблюдаемый объект и, вращая кремальеру, фокусируют трубу т. е. добиваются четкой, резко очерченной видимости объекта. При наблюдении разноудаленных предметов каждый раз изменяют фокусировку. Установив трубу по глазу и предмету, проверяют, нет ли параллакса сетки нитей. Для этого перемещают глаз перед окуляром и наблюдают, не

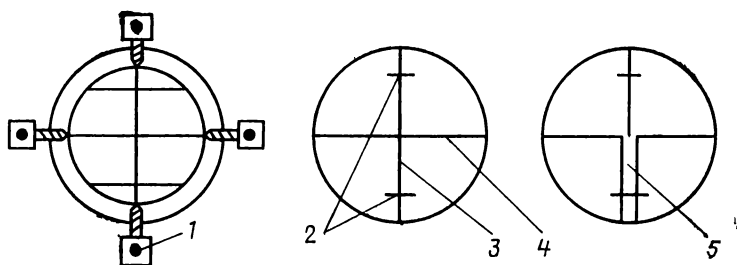


Рис. 63. Сетки нитей:

1 — исправительный винт; 2, 3, 4 — дальномерные, вертикальная и горизонтальная нити; 5 — биссектор

движется ли перекрестие сетки нитей по изображению объекта. Такое движение устраняют уточнением фокусировки.

Качество зрительной трубы характеризуется ее увеличением, полем зрения и точностью визирования. Увеличение  $v$  это отношение угла  $\alpha$ , под которым изображение предмета видно в трубу, к углу  $\beta$ , под которым он виден невооруженным глазом (см. рис. 62, б). Полем зрения называют часть пространства, видимую в трубу. Трубы теодолитов, применяемых на лесных съемках, имеют увеличение  $20-25^{\times}$ , а поле зрения  $1-2^{\circ}$ .

Точность визирования зрительной трубой тем выше, чем больше увеличение. Опытом установлено, что средняя квадратическая погрешность визирования трубой в  $v$  раз меньше, чем вооруженным глазом, и составляет для технических теодолитов не более  $2-3''$ , а при «помещении» точки визирования в биссектор сетки нитей — еще меньше.

#### § 34. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕОДОЛИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЛЕСНЫХ СЪЕМКАХ

**Оптический теодолит Т30.** Прибор предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов со средней квадратической погрешностью  $\pm 30''$  (одним приемом), расстояний с погрешностью  $1:300-1:400$  (нитяным дальномером) и  $1:1000$  (дальномерной насадкой). Им можно измерять магнитные азимуты, а также превышения горизонтальным лучом. В комплект теодолита могут входить ориентир-буссоль, уровень на трубу и дальномерная насадка. Конструкция Т30 (рис. 64), как и любого другого оптического теодолита, позволяет после наведения трубы на объект, не сходя с места, отсчитывать оба круга и наблюдать за установкой уровня. Это обеспечивает высокую производительность труда и устойчивость прибора на любом, в том числе и слабом, грунте.

Зрительная труба с увеличением  $20^{\times}$  фокусируется вращением барабана, расположенного на одной из колонок. Она снабжена оптическим визиром для приближенного наведения ее на объект. Трубу используют и для центрирования теодолита в качестве оптического центрира. Для этого ее устанавливают объективом вниз при отсчете вертикального круга  $270 \pm 2^{\circ}$ . Высота штатива при этом должна быть не менее  $1,2$  м. Круги разделены через  $10'$ . Их отсчитывают с точностью до  $1'$  через штриховой микроскоп, расположенный рядом с трубой. Освещают круги зеркалом, прикрепленным к колонке. Перед отсчитыванием наблюдатель устанавливает окуляр микроскопа по глазу вращением окулярного кольца.

Теодолит не имеет уровня при алидаде вертикального круга. Отсчитывают этот круг после тщательного приведения на середину пузырька уровня при алидаде горизонтального круга. Для

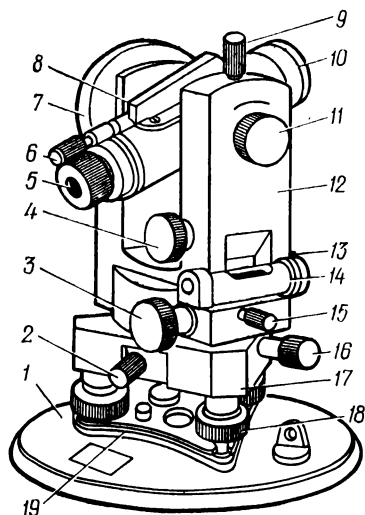


Рис. 64. Теодолит Т30:

1 — поддон футляра; 2, 16 — закрепительный и наводящий винты горизонтального круга; 3, 15 — наводящий и закрепительный винты алидады горизонтального круга; 4, 9 — наводящий и закрепительный винты трубы; 5 — окуляр трубы; 6 — окуляр микроскопа; 7 — кожух вертикального круга; 8 — оптический визир; 10 — объектив; 11 — фокусирующий барабан; 12 — колонка; 13 — исправительный винт уровня; 14 — уровень; 15 — наводящий и закрепительный винты алидады горизонтального круга; 16 — закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга; 17 — подставка; 18 — подъемный винт; 19 — пружинящие пластины

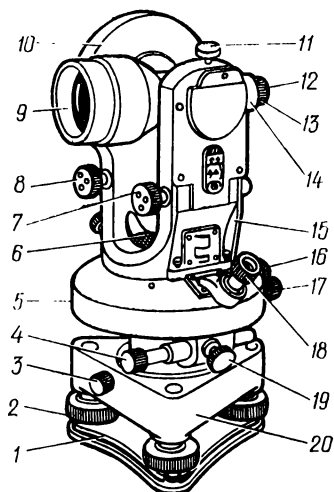


Рис. 65. Теодолит ТТ5:

1 — пружинящие пластины; 2 — подъемный винт; 3 — закрепительный винт подставки; 4, 19 — наводящий и закрепительный винты горизонтального круга; 5 — кожух, прикрывающий горизонтальный круг; 6 — уровень при алидаде горизонтального круга; 7, 11 — наводящий и закрепительный винты трубы; 8 — наводящий винт уровня при алидаде вертикального круга; 9 — объектив; 10 — кожух, прикрывающий вертикальный круг; 12 — окуляр; 13 — окулярное кольцо; 14 — кремальера; 15 — колонка; 16, 17 — закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга; 18 — лупа; 20 — подставка

фиксирования и точной наводки горизонтального круга, его алидады и трубы имеется три пары винтов: пару составляют закрепительный и наводящий винты. Подставка от теодолита не отделяется. Ее нижняя часть служит поддоном металлического футляра.

**Теодолиты с металлическими кругами.** Наиболее распространены теодолиты ТТ-5 (рис. 65) и ТТ-50. Это — повторительные теодолиты-тахеометры 30-секундной точности. Устройство их примерно одинаковое. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита ТТ-50 разделены через  $20'$ , а ТТ-5 — через  $10'$ . Их отсчитывают при помощи верньера. По сравнению с ТТ-50 теодолит ТТ-5 более компактен и легок. Его круги и оси надежно изолированы от пыли и влаги.

На базе ТТ-5 выпускались приборы: с уровнем при трубе — теодолиты-нивелиры ТН и с накладным уровнем — теодолиты-тахеометры проектировочные ТТП. Верхние (измерительные)

части этих приборов отделяются от подставок, что удобно для измерения углов в теодолитных ходах по 3-штативной системе. В подставках теодолитов (кроме ТТ-50) смонтированы оптические центры.

### § 35. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТОВ

Угломерный прибор дает правильные показания, если его оси и плоскости (рис. 66) занимают положение, соответствующее геометрическим и оптико-механическим условиям измерения углов; периодически соблюдение этих условий проверяют. Проверка прибора сопровождается его регулировкой (юстировкой). Юстировку выполняют при помощи исправительных и регулировочных винтов. Если нарушено взаимное расположение частей, не имеющих таких винтов, прибор исправляют в мастерской: разбирают и заменяют неисправные детали. Перед началом работы проверяют действие и таких частей, чтобы убедиться в их исправности или необходимости ремонта. Как правило, юстировка прибора не сразу дает необходимые результаты. Ее приходится повторять несколько раз и можно считать законченной лишь после того, как повторная поверка покажет, что условие выполняется в допустимых пределах.

**1. Ось цилиндрического уровня  $uu_1$  (см. рис. 66) при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна основной оси  $zz_1$  прибора.** Уровень ставят параллельно двум подъемным винтам и, действуя ими, выводят пузырек в нульпункт. Поворачивают алидаду на  $180^\circ$  и замечают положение пузырька. Если до поворота алидады ось уровня  $u_1u_2$  (рис. 67, а) была поставлена горизонтально, а основная ось  $zz_1$  занимала наклонное положение, то ось уровня отклонялась от перпендикуляра  $mn$  к основной оси на угол  $\beta$ . После поворота алидады ось  $zz_1$  занимает прежнее положение, а ось  $u_1u_2$  отклоняется от перпендикуляра  $mn$  на тот же угол  $\beta$ , но в противоположную сторону. Величина отклонения оси уровня от горизонтальной плоскости на угол  $2\beta$  фиксируется числом делений, на которое отошел от нульпункта пузырек уровня. Действуя исправительным винтом уровня, пузырек возвращают к нульпункту на половину отклонения, т. е. ставят ось уровня  $u_2u_1$  на линию  $mn$ . Затем подъемными винтами возвращают пузырек в нульпункт, тем самым ставят ось  $zz_1$  в отвесное положение.

**2. Вертикальная нить сетки должна лежать в отвесной плоскости.** В 20—25 м от теодолита вешают тяжелый отвес и наводят на его шнур вертикальную нить сетки. Если она полностью покрывает шнур, условие выполнено. Если же между шнуром и нитью образуется угол, его устраняют поворотом точного кольца, ослабив предварительно все четыре установочных винта УС сетки (см. рис. 66).

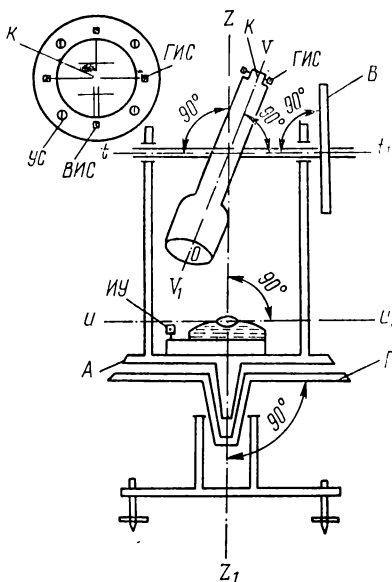
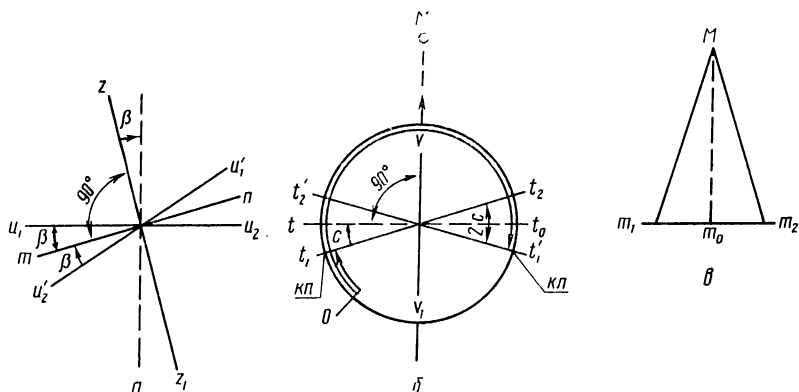


Рис. 66. Оси, плоскости и регулировочные винты теодолита:

$z z_1$  — основная (вертикальная) ось вращения прибора (алидады);  $t t_1$  — ось вращения зрительной трубы;  $v v_1$  — визирная ось трубы;  $u u_1$  — ось уровня при алидаде горизонтального круга;  $A$  — плоскость алидады горизонтального круга;  $\Gamma$  — плоскость вертикального круга;  $\kappa$  — центр (перекрестие) сетки нитей;  $УС$  — установочные винты сетки (4);  $ГИС$  — горизонтальные исправительные винты сетки (2);  $ВИС$  — вертикальные исправительные винты сетки (2);  $ИУ$  — исправительный винт уровня

Рис. 67. Проверка теодолита:

$a$  — проверка уровня;  $b$  — выявление коллимационной ошибки;  $в$  — проверка горизонтальности оси вращения трубы



3. Визирная ось  $v v_1$  (см. рис. 66) зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси  $t t_1$  ее вращения. Угол  $c$  (см. рис. 67, б), на который отклоняется визирная ось от перпендикуляра к оси вращения трубы, называют коллимационной ошибкой. Для выявления ее при положении вертикального круга справа от трубы наводят центр сетки нитей на ясно видимую и значительно удаленную точку местности  $M$ , расположенную примерно на одном уровне с осью вращения трубы, и снимают отсчет с неподвижного горизонтального круга по двум верньерам, вычисляя затем средний отсчет. Назовем его отсчетом  $КП$ . После этого трубу поворачивают в вертикальной плоскости на  $180^\circ$  (переводят через зенит) и при положении вертикального

круга слева от трубы вновь тщательно совмещают центр сетки нитей с точкой  $M$ , повторно снимают отсчет с горизонтального круга и получают отсчет  $KЛ$ . При отсутствии коллимационной ошибки отсчет  $KЛ$  равен отсчету  $KП \pm 180^\circ$ , так как они читаются на диаметрально противоположных частях лимба в точках  $t$  и  $t_0$ ; при наличии ошибки это равенство нарушается. Дуга на лимбе между точками отсчетов  $KЛ$  и  $KП \pm 180^\circ$  равняется двойной коллимационной ошибке ( $2c$ ). Поэтому  $c = [KЛ - (KП \pm 180^\circ)]/2$ .

Коллимационную ошибку у оптических теодолитов с односторонней системой отсчета выявляют так, чтобы исключить влияние эксцентриситета алидады. Для этого наблюдения проводят в два приема. Выполнив первый прием так же, как описано выше, и получив отсчеты  $KП_1$  и  $KЛ_1$ , отпускают винт, закрепляющий положение теодолита в подставке, и поворачивают в ней прибор примерно на  $180^\circ$ . После этого закрепляют теодолит в подставке и наблюдают точку  $M$  второй раз, получая новые отсчеты  $KП_2$  и  $KЛ_2$ . Величина коллимационной ошибки в этом случае

$$c = [(KЛ_1 - KП_1 \pm 180^\circ) + (KЛ_2 - KП_2 \pm 180^\circ)]/4.$$

Коллимационная ошибка считается допустимой, если она не превышает двойной точности отсчета ( $1'$  у теодолитов ТТ-5 и ТТ-50,  $2'$  у Т30). Если же ошибка больше, изменяют положение визирной оси в трубе путем смещения сетки нитей. Для этого сначала вычисляют отсчет  $KЛ'$ , свободный от коллимационной ошибки. Как видно из рис. 67, б, он равен  $KЛ' = KЛ - c$  или  $KЛ' = KП \pm 180^\circ + c$ . Вычисленный отсчет ставят на горизонтальном круге, действуя наводящим винтом алидады. При этом перекрестие сетки нитей смещается с точки  $M$ , тогда сетку перемещают так, чтобы оно вновь совпало с изображением точки  $M$ . Для этого ослабляют оба вертикальных винта сетки (ВИС на рис. 66) и, отвинчивая один из горизонтальных винтов (ГИС) и завинчивая другой, передвигают диафрагму с сеткой по горизонту. Добившись нужного результата, закрепляют вертикальные винты сетки и повторяют поверку.

4. **Ось  $tt_1$  вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна основной оси  $zz_1$  прибора (см. рис. 66).** Теодолит устанавливают в 20—30 м от стены высокого здания и тщательно нивелируют, наводят зрительную трубу при  $KП$  на хорошо заметную и высоко расположенную на стене точку  $M$  (см. рис. 67, в). При закрепленных винтах горизонтального круга и его алидады наклоняют трубу так, чтобы ее визирная ось стала примерно горизонтальной. Затем на стене отмечают проекцию центра сетки нитей, допустим точку  $m_1$ . Те же действия повторяют при  $KЛ$ , получая на стене точку  $m_2$ . Если условие выполняется, перекрестие сетки нитей в обоих случаях проектируется в точку  $m_0$ . Для устранения наклона оси вращения

зрительной трубы надо поднять или опустить один из ее концов, что делают в мастерской. Обычно такое исправление не выполняют, поскольку среднее значение угла, измеренного при *КП* и *КЛ*, свободно от влияния этой погрешности. Но если теодолит используют для контроля за соблюдением вертикальности инженерных сооружений при строительстве, то с помощью накладного уровня тщательно приводят в горизонтальное положение ось вращения трубы.

## § 36. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

**Приведение теодолита в рабочее положение.** На вершине измеряемого угла теодолит центрируют и нивелируют. Эти действия выполняют одновременно, последовательными приближениями. Передвижением и заглублением ножек штатива его головку ставят примерно горизонтально и так, чтобы центр отверстия в ней находился над вершиной угла. Теодолит перемещают по головке штатива и устанавливают острие отвеса над центром знака. После этого нивелируют прибор, действуя сначала двумя подъемными винтами, а затем, повернув алидаду на  $90^\circ$ , только третьим. После нивелирования уточняют центрировку и до отказа завинчивают становой винт. Если при этом середина пузырька уровня отошла от нуля, нивелировку подправляют, а затем проверяют точность ее выполнения. Поворачивая алидаду по азимуту, следят за изменением положения пузырька уровня. Если он отклоняется от середины ампулы не более чем на два деления, нивелирование выполнено правильно.

При необходимости вместе с измерением горизонтальных углов определять магнитные азимуты их сторон лимб ориентируют при помощи ориентир-буссоли. Ее привинчивают к колонке прибора и освобождают стрелку. Затем, совместив нули лимба и алидады, алидаду скрепляют с кругом и поворачивают его до тех пор, пока нулевые риски на коробке буссоли не встанут точно против концов магнитной стрелки. Дальнейшую работу при ориентированном лимбе выполняют только винтами алидады.

**Измерение угла способом приемов.** Для измерения отдельного угла (см. рис. 49, б) в его вершине *B* устанавливают теодолит, на точках *A* (правой) и *C* (левой) — вехи. (В теодолитном ходе точку *A* называют задней, а точку *C* — передней.) Открепив алидаду, наводят трубу на веху *A*, тщательно совмещают перекрестие сетки нитей с продольной осью вехи, закрепляют алидаду и снимают с круга отсчет. Аналогично наводят трубу на веху *C* и отсчитывают круг. При использовании теодолита с металлическими кругами отсчитывают сначала верньер I (градусы и минуты), а затем — II (только минуты, а градусы проверяют); из двух отсчетов вычисляют средний. Разность средних отсчетов дает величину измеряемого угла.

Если отсчет на заднюю точку меньше отсчета на переднюю, при вычислении угла к первому добавляют  $360^\circ$ . Это первый полуприем измерения угла. При его выполнении горизонтальный круг остается неподвижным.

Второй полуприем требуется, чтобы ослабить влияние инструментальных ошибок и внешних условий на результаты измерения и повысить их точность, проверить работу. Трубу переводят через зенит, а горизонтальный круг переставляют (поворачивают) примерно на  $90^\circ$  и вновь закрепляют. (При использовании теодолитов с односторонним отсчетом перестановка круга между полуприемами не допускается). Наводят трубу сначала на вежу *С* (переднюю, левую), а затем *А* (заднюю, правую). В первом и втором полуприемах алидаду вращают только по ходу часовой стрелки или только против хода часовой стрелки.

Отсчеты записывают в журнал (табл. 7) в последовательности, помеченной в скобках. Для повышения точности конечного результата угол измеряют несколькими приемами. При переходе от одного приема к другому круг переставляют на угол  $\sigma = 180^\circ/n$  ( $n$  — число приемов). В этом случае круг между полуприемами не переставляют. Угол измерен правильно, если расхождение между полуприемами не превышает  $2t$ , а между приемами  $1,5t$  ( $t$  — точность отсчитывания горизонтального круга).

**7. Записи и вычисления при измерении горизонтального угла теодолитом ТТ-5 способом приемов (пример)**

Станция	Полуприем	Точка визирования	Отсчеты по верньерам			Среднее из отсчетов	
			I		II	град	мин
			град	мин	мин		
2	КП	1	141	23,0 (1)	23,5 (2)	141	23,2 (3)
		3	19	10,0 (5)	10,5 (6)	19	10,2 (7)
	КЛ	1	52	56,0 (14)	57,0 (15)	52	56,5 (16)
		3	290	42,5 (11)	43,0 (12)	290	42,8 (13)

Продолжение

Станция	Полуприем	Точка визирования	Угол			Магнитный азимут	
			в полуприеме		в приеме	град	мин
			град	мин			
2	КП	1	122	13,0 (9)	—	141	23 (4)
		3	—	—	—	19	10 (8)
	КЛ	1	—	—	122° 13,4'	122	13 (10)
		3	122	13,7 (17)	(18)	—	—



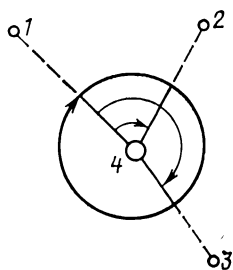


Рис. 68. Схема измерения углов способом круговых приемов:

1, 2, 3 — точки визирования; 4 — общая вершина углов

**Измерение углов способом круговых приемов.** Этот способ применяют в случае, когда из одной вершины исходит несколько направлений. Пусть, например, требуется измерить углы в точке 4 (рис. 68) между направлениями на точки 1, 2, и 3. При по-

ложении вертикального круга слева от трубы (*КЛ*) на горизонтальном круге устанавливают отсчет, близкий  $0^{\circ}0'$  и, действуя винтами круга, наводят перекрестие сетки нитей на точку, принятую за начальную, например 1. Затем последовательно наводят трубу при помощи винтов алидады, вращая ее по ходу часовой стрелки, на точки 2, 3 и снова 1. После каждого наведения читают и записывают отсчет (табл. 8). Это первый полуприем, в котором последний отсчет не должен отличаться от первого более чем на  $1'$ . Во втором полуприеме трубу, переведенную через зенит, наводят на точку 1, а затем, вращая алидаду против хода часовой стрелки, — последовательно на точки 3, 2, 1.

#### 8. Записи и вычисления при измерении горизонтальных углов теодолитом Т30 способом круговых приемов (пример)

Станция	Точка визирования	Полуприем	Отсчет		$2c = КЛ - (КП \pm 180^{\circ})$ , мин	Среднее из отсчетов		Направление	
			град	мин		град	мин	град	мин
4	1	КЛ	0	03 (1)	-1 (9)	0	03,0 (17)	0	00,0 (18)
		КП	180	04 (8)					
	2	КЛ	72	18 (2)	-2 (10)	72	19,0 (14)	72	16,0 (19)
		КП	252	20 (7)					
	3	КЛ	189	02 (3)	-1 (11)	189	02,5 (15)	188	59,5 (20)
		КП	9	03 (6)					
1	КЛ	0	02 (4)	-1 (12)	0	02,5 (16)	—	—	
	КП	180	03 (5)						

Для получения более точных результатов углы измеряют несколькими приемами.

Правильность измерений в приеме контролируют, определяя двойную коллимационную ошибку  $2c = КЛ - (КП \pm 180^{\circ})$ . Она должна иметь постоянный знак и не превышать по абсолютной величине  $1-2'$ . Измерения в приеме обрабатывают в следующем порядке. Вычисляют и записывают среднее из

отсчетов. В первой и последней строках этой графы окажутся два числа, полученные в результате обработки отсчетов на точку 1. Из этих чисел получают среднее, записывают его над первой строкой данной графы и выделяют. Из каждого среднего отсчета вычитают подчеркнутое число и полученные разности записывают в графу «направления». Таким образом вычисляют углы, имеющие общую сторону 4—1. Их называют направлениями. Если направления измеряли несколькими приемами, расхождение в их величинах, приведенных к общему нулю, должно быть не более 1'. Пользуясь двумя направлениями, легко вычислить составляемый ими угол. Например, между направлениями 4—3 и 4—2 лежит угол  $(188^{\circ}59,5' - 72^{\circ}16,0') = 116^{\circ}43,5'$ , а между направлениями 4—1 и 4—3 — угол  $(360^{\circ} - 188^{\circ}59,5') = 171^{\circ}00,5'$ .

**Погрешности измерения углов и способы их снижения.** На точность измерения углов влияют приборные погрешности, внешние условия, ошибки визирования и отсчета, неточности центрирования теодолита и установки вех.

Приборные погрешности выявляют и устраняют в процессе поверки и юстировки теодолита. Для ослабления их остаточного влияния применяют соответствующую методику измерений: отсчет по двум верньерам, измерение углов на разных частях лимба и при двух положениях трубы. Указанные выше допуски на расхождение результатов измерения углов в разных полуприемах установлены для исправного теодолита. Если расхождения больше допустимых, необходимо еще раз убедиться в правильности юстировки частей прибора и тщательности нивелирования горизонтального круга.

Отклонение от допусков может быть вызвано неблагоприятным влиянием внешних условий: неравномерным нагреванием прибора лучами солнца, неустойчивостью штатива, неоднородностью атмосферы, через которую проходит визирный луч. Чтобы прибор нагревался равномерно, его закрывают во время наблюдений зонтом, а в перерывах между наблюдениями — чехлом. Влияние неустойчивости штатива на результаты измерения углов ослабляют тщательным закреплением всех его винтов, вдавливанием ножек в грунт с достаточным усилием, а при работе на заболоченной местности — установкой ножек на колья, забитые в грунт. Чтобы исключить искривление визирного луча в атмосфере, нельзя допускать его прохождения слишком близко к местным предметам. Для наблюдений в лесу ширина визиров должна быть не менее 0,5 м.

Основные ошибки, возникающие при измерении угла: визирования  $m_v$  и отсчета  $m_o$ , наибольшее влияние оказывает последняя. Установлено, что при измерении угла одним приемом  $m_o = 0,3 t$ , а при двух приемах она может быть уменьшена в  $\sqrt{2}$  раз, т. е. не превышать  $\pm 7''$  для теодолита ТТ-5 и  $\pm 15''$  для Т30.

Неточности в центрировании теодолита и установке вех приводят к получению неверного результата измерения угла. Чтобы не допустить грубых ошибок, центрирование теодолита и установку вех выполняют с точностью до 1 см, умноженного на длину меньшей стороны, выраженную в сотнях метров. Если одна из сторон угла меньше 100 м, прибор центрируют оптическим центриром, а точку визирования обозначают не вехой, а шпилькой, входящей в комплект землемерной ленты.

### **§ 37. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛАНШЕТОВ МЕТОДОМ ПРОЛОЖЕНИЯ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ**

**Виды ходов и их проектирование.** По точности теодолитные ходы подразделяют на два разряда: 1 — относительная ошибка не грубее 1 : 2000, 2 — 1 : 1000. Независимо от разряда ходов предельные ошибки положения их вершин относительно пунктов государственной геодезической сети не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана на открытой местности и на застроенной территории и 0,3 мм — на местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью. Чтобы обеспечить такую точность, длина ходов между исходными пунктами не должна превышать определенной величины. В частности, при съемке в масштабе 1 : 5000 на открытой местности длина ходов 1-го разряда должна быть не больше 4 км, 2-го — 2 км, в лесу — 6 и 3 км соответственно. При съемках в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000 на любой местности допускается лишь прокладка ходов 1-го разряда длиной не более 8 и 20 км соответственно. Длина линий в теодолитных ходах не должна быть больше 350 м и меньше 20 м при съемках в масштабах 1 : 5000 и крупнее, больше 1000 м и меньше 100 м при 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Теодолитные ходы 1-го разряда обычно прокладывают по окружным границам, магистральным линиям и планшетным рамкам, 2-го — по основным ходовым линиям.

В зависимости от формы различают замкнутые и разомкнутые ходы, от способа привязки — опирающиеся на геодезические пункты и свободные (рис. 69). Между вершинами основных ходов можно прокладывать диагональные ходы. Прокладка ходов 3-го порядка, т. е. опирающихся на вершины диагональных ходов, не разрешается. Длина висячих ходов в залесенной местности не должна превышать 500 м при съемке в масштабе 1 : 5000 и 1000 м — при 1 : 10 000.

Пункты съемочного обоснования размещают на снимаемом участке равномерно — не менее одного (вместе с исходными) на каждом 1—2 дм<sup>2</sup> плана. Такая плотность точек съемочного обоснования обеспечивает необходимую точность проложения между ними съемочных ходов и нанесение на план предметов

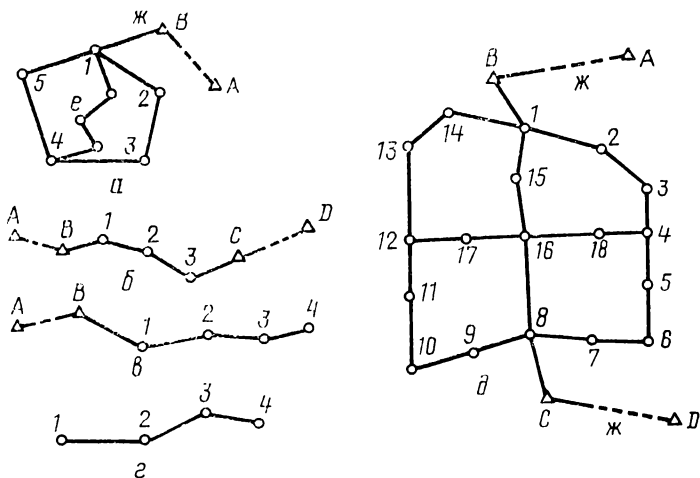


Рис. 69. Теодолитные ходы:

*а* — замкнутый; *б* — разомкнутый; *в* — висячий; *г* — свободный; *д* — система ходов с узловыми точками; *е* — диагональный; *ж* — привязочный; *A, B, C, D* — исходные геодезические пункты, 1—18 — точки ходов

и контуров местности с четкими очертаниями при средней ошибке не более 0,5 мм (в горных районах 0,7 мм).

Проект проложения ходов составляют на топографической карте наиболее крупного масштаба, а при ее отсутствии — на фотосхеме или глазомерном чертеже местности. На них намечают положение вершин и линий ходов и геодезические пункты, к которым ходы будут привязаны.

**Рекогносцировка.** Изучение района работ и уточнение технического проекта осуществляют непосредственно на местности. На лесоустроительных работах рекогносцировку ходов обычно совмещают с прорубкой квартальных и визирных линий и постановкой столбов; в других случаях съемки ее выполняют самостоятельно. Маршрут обхода (объезда) участка выбирают так, чтобы можно было ознакомиться со всеми намеченными в проекте трассами ходов, установить сохранность и состояние геодезических пунктов, изучить в деталях характер и особенности расположения объектов, подлежащих съемке.

Трассы ходов внутри лесного массива уточняют после прорубки квартальных и визирных линий. При необходимости их дополнительно расчищают для открытия видимости и обеспечения удобства измерения расстояний. Положение вершин ходов уточняют в процессе установки лесоустроительных столбов и временных знаков, которыми их закрепляют. Вершины хода должны быть удобными для установки теодолита и съемки окружающей местности, чтобы с них были видны соседние точки.

Результаты рекогносцировки фиксируют на карте (схеме) и в записной книжке, где показывают уточненное положение

вершин ходов с их номерами; примерную величину и способы измерения углов; приближенную длину сторон ходов с пометкой участков, расположенных на склонах крутизной более  $1,5^\circ$ ; стороны, подлежащие измерению косвенным способом, и базисы, разбиваемые для измерения этих сторон; способы съемки ситуации.

**Измерение горизонтальных углов.** На узловых станциях и исходных пунктах углы измеряют способом круговых приемов, на остальных — способом приемов. Прибор центрируют и нивелируют с установленной для этого точностью. Вехи ставят вертикально и в створе сторон угла, т. е. точно сзади или впереди центра знака. Обычно выполняют измерения одним приемом. Перекрестие сетки нитей наводят по возможности на низ вехи. Круг отсчитывают с точностью  $0,5'$  при работе теодолитами ТТ-5 и ТТ-50,  $1' — Т30$ . В первом полуприеме определяют магнитные азимуты сторон. Записи отсчетов и вычислений ведут в журнале установленной формы. Среднее из отсчетов и величину углов записывают с точностью до  $0,1'$ .

На каждой станции контролируют правильность измерений: а) вычисляют разность магнитных азимутов сторон угла и сравнивают ее с полученной величиной угла; при использовании ориентир-буссоли расхождение не должно превышать  $5'$ , буссоли с кругом —  $1^\circ$ ; б) сравнивают величины угла, полученные из полуприемов и приемов; при расхождениях более установленных допусков проверяют правильность вычислений, и, если ошибок нет, угол перемеряют, но предварительно проверяют, устойчив ли штатив, точно ли отnivelирован теодолит, зажат ли винт, соединяющий измерительную часть прибора с подставкой, однообразно ли выполнялось наведение трубы на объект.

Работу на станции заканчивают съемкой ситуации способом полярных координат. После окончания измерения всех углов в полигоне подсчитывают угловую невязку, которая не должна превышать  $\pm 1' \sqrt{n}$  ( $n$  — число углов в ходе).

**Измерение длины линий.** Применяют землемерные ленты и дальномеры двойного изображения. Расхождение расстояний из прямого и обратного измерений должно быть не более  $1 : 2000$  в ходах 1-го разряда и  $1 : 1000$  — 2-го. При больших расхождениях измерения повторяют. В измеренные расстояния вводят поправки за компарирование мерных приборов. К горизонту приводят линии с углом наклона более  $1,5^\circ$ . Углы наклона измеряют теодолитом одним приемом; наклон коротких участков линий — эклиметром. На сторонах длиннее 100 м предварительно ставят промежуточные вехи. Затем ленту укладывают на глаз, не допуская отклонения ее переднего конца от створа более чем на 20 см. Ее натягивают равномерно и с таким усилием, чтобы не было прогиба и провиса. Остаток сверх полной ленты отсчитывают с точностью до 1 см. В процессе измерения сторон

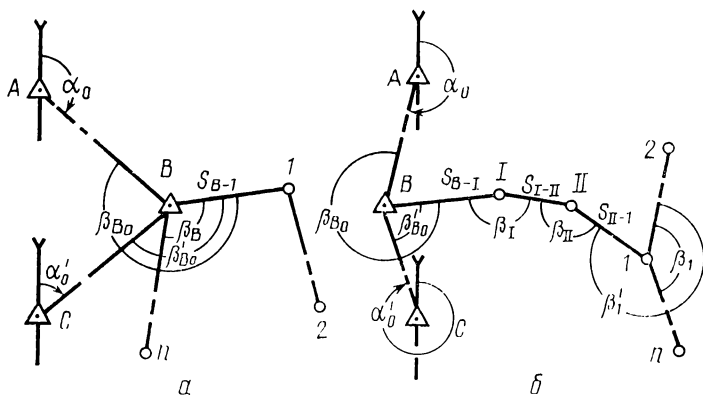


Рис. 70. Привязка теодолитных ходов к геодезическим пунктам (пример):  
*a* — включением пункта *B* в ход *1, 2, …, n*; *B*; *b* — проложением привязочного хода;  
*A, C* — ориентирные пункты

лентой с них снимают ситуацию. На ходовых линиях дополнительно ставят сотенные колья.

**Привязка теодолитного хода к исходным геодезическим пунктам.** Для ориентирования хода и определения координат его вершин в системе государственной геодезической сети дополнительно измеряют некоторые углы и расстояния (рис. 70). При включении геодезического пункта *B* (рис. 70, *a*) в теодолитный ход на нем кроме внутреннего угла  $\beta_B$  полигона измеряют примычный угол  $\beta_{B0}$ , составленный направлением на другой геодезический пункт *A* и начальной стороной хода. Для привязки хода к удаленному от него пункту (рис. 70, *b*) прокладывают привязочный ход; на исходном пункте *B* в нем измеряют примычный угол  $\beta_{B0}$ , на вершинах *I, II, …* — углы  $\beta_I, \beta_{II}, …, \beta_1$ , а также длину сторон *B—I, I—II, II—1*.

В целях контроля на исходном пункте обычно измеряют не один, а два примычных угла; полученный угол *ABC* не должен расходиться с его точным значением, вычисленным по дирекционным углам  $\alpha_0$  и  $\alpha'_0$ , более чем на  $1'$ . Свободный теодолитный ход чаще всего ориентируют по магнитной стрелке буссоли.

## § 38. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ МЕСТНОСТИ

Перечень объектов ситуации, подлежащих съемке, установлен соответствующими инструкциями (по устройству гослесфонда, топографическим съемкам) или техническими требованиями. Из элементов рельефа обычно снимают овраги, промоины, обрывы, ямы, насыпи, курганы. Их высоту (глубину) указывают относительно окружающей местности.

На лесной съемке при помощи приборов (инструментально) особенно тщательно определяют положение границ покрытых лесом площадей и расположенных в лесном массиве вырубок, прогалин, гарей, полян, редин, полей, лугов, садов, кустарников, огородов, болот, берегов рек, озер, прудов, дорог всех классов, а в малообжитых районах — и троп. Допускается спрямление изгибов контуров этих объектов в тех случаях, когда они отступают от прямой не более чем на 0,5 мм на плане. Нечеткие границы выделов внутри леса можно снимать полуинструментально и глазомерно.

Работу на точке (стороне хода) начинают с детального изучения примыкающего к ней участка. Его мысленно разделяют на составные элементы. Выявляют расположение искусственных сооружений (канав, дорог, плотин и др.), их назначение, взаимосвязь с естественными элементами местности. Затем намечают последовательность измерений на данной станции и соседних с ней. Такой порядок работы позволяет избежать пропусков при съемке главных объектов и излишних затрат времени и труда на съемку второстепенных, не показываемых на плане.

В процессе изучения участка составляют его абрис, который ведут в пикетажном журнале, прилагаемом к лесоустроительному планшету. На каждой странице журнала указывают номер квартала и положение в нем линий и точек, с которых ведут съемку. Обычно на странице журнала помещают чертеж участка, снятого с одной станции или линии. Однако при несложной ситуации, снимаемой способом обхода контура, на странице помещают все точки (линии) хода и снятые с них объекты. Такой чертеж приближенно ориентируют по сторонам горизонта, считая север вверху страницы. Составление абриса завершается определением на местности и показом на чертеже точек, положение которых находят при измерениях. Их число должно быть достаточным, чтобы без искажений изобразить границу объекта, но не слишком большим, не нужным для повышения точности и замедляющим полевые и камеральные работы. Наметив, таким образом, план измерений, приступают к их выполнению. Результаты указывают около соответствующих точек и линий абриса или в отдельной таблице (см. рис. 55).

Съемку с ходовых линий выполняют способами перпендикуляров, линейных засечек и створов. При съемке четких контуров в масштабе 1 : 10 000 и мельче расстояния отсчитывают с точностью до 1 дм, нечетких — до 1 м, а при съемке в более крупных масштабах — до 1 см и 1 дм соответственно. Съемкой с ходовой линии стремятся охватить по возможности широкую полосу примыкающей местности. Чтобы определить положение объектов, находящихся в стороне от ходовой линии, кроме способа перпендикуляров, применяют промеры по створам и визирным линиям, а также обмеры контуров и строений.

Съемку с точек съемочного обоснования выполняют полярным способом и угловыми засечками. Углы измеряют по ориентированному лимбу одним полуприемом, отсчитывая горизонтальный круг с округлением до  $5'$ . Расстояние до снимаемых точек определяют нитяным дальномером. Рейка может быть удалена от станции не дальше 100 м при определении положения четких контуров и 150 м — нечетких, если съемку ведут в масштабе  $1 : 5000$ ; при этом расстояние отсчитывают с округлением до 1 дм. При съемке в более мелких масштабах можно снимать контуры, удаленные на 200 и 300 м соответственно, а расстояния отсчитывать с округлением до 1 м.

В холмистых и горных районах для приведения к горизонту линий с углом наклона  $4^\circ$  и более измеряют вертикальные углы одним полуприемом при наведении средней горизонтальной нити на отсчет рейки, равный высоте теодолита. Участки местности внутри лесного массива, которые невозможно снять с точек и линий основного теодолитного хода, снимают рассмотренными выше способами со съемочных ходов, опирающихся на теодолитные ходы.

Съемочные ходы прокладывают по квартальным и визирным линиям, вблизи контуров полей, лугов, вырубков и других элементов внутренней ситуации. Измерения в них допустимо вести с пониженной точностью по сравнению с теодолитными ходами. Расстояния между точками хода измеряют нитяным дальномером в прямом и обратном направлениях, горизонтальные углы — одним полуприемом от нулевого деления круга, ориентированного по задней точке. На крутых склонах измеряют и углы наклона линий. Чтобы избежать грубых промахов, на точке выполняют контрольное измерение горизонтального угла между сторонами хода при другом положении вертикального круга.

В равнинных районах для проложения съемочных ходов и съемки ситуации полярным способом более удобны портативные нивелиры с горизонтальными кругами — Н-10Л и Н-10КЛ (см. гл. 8). Отсчет горизонтального круга нивелира можно сделать с точностью до  $0,1^\circ$ . Длина съемочного хода должна быть не больше половины длины теодолитного хода. Висячие ходы допускаются не более чем из трех точек. Угловая невязка съемочного хода, проложенного теодолитом, считается допустимой, если не превышает  $\pm 2'\sqrt{n}$ , нивелиром  $\pm 6'\sqrt{n}$ ; линейная невязка должна быть не хуже  $1 : 300$  периметра.

### § 39. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ВЕРШИН ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

Вначале проверяют полевой журнал: сличают записи, сделанные при измерении одной величины разными полуприемами и приемами; повторяют вычисления углов, длин сторон и при-





Вершина	Приращения координат, м				Координаты, м		Вершина
	вычисленные		исправленные		x	y	
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$			
1	7	8	9	10	11	12	13
1	+0,11	-0,11			<b>780,35</b>	<b>1341,59</b>	1
	+245,88	+240,43	+245,99	+240,32			
2	+0,10	-0,09			1026,34	1581,91	2
	-156,66	+228,73	-156,56	+228,64			
3	+0,10	-0,10			869,78	1810,55	3
	-288,45	+9,77	-288,35	+9,67			
4	+0,11	-0,11			581,43	1820,22	4
	-79,30	-324,80	-79,19	-324,91			
5	+0,11	-0,11			502,24	1485,31	5
	+278,00	-153,61	+278,11	-153,72			
1					<b>780,35</b>	<b>1341,59</b>	1
	+523,88	+478,93	0,00	0,00			
	-524,41	-478,41	$f_{абс} = \pm \sqrt{(0,53)^2 + (0,52)^2} = \pm 0,74$ м				
	$f_y = +0,52$		$f_{отн} = 0,74/1561,68 = 1/2100 < 1/2000$				

ведение их к горизонту; оценивают, не выходят ли за пределы допусков погрешности измерений. На последней странице журнала отмечают, кем и когда он проверен. По проведенным данным составляют схему ходов (рис. 71). На схему наносят исходные и определяемые пункты, записывают результаты угловых и линейных измерений, а также контрольных вычислений. Дальнейшие вычисления записывают в ведомости (табл. 9); порядок вычислений соответствует номерам ее граф. После заполнения граф 1 и 2 находят угловую невязку. В замкнутом теодолитном ходе ее вычисляют так же, как и в буссольном (см. § 29). Формулу вычисления угловой невязки разомкнутого хода (см. рис. 69, б) с правыми измеренными углами получим следующим путем. Имея исходные дирекционные углы  $\alpha_{AB} = \alpha_0$  и  $\alpha_{CD} = \alpha_n$  и вычислив последовательно дирекционные углы сторон хода по (5), получим

$$\alpha_1 = \alpha_0 + 180^\circ - \beta_B;$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_1 = \alpha_0 + 180^\circ \cdot 2 - (\beta_B + \beta_1);$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\alpha_n = \alpha_0 + 180^\circ n - (\beta_B + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{n-1} + \beta_C).$$

В последнем уравнении  $n$  — число углов хода, включая примычные;  $(\beta_B + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{n-1} + \beta_C) = \Sigma \beta_T$  — теоретическая сумма углов, которую из того же уравнения запишем

$$\Sigma \beta_T = 180^\circ n + (\alpha^0 - \alpha_n).$$

Следовательно,

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{пр}} - [180^{\circ}n - (\alpha_n - \alpha_0)]. \quad (30)$$

Допустимую угловую невязку устраняют путем введения во все углы хода одинаковых поправок  $\omega_{\beta} = -f_{\beta}/n$ , которые записывают в графе 2 над измеренными углами. (Допускается вводить в измеренные углы поправки так, чтобы исправленные углы выражались в целых минутах.)

Дирекционные углы сторон хода вычисляют по (5); от них при необходимости переходят к румбам. Приращения координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  определяют по (6) на электрических или электронных клавишных вычислительных машинах. Натуральные значения синусов и косинусов дирекционных углов (румбов) выбирают из таблиц тригонометрических функций, вычисленных до пятого знака. По вычисленным приращениям находят линейную невязку ходов  $f_L$  (см. § 30). При аналитическом определении положения точек хода, которое мы рассматриваем, получают не саму невязку, а ее проекции  $f_x$  и  $f_y$  на оси координат (см. рис. 57, б). Это — невязки в приращениях координат. Каждую из них находят как разность между суммой вычисленных (практически полученных) приращений и ее теоретическим значением.

Найдем теоретическое значение суммы приращений координат. Зная координаты начальной точки  $B(x_0, y_0)$  и конечной точки  $C(x_n, y_n)$  разомкнутого хода (см. рис. 69, б) и приняв измерения безошибочными, напишем уравнения для вычисления координат точек 1, 2, ...,  $n$  хода

$$x_1 = x_0 + \Delta x_1;$$

$$x_2 = x_1 + \Delta x_2 = x_0 + \Delta x_1 + \Delta x_2;$$

.....

$$x_n = x_0 + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_{n-1} + \Delta x_n = x_0 + \sum \Delta x_{\tau}.$$

Из последнего уравнения находим  $\sum \Delta x_{\tau} = x_n - x_0$ . Аналогично  $\sum \Delta y_{\tau} = y_n - y_0$ . Следовательно,

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x_{\text{пр}} - (x_n - x_0), \\ f_y &= \sum \Delta y_{\text{пр}} - (y_n - y_0). \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

В замкнутом ходе начальная точка (исходная) является и его конечной точкой, т. е.  $x_n - x_0 = 0$ ;  $y_n - y_0 = 0$ . Поэтому невязки в приращениях координат этого хода

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x_{\text{пр}}, \\ f_y &= \sum \Delta y_{\text{пр}}. \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

По невязкам приращений координат находят абсолютную линейную невязку. В соответствии с рис. 57, б для ее вычисления следует применить формулу

$$f_{\text{абс}} = + \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (33)$$

В добротности выполненных измерений убеждаются по относительной линейной невязке, вычисляемой по формуле

$$f_{\text{отн}} = f_{\text{абс}}/L, \quad (34)$$

где  $L$  — периметр хода.

Относительная невязка не должна превышать величину, установленную для хода данного разряда. Если невязка допустима, вычисленные приращения исправляют. Невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют так, чтобы поправки в приращениях были пропорциональны длине сторон со знаком, противоположным знаку невязки. Это правило обосновывается тем, что длинные стороны измеряются с большими погрешностями, чем короткие. Следовательно, вычисленные по ним приращения координат, какой бы величины они ни были, содержат большие ошибки, чем приращения, вычисленные по коротким сторонам. Поэтому и поправки в первые должны быть больше, чем во вторые. Поправки записывают в графах над соответствующим приращением. Алгебраически суммируя вычисленные приращения с соответствующими поправками, получают исправленные приращения и записывают их в графах 9 и 10 (табл. 9). По формуле (7) вычисляют координаты вершин хода.

#### § 40. УРАВНОВЕШИВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХ УЗЛОВУЮ ТОЧКУ

Математическую обработку системы теодолитных ходов, проложенных между различными исходными пунктами и сходящихся в одной или нескольких узловых точках, выполняют совместно. Ниже (табл. 10, 11) рассмотрен простейший случай уравновешивания системы теодолитных ходов, образующих одну узловую точку (рис. 72). Уравнены сначала углы, затем приращения координат. Используя измеренные углы, вычисляют дирекционный угол общего для всех ходов ориентирного направления  $KL$

$$\alpha_{KL_1} = \alpha_{01} + 180^\circ n_1 - \sum \beta_1;$$

$$\alpha_{KL_2} = \alpha_{02} + 180^\circ n_2 - \sum \beta_2;$$

• • • • •

$$\alpha_{KL_i} = \alpha_{0i} + 180^\circ n_i - \sum \beta_i,$$

где  $\alpha_{01}, \alpha_{02}, \dots, \alpha_{0i}$  — исходные дирекционные углы в 1, 2, ...,  $i$ -м ходах;  $n_1, n_2, \dots, n_i$  число вершин,  $\Sigma\beta_1, \Sigma\beta_2, \dots, \Sigma\beta_i$  — сумма измеренных правых углов в этих же ходах.

Расхождения между величинами  $\alpha_{KL}$  вычисленными из 1 и 2-го ходов, не должны превышать  $1' \sqrt{n_1 + n_2}$ , из 1 и 3-го ходов  $1' \sqrt{n_1 + n_3}$  и т. д. Вероятнейшее значение дирекционного угла вычисляют по правилам нахождения общего (всегового) арифметического среднего

$$\alpha_{KL} = \frac{\alpha_{KL_1} p_1 + \alpha_{KL_2} p_2 + \dots + \alpha_{KL_i} p_i}{p_1 + p_2 + \dots + p_i}.$$

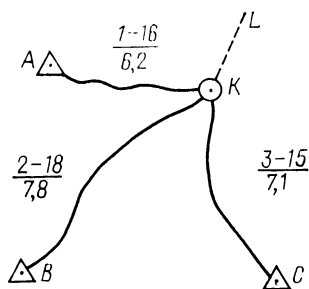


Рис. 72. Схема теодолитных ходов с узловым пунктом (пример) (в числителе — номер хода и число вершин в нем, в знаменателе — длина, км):

*A, B, C* — начальные пункты; *KL* — общее ориентированное направление

При решении данной задачи за вес принимают величину, обратно пропорциональную числу вершин в ходах, т. е.

$$p_1 = 1/n_1; \quad p_2 = 1/n_2, \dots, p_i = 1/n_i.$$

### 10. Уравнивание углов и оценка точности угловых измерений (пример)

Исходная и определяемая величины	Ход		
	1	2	3
Исходный дирекционный угол	176°33,2'	84°36,6'	264°36,1'
180° <i>n</i> ( <i>n</i> — число углов)	2160°00,0'	3240°00,0'	2700°00,0'
Сумма измеренных углов	2274°37,8'	3262°37,6'	2902°40,0'
Дирекционный угол направления <i>KL</i> , $\alpha_{KL}$	61°55,4'	61°59,0'	61°56,6'
Вес измерения углов $p_i = c/n$ ( $c = 18$ — число вершин в ходе 2)*	1,5	1,0	1,2
Произведение $p_i \alpha_{KL_i}$	92°53,1'	61°59,0'	74°19,9'
Уравненный дирекционный угол $\alpha_{KL}$	[ $p_i \alpha_{KL_i}$ ]/[ $p_i$ ] = 61°56,8' ± 1'		
Угловая невязка $f_{\beta_i}$ , мин	-1,4	+2,2	-0,2
Произведение $p_i f_{\beta_i}$ , мин	-2,1	+2,2	-0,24
Произведение $p_i f_{\beta_i}^2$	2,94	4,84	0,05
Средняя квадратическая погрешность единицы веса	$\mu = \pm \sqrt{[p_i f_{\beta_i}^2]/(r-1)} = \pm 2'$ , $r = 3$ (число ходов)		
Средняя квадратическая погрешность определения дирекционного угла $\alpha_{KL}$	$M = \mu / \sqrt{[p_i]} = \pm 2' / \sqrt{3,7} = \pm 1'$		

\* Коэффициент пропорциональности *c* (см. § 19) здесь выбран так, чтобы измерениям в ходе с самым большим числом вершин (в данном случае — 2-м), придать вес, равный единице. Вычисленная ниже средняя квадратическая погрешность единицы веса  $\mu$  характеризует точность получения дирекционного угла стороны *KL* в этом ходе. Из других ходов  $\alpha_{KL}$  получен точнее.

### 11. Уравнивание координат узловых точки и оценка точности линейных измерений (пример)

Исходная и определяемая величины	Ход		
	1	2	3
Абсцисса начальной точки хода, м	8443,56	918,21	1536,10
Сумма приращения абсцисс, м	-2464,62	+5064,19	+4443,93
Абсцисса $x_{K_i}$ конечной точки хода, м	5978,94	5982,40	5980,03
Ордината начальной точки хода, м	1336,52	1819,46	8319,98
Сумма приращений ординат, м	+4267,03	+3816,66	-2685,65
Ордината $y_{K_i}$ конечной точки хода, м	5603,55	5636,12	5634,33
Вес измерения линий $p_i=c/L_i$ $c$ — периметр самого длинного 2-го хода; $L_i$ — периметр $i$ -го хода	1,3	1,0	1,1
Произведение $p_i x_{K_i}$ , м	7772,62	5982,40	6578,03
Произведение $p_i y_{K_i}$ , м	7323,62	5636,12	6197,76
Уравненное значение абсциссы $x_K$ , м	$[x_{K_i} p_i] / [p_i] = 20.333,05 / 3,4 = 5980,31$		
Уравненное значение ординаты $y_K$ , м	$[y_{K_i} p_i] / [p_i] = 19.157,50 / 3,4 = 5634,56$		
Невязка $f_x$ в приращениях абсцисс, м	-1,37	+2,09	-0,28
Невязка $f_y$ в приращениях ординат, м	-1,01	+1,56	-0,23
Абсолютная линейная невязка хода $f_{абс}$ , м	±1,70	±2,61	+0,36
Относительная линейная невязка хода	1 : 3600	1 : 3000	1 : 20 000
Поправка в приращения $\Delta x$ на 100 м хода, см	+2,21	-2,68	+0,39
Поправка в приращения $\Delta y$ на 100 м хода, см	+1,63	-2,00	+0,32
Произведение $p_i f_{x_i}$ , м	-1,78	+2,09	-0,31
Произведение $p_i f_{x_i}^2$ , м <sup>2</sup>	2,4386	4,3681	0,0868
Средняя квадратическая погрешность единицы веса, допущенная при определении абсциссы $x_K$ , м	$\mu_x = \pm \sqrt{[p_i f_{x_i}^2] / (r-1)} = \pm 1,87$ $r = 3$ (число ходов)		
Средняя квадратическая погрешность определения абсциссы $x_K$ , м	$M_x = \mu_x / \sqrt{[p_i]} = \pm 1,87 / \sqrt{3,4} = \pm 1,02$		
Произведение $p_i f_{y_i}$ , м	-1,31	+1,56	-0,25
Произведение $p_i f_{y_i}^2$ , м <sup>2</sup>	1,3231	2,4336	0,0575
Средняя квадратическая погрешность единицы веса, допущенная при определении ординаты $y_K$ , м	$\mu_y = \sqrt{[p_i f_{y_i}^2] / (r-1)} = \pm 1,38$		
Средняя квадратическая погрешность определения ординаты $y_K$ , м	$M_y = \mu_y / \sqrt{[p_i]} = \pm 1,38 / \sqrt{3,4} = \pm 0,75$		



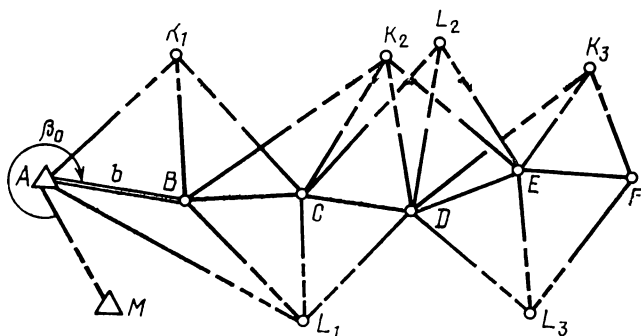


Рис. 73. Геодезические засечки:

$A, M$  — исходные пункты;  $B, C, D, E, F$  — определяемые точки;  $b$  — базис;  $\beta_0$  — примычный угол

вые работы по проложению геодезического хода с целью определения координат его точек включают измерение расстояния (базиса) между первым исходным пунктом и первой определяемой точкой, примычного угла на начальном пункте, углов на вершинах хода между его сторонами и направлениями на ориентирные пункты  $K_1, K_2, K_3$ . В качестве ориентирных пунктов используют высокие местные предметы или устанавливают вехи на деревьях, видимые с соседних точек хода.

Решая последовательно треугольники по теореме синусов, находят длину линий  $BC, CD, \dots, EF$ . Затем вычисляют дирекционные углы сторон хода, приращения координат и координаты искомых точек. Чтобы проверить правильность измерений и вычислений, в конце хода целесообразно иметь второй исходный геодезический пункт с примыкающим к нему базисом. Если это невозможно, предусматривают засечку ориентирных точек  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ . По угловым засечкам этих пунктов вторично вычисляют отрезки  $BC, CD, \dots, EF$ .

Для создания съемочного обоснования в лесу применяют

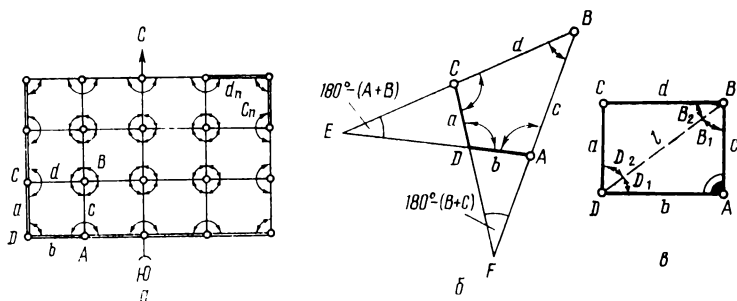


Рис. 74. Развитие съемочного обоснования способом четырехугольников без диагоналей:

$a$  — схема сети;  $б$  — к выводу формул вычисления сторон  $c$  и  $d$  в четырехугольнике с измеренными сторонами  $a$  и  $b$  и углами  $A, B, C, D$ ;  $в$  — к выводу формул вычисления углов в четырехугольнике с измеренными сторонами  $a, b, c, d$  и углом  $A$



и способ четырехугольников без диагоналей, предложенный И. В. Зубрицким (1901—1964 гг.). Точки съемочного обоснования совмещают с вершинами квартальной сети. В четырехугольниках измеряют все углы и некоторые стороны. В системе, показанной на рис. 74, а, достаточно измерить все расстояния между точками, расположенными на западной и южной границах массива, и для контроля стороны  $c_n$  и  $d_n$  в его северо-восточном углу; остальные стороны, начиная с  $c$  и  $d$  в юго-западном четырехугольнике (рис. 74, б) можно вычислить, исходя из следующих соображений. Продолжим все четыре стороны фигуры до пересечения их в точках  $E$  и  $F$ . Решая треугольник  $ABE$  по теореме синусов, находим

$$c = AE [\sin(A + B)] / \sin B = (DE + b) [\sin(A + B)] / \sin B. \quad (a)$$

Из треугольника  $CDE$  получаем

$$DE = a \sin C / \sin(A + B). \quad (б)$$

Подставив (б) в (а), находим

$$c = [a \sin C + b \sin(A + B)] / \sin B.$$

Аналогично из треугольников  $BCF$  и  $ADF$

$$d = [b \sin A + a \sin(B + C)] \sin B.$$

Наибольший интерес представляет случай, когда условия местности затрудняют измерение углов, а определение сторон в интересах проведения лесной таксации обязательно. Тогда в каждом четырехугольнике измеряют лишь один из углов, например  $A$  (рис. 74, в). Пользуясь им и длиной сторон, по теореме косинусов вычисляют диагональ  $l$  четырехугольника, а затем по теореме синусов — углы  $B_1$  и  $D_1$  треугольника  $ABD$ . Углы треугольника  $BCD$  вычисляют по трем его известным сторонам, используя формулы

$$\sin B_2 / a = \sin D_2 / d = \sin C / l = 1 / 2R,$$

где  $R = adc / 4P$ ;  $P = \sqrt{L(L-a)(L-d)(L-c)}$ ;  $P, L$  — площадь и периметр треугольника

Координаты точек вычисляют так же, как и в теодолитных ходах.

## § 42. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Результаты теодолитной съемки наносят на заблаговременно изготовленные планшеты с прямоугольной сеткой. При отсутствии сетки на планшете ее строят в полевых условиях металлическими линейками Ф. В. Дробышева или ЛБЛ.

Линейка Дробышева (рис. 75, а) предназначена для построения сетки со стороной квадрата 10 см. В ее полотне имеется 6 окон. Рабочий край каждого окна скошен и представ-

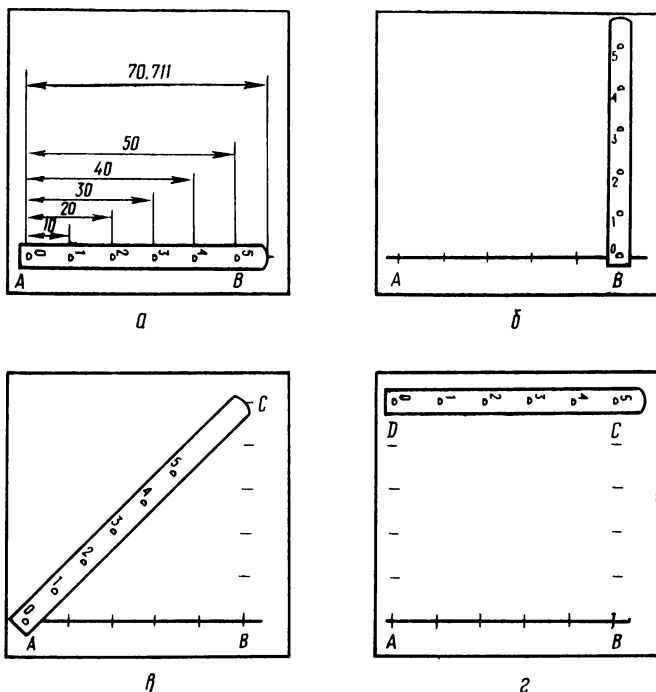


Рис. 75. Разбивка координатной сетки линейкой Ф. В. Дробышева:  
*а* — устройство линейки; *б, в* — построение линии *AB* и угла *C*; *г* — контрольное измерение

ляет собой дугу окружности радиуса, кратного 10 см. Центром окружностей является нульпункт линейки — точка пересечения скошенного края нулевого окна с продольной осью линейки. Расстояние от нульпункта до скошенного ребра на конце линейки равно 70,711 см (диагональ квадрата со стороной 50 см).

Порядок разбивки сетки этой линейкой следующий: на планшете проводят (рис. 75, б) прямую, примерно параллельную его краю; накладывают линейку на нее так, чтобы она проходила через метки, поставленные на продольной оси линейки; по скошенным краям крайних окон отмечают точки *A* и *B* вершины большого (50-сантиметрового) квадрата; из точек *B* и *A* последовательно откладывают сторону и диагональ этого квадрата так, чтобы они пересекались; в пересечении получают вершину *C* большого квадрата; аналогично находят вершину *D*; через окна в линейке разбивают стороны большого квадрата на отрезки по 10 см и проводят прямые через соответственные точки деления.

Линейка ЛБЛ устроена по принципу предыдущей, но она предназначена для разбивки сетки квадратов со стороной 8 см.

В описанном выше порядке строят большой квадрат со сторонами 32, 40 и 48 см (в зависимости от размеров будущего плана) и прочерчивают на его внешних сторонах через вырезы в корпусе линейки засечки через 8 см. С помощью штангенциркуля, входящего в комплект линейки, стороны большого квадрата можно разбить также на отрезки по 10 и 4 см.

Линии прямоугольной сетки подписывают, руководствуясь величинами координат точек съемочного обоснования. При оцифровке линий следят за тем, чтобы план размещался по возможности симметрично относительно сторон листа бумаги. Точки съемочного обоснования наносят на план по их координатам (см. § 8). Правильность накладки двух соседних точек проверяют по горизонтальному расстоянию между ними. Расхождение между расстояниями, измеренными на плане и на местности, должно быть не больше  $0,3 \text{ мм} \cdot M$  ( $M$  — знаменатель масштаба плана).

Контуры и объекты наносят на план способами, соответствующими способам их съемки; используют геодезический транспорт с графиком поперечного масштаба, выверенный треугольник, циркуль-измеритель, а также карандаши средней твердости (чтобы не мазать и не продавливать бумагу).

Составленный в карандаше план проверяют в поле, где оценивают полноту и точность съемки. Пропущенные контуры доснимают. Расхождения между расстояниями, взятыми с плана и полученными при контрольных промерах, не должны превышать 0,7 мм в масштабе плана. Проверенный в поле план вычерчивают тушью и оформляют по правилам, предусмотренным инструкциями по лесоустройству и топографическим съемкам.

## Контрольные вопросы

1. Назовите этапы и процессы теодолитной съемки.
2. Как устроен теодолит? Объясните принципиальную схему измерения углов этим прибором.
3. Для чего нужны уровни на геодезических приборах? Как они устроены?
4. Какие приборы применяют для отсчета стеклянных и металлических кругов теодолитов? Как эти приборы устроены?
5. Расскажите об устройстве зрительной трубы теодолита.
6. Как привести зрительную трубу в рабочее положение и как убедиться, что все действия выполнены правильно?
7. Дайте определение визирной оси зрительной трубы.
8. Как проверяют и исправляют уровень на алидаде горизонтального круга?
9. Объясните расположение в зрительной трубе сетки нитей и способы ее проверки.
10. Назовите требования к положению визирной оси зрительной трубы. Способы выявления и устранения коллимационной ошибки.
11. Как измеряют теодолитом отдельный горизонтальный угол и контролируют правильность измерений?
12. Каким способом измеряют углы на точках, из которых исходят 3 и более направлений?
13. Назовите точность центрирования теодолита и установки вех.
14. Какие требования учитывают при проектировании теодолитных ходов.

## Глава 8. ПРИБОРЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

### § 43. СУЩНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ НИВЕЛИРОВ

Высоту точек местности определяют измерением превышений  $h$  между ними (рис. 76). Зная высоту  $H_A$  начальной точки  $A$  над уровнем моря или какой-либо другой уровенной поверхностью  $MN$ , высоту  $H_B$  определяемой точки  $B$  находят по формуле

$$H_B = H_A + h. \quad (35)$$

Действия по определению превышений называют нивелированием. Наиболее точный метод — геометрическое нивелирование. Его выполняют нивелиром — геодезическим прибором с горизонтальным лучом визирования.

Геометрическое нивелирование ведут способом из середины (рис. 76, *a*). На начальной (задней) и определяемой (передней) точках ставят отвесно рейки с делениями, обозначенными снизу вверх. Между рейками ставят нивелир  $I$ . Его визирную ось приводят в горизонтальное положение и направляют последовательно по линиям  $Ia$  и  $Ib$ . В трубу нивелира отсчитывают на рейках отрезки  $Aa = Z$  и  $Vb = П$ , тогда  $h = Z - П$  (36), т. е. превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней рейке. Отметку точки  $B$  вычисляют также через высоту линии визирования, которую называют горизонтом инструмента  $ГИ$ ,

$$ГИ = H_A + Z \quad (37); \quad H_B = ГИ - П \quad (38)$$

В отдельных случаях применяют способ нивелирования вперед (рис. 76, *б*). На передней точке ставят рейку, на задней — нивелир. Приводят его визирную ось в горизонтальное положение и измеряют высоту инструмента  $i = Aa$ . В трубу читают на рейке отсчет  $Vb = П$ , тогда  $h = i - П$  (39), т. е. превращение равно высоте прибора минус отсчет (взгляд) вперед.

Если в нивелирном ходе последовательно измерить превышения между точками  $A$  и  $B$ ,  $B$  и  $C$ ,  $C$  и  $D$ , ...,  $K$  и  $L$ , то пре-

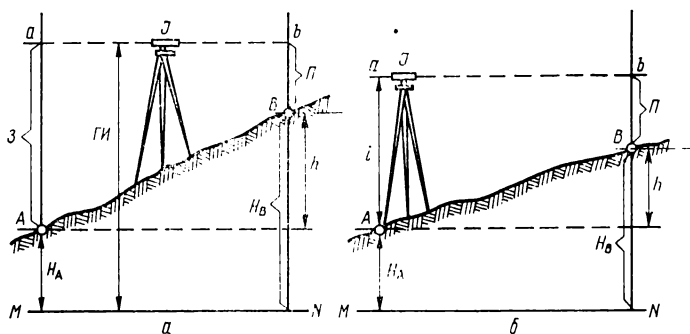


Рис. 76. Геометрическое нивелирование:

*a* — из середины; *б* — вперед

вышение между начальной и конечной точками хода равно сумме всех превышений, т. е.

$$h_{AL} = h_{AB} + h_{BC} + \dots + h_{KL}.$$

Нивелиры подразделяют на высокоточные, точные и технические. В каждую из этих групп входят нивелиры с цилиндрическими уровнями (для краткости в дальнейшем условимся называть их нивелирами с уровнями) и с компенсаторами. Визирную ось зрительной трубы нивелира с уровнем приводят в горизонтальное положение вручную. У нивелира с компенсатором она устанавливается автоматически под действием маятникового или оптического устройства компенсации углов наклона трубы. Точные и технические нивелиры бывают с горизонтальными кругами (лимбами) и без них.

Точность и конструктивные особенности нивелиров указывают в их названиях (шифрах). Нивелиры с уровнями имеют шифры: высокоточные Н-0,5; точные Н-3; технические Н-10 (Н — первая буква названия прибора; число показывает точность прибора — среднюю квадратическую погрешность превышения в миллиметрах, возникающую при двукратном измерении 1 км нивелирного хода). При обозначении нивелиров с компенсаторами добавляют К, а с лимбами — Л. Например, технический нивелир с компенсатором и лимбом Н-10КЛ, а с уровнем и лимбом Н-10Л.

На съемках и строительных работах в лесном хозяйстве применяют точные и технические нивелиры.

#### § 44. НИВЕЛИРЫ И НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ

Нивелир Н-3, как и НВ-1, имеет зрительную трубу, наглухо скрепленную с цилиндрическим уровнем, и подставку (рис. 77). Зрительная труба 30-кратного увеличения дает обратное изображение. Ее наводят на рейку сначала прибли-

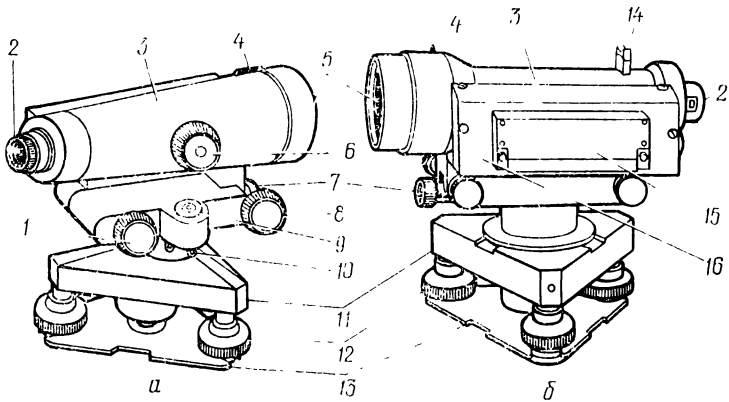


Рис. 77. Точные нивелиры с цилиндрическими уровнями:

*a* — Н-3; *б* — НВ-1; 1 — элевационный винт; 2 — окуляр; 3 — корпус зрительной трубы; 4 — мушка; 5 — объектив; 6 — головка кремальеры; 7, 8 — закрепительный и наводящий винты; 9 — круглый уровень; 10 — исправительные винты круглого уровня; 11 — подставка (треножник); 12 — подъемные винты; 13 — пружинящая пластина; 14 — целик; 15 — крышка коробки уровня с зеркалом; 16 — коробка с цилиндрическим уровнем

Рис. 78. Поле зрения трубы нивелира с уровнем

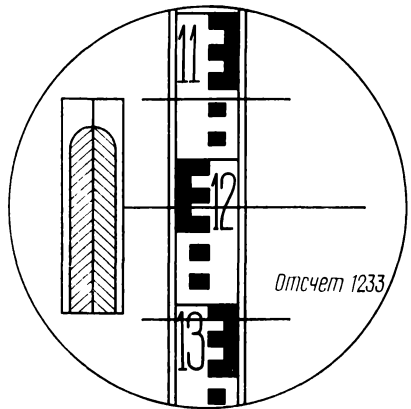
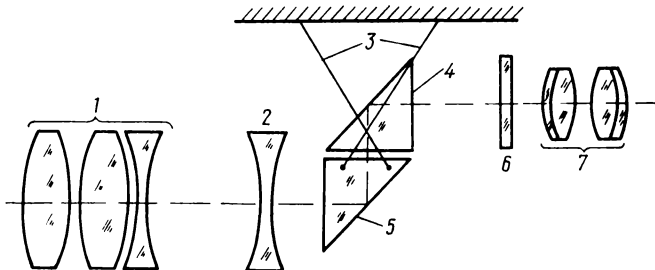


Рис. 79. Оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-3К (НС-4):

1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3 — нити; 4, 5 — неподвижная и подвижная линзы компенсатора; 6 — сетка нитей; 7 — окуляр



женно, визируя по мушке при отпущенном закрепительном винте, затем — точно с помощью наводящего винта, глядя в трубу. Приблизительно горизонтируют (нивелируют) прибор по круглому уровню, действуя подъемными винтами. Точно приводят луч визирования в горизонтальное положение при помощи

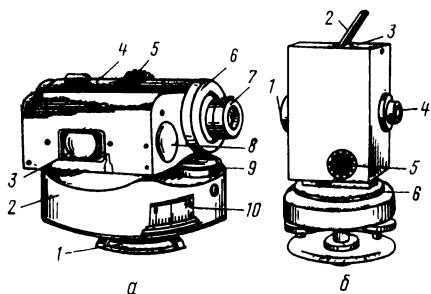


Рис. 80. Технические нивелиры:

*a* — Н-10Л: 1 — шаровая пята; 2 — кожух; 3 — цилиндрический уровень; 4 — зрительная труба; 5 — головка кремальеры; 6 — крышка установочных винтов сетки; 7 — окуляр; 8 — крышка исправительных винтов уровня; 9 — элевационный винт; 10 — горизонтальный круг; *б* — НТСК (Н-10КЛ): 1 — объектив; 2 — крышка установочного (круглого) уровня с зеркалом; 3 — круглый уровень; 4 — окуляр; 5 — головка фокусирующего устройства; 6 — горизонтальный круг

цилиндрического контактного уровня, действуя элевационным винтом. Наблюдатель отсчитывает рейку, видимую в поле зрения трубы (рис. 78) рядом с изображением уровня в тот момент, когда половинки концов пузырька пришли в контакт (см. § 33).

Нивелир Н-ЗК (НС-4) имеет компенсатор, помещенный в зрительной трубе между объективом и сеткой нитей (рис. 79). Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм: одна подвешена на двух парах тонких скрещивающихся стальных нитей, другая наглухо скреплена с корпусом трубы. При наклоне зрительной трубы на неболь-

шой угол (до  $\pm 15'$ ) подвижная призма наклоняется в противоположную сторону на угол, рассчитанный так, чтобы направить горизонтальный луч, идущий от рейки на высоте центра объектива, точно на перекрестие сетки нитей. Компенсатор начинает работать после приближенного горизонтирования нивелира по круглому уровню.

Нивелир Н-10 (рис. 80, *a*) как и НТ, имеет зрительную трубу с увеличением  $23\times$ , скрепленный с ней контактный цилиндрический уровень и горизонтальный круг. На рейку трубу наводят вручную. Роль подставки в нивелире выполняет шаровая пята. Наклоняя в ней прибор, его приближенно горизонтируют по круглому уровню. Точно приводят визирную ось трубы в горизонтальное положение элевационным винтом. Горизонтальный круг можно отсчитать с точностью до  $0,1^\circ$ .

Нивелир Н-10КЛ (рис. 80, *б*) с компенсатором, встроенным в трубу, имеет следующие особенности: зрительная труба дает прямое изображение; горизонтальный круг можно переставлять при помощи специального винта, что облегчает ориентирование лимба; для управления прибором имеется лишь одна рукоятка фокусировки зрительной трубы и перемещения подвижной линзы компенсатора.

Нивелирные рейки — деревянные бруски с обитыми железными пластинами концами (пятками). На рейки нанесены деления в виде шашек черного цвета на одной стороне, красного на другой. Счет делений ведут от нижней пятки. На черной стороне с ней совпадает ноль, на красной — отсчет 4687 или 4787 мм. Две рейки с разностью 100 мм в оцифровке пятки

красных сторон составляют один комплект. Для точного нивелирования используют рейки РН-3, при техническом нивелировании — РН-10 или РН-3.

Рейка РН-3 (рис. 81, а) имеет цену деления 1 см. Каждый ее дециметр оцифрован прямыми или перевернутыми цифрами. Изготавливают складные (длиной 3 и 4 м) и цельные (длиной 1,5 и 3 м) рейки. В шифр рейки включают ее характеристики. Например, РН-3П-3000С: РН — рейка нивелирная, 3 — для точных работ, П — нивелирами прямого изображения, 3000 — 3-метровая, С — складная.

Рейка СН-10 — 4-метровая, складная, шкала с прямой или перевернутой оцифровкой; цена деления черной стороны 2 и красной 5 см.

Во время работы рейки ставят на прочно забиваемые в грунт колья. Если не требуется закреплять на местности точки установки реек, при нивелировании их ставят на переносные металлические башмаки или костыли (рис. 81, б, в).

#### § 45. ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И РЕЕК

В нивелирах проверяют и при необходимости исправляют установку круглого уровня и сетки нитей, а также соблюдение основного условия геометрического нивелирования. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира; проверяют и исправляют так же, как и цилиндрический уровень теодолита. Вертикальная нить сетки должна лежать в отвесной плоскости; выполняют так же, как и соответствующую поверку теодолита.

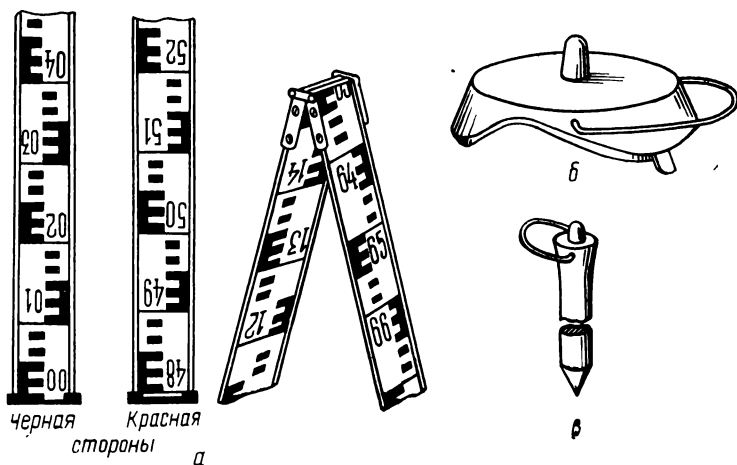


Рис. 81. Нивелирная рейка а, башмак б, костыль в



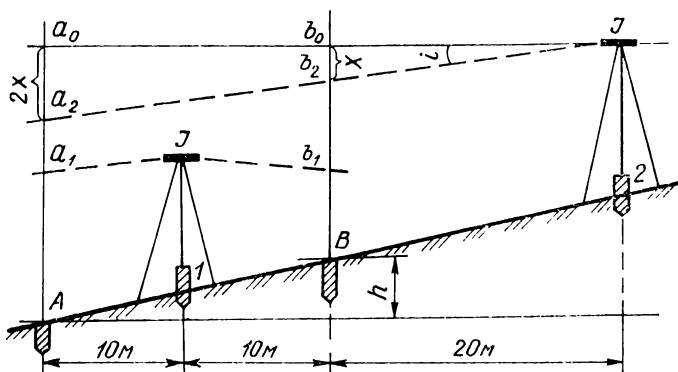


Рис. 82. Проверка горизонтальности визирной оси нивелира

Основное условие геометрического нивелирования состоит в том, что визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальна, а в нивелирах с цилиндрическими уровнями, кроме того, и параллельна оси уровня. Для проверки этого условия на ровном участке местности откладывают отрезок 40 м и разбивают его на 3 части так, как показано на рис. 82. На кольях в точках *A* и *B* ставят рейки, а над точками 1 и 2 последовательно устанавливают нивелир. Приведя визирную ось трубы нивелира в горизонтальное положение, читают отсчеты по черным сторонам рейки.

Пример. Пусть на станции 1 отсчетами будут  $a_1$  и  $b_1$ , на станции 2 —  $a_2$  и  $b_2$  (см. рис. 82).

Так как на станции 1 нивелир находится точно в середине отрезка *AB*, то при любом отклонении луча визирования от горизонтальной линии получают истинное значение превышения

$$h = a_1 - b_1. \quad (40)$$

Это же превышение можно получить по отсчетам  $a_0$  и  $b_0$  со станции 2, если визирный луч горизонтален,  $h = a_0 - b_0$  (41). Но поскольку он может отклоняться от горизонтального положения на угол  $i$ , то отсчеты  $a_0$  и  $b_0$  в общем случае отличаются от получаемых фактически на некоторые величины  $2x$  и  $x$  соответственно, т. е.

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= a_2 + 2x, \\ b_0 &= b_2 + x. \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

Подставив значения слагаемых (42) в (41), получим

$$h = (a_2 + 2x) - (b_2 + x). \quad (43)$$

Из равенств правых частей (40) и (43) находим

$$x = (a_1 - b_1) - (a_2 - b_2).$$

Если  $x \geq 4$  мм, основное условие геометрического нивелирования нарушено.

Для исправления основного условия по (42) вычисляют отсчеты  $a_0$  и  $b_0$

по рейкам *A* и *B*. В нивелире с уровнем ставят на отсчет  $a_0$  рейки *A* среднюю горизонтальную нить сетки, вращая элевационный винт. При этом нарушается контакт уровня, который восстанавливают исправительными винтами. В нивелире с компенсатором на отсчет  $a_0$  перемещают среднюю горизонтальную нить сетки, действуя ее исправительными винтами. Исправление окончено, если на рейке *B* читается отсчет  $b_0$ .

При проверке реек посредством контрольной линейки устанавливают, правильно ли разбиты на них деления. Метр рейки не должен отличаться от контрольной меры более чем на  $\pm 1,5$  мм, дециметр — на  $\pm 0,5$  мм. Рейки с большими погрешностями делений бракуют.

Для каждой рейки находят разность высот нулей реек. Рейку ставят последовательно на 4—6 колец разной высоты, забитых в 20—25 м от нивелира, и каждый раз отсчитывают черную и красную стороны, составляют их разности и вычисляют среднюю из них; по ним определяют разность высоты нулей пары реек, которая обычно бывает около 100 мм. На рейке, входящей в пару, пишут номер (1 или 2).

#### § 46. ПОГРЕШНОСТИ И ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Глазомерная оценка долей сантиметра по рейке, неточность показаний уровня (компенсатора), ограниченная разрешающая способность трубы, ошибки делений рейки — все это может внести в отсчет погрешность 2—3 мм, если расстояние (плечо) между нивелиром и рейкой составляет 100—120 м. Чтобы избежать грубой погрешности отсчета, нивелир тщательно юстируют, рейку отсчитывают в момент контакта половинок концов пузырька уровня, относят ее от нивелира не далее 150 м.

Стремясь направить луч визирования горизонтально, его отклоняют от уровенной поверхности, проходящей через трубу нивелира, на отрезок  $k$  (см. рис. 3). Следовательно, в отсчет вносится погрешность, вызываемая кривизной Земли. Правда, она несколько уменьшается потому, что лучи света в атмосфере несколько искривляются, как бы огибая Землю. Однако при величине плеча 100 м и более становится заметной ошибка в превышении из-за кривизны Земли и атмосферной рефракции. Но если рейки ставить на одинаковом расстоянии от нивелира, например в точках *B* и *D*, то погрешности за кривизну Земли и рефракцию, равные по абсолютной величине, но разные по знаку, компенсируются и не влияют на результаты нивелирования. В связи с этим лучше применять нивелирование из середины с допустимым неравенством плеч 5—10 м; нивелирование вперед — в исключительных случаях и только при длине плеча не более 100 м.

Рейка должна стоять вертикально; проседание ее устраняют установкой на колья или башмаки. Если на рейке уровень

отсутствует и отсчет более 1000 мм, ее покачивают в створе линии визирования и за правильный отсчет принимают самый малый из наблюдаемых.

Значительные ошибки в нивелировании могут вызвать внешние условия. Поэтому не рекомендуется вести работу при сильном ветре и значительных колебаниях изображения реек восходящими потоками воздуха. Высота визирного луча над грунтом или растительностью должна быть не меньше 0,2 м. От солнечных лучей нивелир защищают зонтом.

Устранить полностью влияние неблагоприятных условий на результаты нивелирования практически невозможно, но погрешности не должны быть грубыми. Для нивелировок разной точности рассчитаны нормы предельных допустимых погрешностей, выше которых результаты считаются грубыми и подлежат переделке. Так, для технического нивелирования установлены следующие допуски: расхождения в превышениях, определенных по черным и красным сторонам реек, не должны превышать 5 мм; невязки в нивелирных ходах должны быть не более  $\pm 50\sqrt{L}$  мм или  $\pm 10\sqrt{n}$  мм ( $L$  — длина хода, км;  $n$  — число станций в ходе).

## Контрольные вопросы

1. Назовите способы нивелирования; по каким формулам вычисляют превышения и высоты? 2. Как классифицируют нивелиры? Какие нивелиры применяют для решения технических задач? 3. Расскажите об устройстве нивелиров с уровнями и с компенсаторами. 4. Как устроены нивелирные рейки? Для чего деления на них нанесены с двух сторон? 5. Сформулируйте основное условие геометрического нивелирования; как проверяют соблюдение его в нивелирах и какие выполняют юстировки? 6. Назовите требования к точности технического нивелирования.

## Глава 9. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

### § 47. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТРАССЫ

Цель геодезических работ, которые выполняют при изысканиях линейных сооружений (лесохозяйственных и лесовозных дорог, осушительных каналов, лесных полос и др.), — обеспечение строительного проектирования данными о топографии местности в полосе расположения трассы. К ним относятся план, профиль, материалы топографической съемки, выполненные при геологических, гидрогеологических и других изысканиях. Предварительно выполняют камеральное трассирование, определяя наиболее целесообразное размещение вариантов трассы и выбирая лучший из них исходя из экономических показателей. Камеральное трассирование ведут по топографи-

ческим картам масштабов 1:10 000—1:50 000, а при их отсутствии — по карте масштаба 1:100 000, аэроснимкам или материалам предварительной съемки узких (до 300 м) полос местности — наиболее приемлемых вариантов трассы. Выбранный вариант трассы выносят на местность (см. гл. 13). По оси трассы ведут горизонтальную и вертикальную съемки способами проложения теодолитного и нивелирного ходов. С использованием материалов теодолитной съемки составляют план трассы, а по материалам продольного нивелирования — ее профиль.

До начала съемочных работ трассу закрепляют и провешивают. В начале ее и в углах поворота в землю забивают прочные кольца, а в их торцы — гвозди. Чтобы кольца легко можно было отыскать при строительстве, рядом с ними ставят столбы. Если начало трассы не привязано к геодезическому пункту или постоянному местному предмету, его закрепляют двумя парами столбов, располагая их так, чтобы прямые, соединяющие пары, пересекались над закрепленной точкой. Около угла поворота ставят обычно один столб. Его размещают вне зоны будущих земляных работ, на биссектрисе внешнего угла, составленного смежными направлениями трассы. Длина столбов должна быть не менее 2 м, из них 1,2—1,5 м — в земле. На угловом столбе краской пишут номер и пикетажное значение вершины угла (ВУ), направление поворота (вправо или влево), величину угла, радиус кривой, год изысканий и организацию-исполнителя. На абрисе указывают с точностью до 1 см расстояние от кола до столба и от столба до двух-трех местных предметов. Трассу обозначают вехами, устанавливаемыми через 1—1,5 км. Каждое направление перед измерением длины линий провешивают через 100—150 м. В лесу ставят короткие вехи с зачищенными сверху концами.

До начала нивелирования вдоль трассы вне зоны земляных работ устанавливают временные и постоянные реперы. Временные размещают через каждые 3—5 км, в горах через 1—2 км. Обычно это — деревянные столбы, забиваемые в стены зданий костыли, прочные пни, выступы сооружений, неподвижные камни и выступы скал (см. рис. 34). В особых случаях через каждые 15—20 км выставляют постоянные грунтовые и стенные реперы.

#### **§ 48. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЪЕМКА ТРАССЫ И РАЗБИВКА ПИКЕТАЖА**

**Проложение теодолитного хода.** При определении планового положения трассы по ее оси прокладывают теодолитный ход, измеряя углы между смежными участками трассы, а также их длину. Горизонтальные углы  $\beta$  (рис. 83) измеряют теодолитом одним приемом с точностью до  $\pm 0,5'$ . Правильность их

отсутствует и отсчет более 1000 мм, ее покачивают в створе линии визирования и за правильный отсчет принимают самый малый из наблюдаемых.

Значительные ошибки в нивелировании могут вызвать внешние условия. Поэтому не рекомендуется вести работу при сильном ветре и значительных колебаниях изображения реек восходящими потоками воздуха. Высота визирного луча над грунтом или растительностью должна быть не меньше 0,2 м. От солнечных лучей нивелир защищают зонтом.

Устранить полностью влияние неблагоприятных условий на результаты нивелирования практически невозможно, но погрешности не должны быть грубыми. Для нивелировок разной точности рассчитаны нормы предельных допустимых погрешностей, выше которых результаты считаются грубыми и подлежат переделке. Так, для технического нивелирования установлены следующие допуски: расхождения в превышениях, определенных по черным и красным сторонам реек, не должны превышать 5 мм; невязки в нивелирных ходах должны быть не более  $\pm 50\sqrt{L}$  мм или  $\pm 10\sqrt{n}$  мм ( $L$  — длина хода, км;  $n$  — число станций в ходе).

## Контрольные вопросы

1. Назовите способы нивелирования; по каким формулам вычисляют превышения и высоты? 2. Как классифицируют нивелиры? Какие нивелиры применяют для решения технических задач? 3. Расскажите об устройстве нивелиров с уровнями и с компенсаторами. 4. Как устроены нивелирные рейки? Для чего деления на них нанесены с двух сторон? 5. Сформулируйте основное условие геометрического нивелирования; как проверяют соблюдение его в нивелирах и какие выполняют юстировки? 6. Назовите требования к точности технического нивелирования.

## Глава 9. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

### § 47. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ТРАССЫ

Цель геодезических работ, которые выполняют при изысканиях линейных сооружений (лесохозяйственных и лесовозных дорог, осушительных каналов, лесных полос и др.), — обеспечение строительного проектирования данными о топографии местности в полосе расположения трассы. К ним относятся план, профиль, материалы топографической съемки, выполненные при геологических, гидрогеологических и других изысканиях. Предварительно выполняют камеральное трассирование, определяя наиболее целесообразное размещение вариантов трассы и выбирая лучший из них исходя из экономических показателей. Камеральное трассирование ведут по топографи-

ческим картам масштабов 1:10 000—1:50 000, а при их отсутствии — по карте масштаба 1:100 000, аэроснимкам или материалам предварительной съемки узких (до 300 м) полос местности — наиболее приемлемых вариантов трассы. Выбранный вариант трассы выносят на местность (см. гл. 13). По оси трассы ведут горизонтальную и вертикальную съемки способами проложения теодолитного и нивелирного ходов. С использованием материалов теодолитной съемки составляют план трассы, а по материалам продольного нивелирования — ее профиль.

До начала съемочных работ трассу закрепляют и провешивают. В начале ее и в углах поворота в землю забивают прочные кольца, а в их торцы — гвозди. Чтобы кольца легко можно было отыскать при строительстве, рядом с ними ставят столбы. Если начало трассы не привязано к геодезическому пункту или постоянному местному предмету, его закрепляют двумя парами столбов, располагая их так, чтобы прямые, соединяющие пары, пересекались над закрепленной точкой. Около угла поворота ставят обычно один столб. Его размещают вне зоны будущих земляных работ, на биссектрисе внешнего угла, составленного смежными направлениями трассы. Длина столбов должна быть не менее 2 м, из них 1,2—1,5 м — в земле. На угловом столбе краской пишут номер и пикетажное значение вершины угла (ВУ), направление поворота (вправо или влево), величину угла, радиус кривой, год изысканий и организацию-исполнителя. На абрисе указывают с точностью до 1 см расстояние от кола до столба и от столба до двух-трех местных предметов. Трассу обозначают вехами, устанавливаемыми через 1—1,5 км. Каждое направление перед измерением длины линий провешивают через 100—150 м. В лесу ставят короткие вехи с зачищенными сверху концами.

До начала нивелирования вдоль трассы вне зоны земляных работ устанавливают временные и постоянные реперы. Временные размещают через каждые 3—5 км, в горах через 1—2 км. Обычно это — деревянные столбы, забиваемые в стены зданий костыли, прочные пни, выступы сооружений, неподвижные камни и выступы скал (см. рис. 34). В особых случаях через каждые 15—20 км выставляют постоянные грунтовые и стенные реперы.

#### **§ 48. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЪЕМКА ТРАССЫ И РАЗБИВКА ПИКЕТАЖА**

**Проложение теодолитного хода.** При определении планового положения трассы по ее оси прокладывают теодолитный ход, измеряя углы между смежными участками трассы, а также их длину. Горизонтальные углы  $\beta$  (рис. 83) измеряют теодолитом одним приемом с точностью до  $\pm 0,5'$ . Правильность их

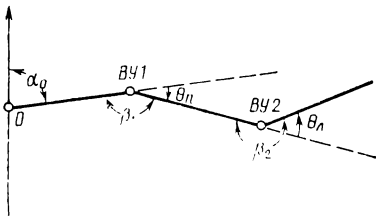
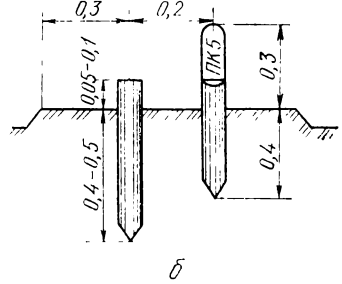
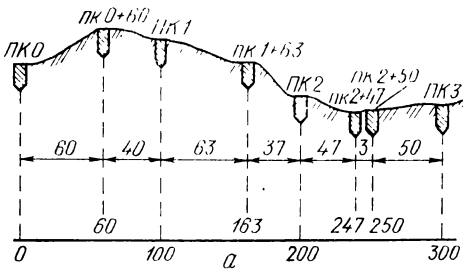


Рис. 83. Углы поворота трассы:

$\theta_n, \theta_l$  правый и левый;  $O$  — начало трассы;  $ВУ1, ВУ2$  — вершины углов поворота;  $\alpha_0$  — дирекционный угол первого прямого участка;  $\beta_1, \beta_2$  — углы между смежными направлениями

Рис. 84. Разбивка трассы на пикеты (расстояния по оси трассы и размеры колев указаны в метрах):

$a$  — нумерация;  $b$  — закрепление



измерения грубо контролируют по разности магнитных азимутов (румов) направлений, определяемых при измерении углов. Расстояния измеряют землемерными лентами или дальномерами двойного изображения в одном направлении. Правильность измерений контролируют при разбивке пикетажа. Участки с наклоном  $15^\circ$  и более приводят к горизонту. По результатам измерения горизонтальных углов вычисляют углы  $\theta$  поворота трассы. Углом поворота называют угол, составленный продолжением предыдущего направления трассы и последующим ее направлением. Если измеряют правые по ходу горизонтальные углы  $\beta$ , то углы поворота вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} \theta_n &= 180^\circ - \beta, \\ \theta_l &= \beta - 180^\circ. \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Дирекционный угол  $\alpha$  начальной линии трассы определяют из геодезических измерений. Дирекционные углы последующих сторон, как это видно из чертежа, вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{\text{послед}} &= \alpha_{\text{пред}} + \theta_n, \\ \alpha_{\text{послед}} &= \alpha_{\text{пред}} - \theta_l. \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

**Пикеты и плюсовые точки.** При повторном измерении линий трассу разбивают на пикеты — отрезки длиной 100 м по горизонтальному проложению (рис. 84, а). Концы 100-метровых отрезков, называемых также пикетами, нумеруют порядковыми числами 0, 1, 2 и т. д. Нулевой пикет (ПК0) ставят в начале трассы, в конце первой сотни метров ПК1, второй

ПК2 и т. д. При такой системе обозначения номер пикета указывает на его удаление (в сотнях метров) от начала трассы. Перегибы линий рельефа закрепляют на трассе плюсовыми точками. Такую точку обозначают номером предыдущего пикета с добавлением расстояния (в целых метрах) от этого пикета до нее, например ПК0+60, ПК1+63 и т. д. Каждую пикетную и плюсовую точку закрепляют колом, забиваемым почти вровень с землей. Рядом с ним ставят другой кол—сторожок (рис. 84, б) и на затесе пишут номер точки. Точку окапывают канавкой. Откладывают пикеты землемерной лентой. В длину наклонных участков добавляют поправки, вычисляемые по (24).

**Поперечники.** На участках с косогородами, лощинами и т. п., когда требуются данные о рельефе не только по оси трассы, но и в некоторой полосе, разбивают поперечники—линии, перпендикулярные оси трассы. Их длина в обе стороны от оси может составлять 20—50 м. На каждой из сторон поперечника сторожками отмечают 3—4 характерные точки рельефа, расположенные на разном расстоянии от трассы. Поперечники нумеруют по порядку, начиная с нулевого; всем точкам, расположенным справа по ходу, присваивают нечетные номера, слева—четные, или пишут буквы П и Л. На нулевом поперечнике точки нумеруют от 0 до 9, на первом—от 10 до 19, вторым—от 20 до 29 и т. д. Положение точек в виде расстояний от оси трассы (в метрах) указывают на абрисе.

**Съемка ситуации.** Выполняют в процессе разбивки пикетажа в полосе 50—150 м в обе стороны от оси трассы. Для съемки применяют в основном способ перпендикуляров и линейных засечек. Удаленные объекты снимают глазомерно. Результаты съемки и разбивки пикетажа фиксируют в пикетажном журнале: трассу вычерчивают условно прямой линией; расстояния по оси трассы откладывают обычно в масштабах 1:2000—1:5000; в направлениях, перпендикулярных линии трассы, масштаб выдерживают приблизительно и при необходимости укрупняют; снятые объекты вычерчивают общепринятыми условными знаками и сопровождают пояснительными надписями, указывая углы поворота—их положение, величину и направление (румб).

**Кривые.** Для обеспечения высокой скорости, плавности и безопасности движения транспорта дорожные трассы в местах поворота строят в виде кривых. Простейшая кривая—дуга окружности. Ее вписывают в угол поворота и рассчитывают в зависимости от величины этого угла, вычисленного при продолжении теодолитного хода, и радиуса кривой, установленного исходя из технических требований и топографических условий местности. На лесовозных дорогах, например, радиус кривых должен быть не менее 400 м на магистралях и 150 м на ветках и усах (лишь в стесненных условиях разрешаются 50—



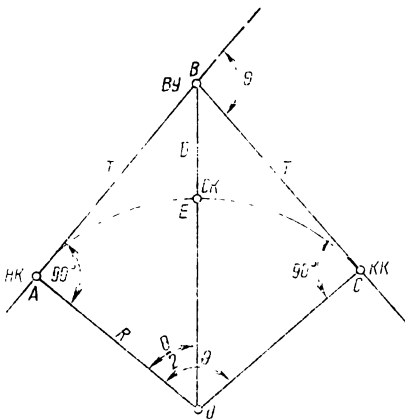
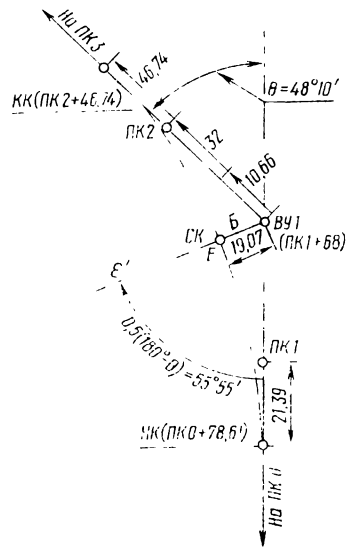


Рис. 85. Элементы круговой кривой ( $T=AB$ ;  $K=\overset{\frown}{AEC}$ ,  $B=BE$ ;  $D=2T-K$ ):

$O$ ,  $R$  — центр и радиус окружности;  $\theta$  — угол поворота с вершиной в точке  $O$ ;  $HK$ ,  $CK$ ,  $KK$  — соответственно начало, середина и конец кривой

Рис. 86. Разбивочный чертеж для выноса в натуру главных точек кривой (пример)



30 м). Для разбивки пикетажа на кривой сначала вычисляют линейные размеры ее элементов (рис. 85):

$$\left. \begin{aligned} \text{тангенса } T &= R \operatorname{tg} (\theta/2), \\ \text{длины кривой } K &= \pi R \theta^{\circ} / 180^{\circ}, \\ \text{биссектрисы } B &= R [\sec (\theta/2) - 1], \\ \text{домера } D &= 2T - K. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Необходимость вычисления домера вызвана тем, что линейные измерения ведут по тангенсам (на них же первоначально ставят и пикеты), а длину трассы исчисляют по кривой. Ее элементы обычно рассчитывают по таблицам В. Н. Ганьшина и Л. С. Хренова (таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. Киев. 1974) и др. Вход в таблицу — угол поворота и радиус кривой. Например, по  $\theta=48^{\circ}10'$  и  $R=200$  м из таблицы выписывают:  $T=89,39$ ;  $K=168,13$ ;  $D=10,66$ ;  $B=19,66$  м. Найденные величины записывают в пикетажном журнале рядом с изображением соответствующего угла поворота.

**Расчет пикетажного значения начала и конца кривой.** Исходной величиной для расчета служит пикетажное значение вершины угла поворота, установленное при разбивке пикетажа на прямом участке трассы. Вычитая из него длину тангенса, получают пикетажное значение начала кривой, добавив

к этому числу длину кривой,— пикетажное значение ее конца. Контролируют вычисления, пользуясь касательными к окружности. Если к пикетажному значению начала кривой добавить длину двух тангенсов или к значению вершины угла — тангенс, тогда результат больше пикетажного значения конца кривой на величину домера. Вычтя из него домер, вновь получают пикетажное значение конца кривой. Расхождение между первым и вторым результатами не должно превышать 1 см, что возможно за счет округлений, допускаемых при расчете элементов кривой. Расчет записывают в пикетажном журнале.

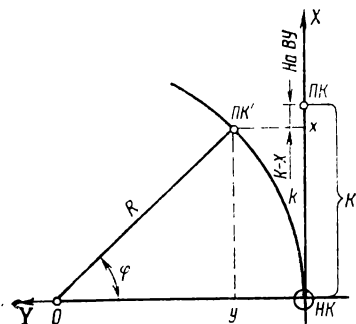


Рис. 87. Вынос пикета ПК на кривую

Пример:	
ВУ1 . . . . .	ПК1 + 68,00
—Т . . . . .	— 89,39
<hr/>	
НК . . . . .	ПК0 + 78,61
+ К . . . . .	1 + 68,13
<hr/>	
КК . . . . .	ПК2 + 46,74

Контроль	
ВУ1 . . . . .	ПК1 + 68,00
+Т . . . . .	+ 89,39
<hr/>	
	Σ = ПК2 + 57,39
—Д . . . . .	— 10,66
<hr/>	
КК . . . . .	ПК2 + 46,73

**Определение положения главных точек кривой на трассе.** Эту работу выполняют по предварительно составленному разбивочному чертежу (рис. 86).

Пример. Чтобы найти начало кривой, приходящейся на ПК0+78,61, в соответствии с разбивочным чертежом откладывают по оси трассы от ПК1 в сторону ПК0 21,39 м. Конец этого отрезка закрепляют колом со сторожком, на котором записывают: ПК0+78,6, НК1. Прежде чем откладывать от ПК2 конец кривой, находят положение ПК2. Для этого сначала от вершины угла откладывают по новому направлению трассы величину домера (в данном случае 10,66 м) и принимают, что пикетажное значение конца этого отрезка равно пикетажному значению ВУ (для нашего примера ПК1+68 м). Вполне очевидно, что ПК2 должно находиться в 32 м от конца домера. Отложив их, закрепляют ПК2 и ведут дальнейшую разбивку пикетажа по трассе. Конец кривой должен находиться на удалении 46,74 м от ПК2. Итак, пикет, включающий вершину угла поворота, длиннее других на величину домера. Но после переноса этого пикета на кривую он становится равным 100 м.

При определении положения середины кривой сначала теодолитом, установленным в вершине угла поворота, откладывают от направления на начало трассы угол, равный  $0,5(180-\theta)$ , и на линии визирования выставляют веху, например в точке е'. Отложив по этому направлению величину биссектрисы (в нашем примере 19,07 м), находят середину кривой.

**Вынос пикета с тангенса на кривую.** Оказавшиеся на тангенсах пикеты переносят на кривую способом прямоугольных координат (рис. 87).

Пример. За начало координат принимают начало *НК* или конец *КК* кривой. Ось *У* направляют в центр *О* окружности. Тогда ось *Х* совпадает с касательной к окружности. Снести пикет *ПК* на кривую — значит отложить на ней такое расстояние *k*, на которое пикет удален от начала (конца) кривой. Допустим, нам удалось это выполнить, получив на кривой *ПК'*. Соединим его с центром *О* окружности и рассчитаем величину угла  $\varphi$  по соотношению  $\varphi/k = 360^\circ/2\pi R$ . Из этого соотношения  $\varphi = k180/\pi R$ . Пользуясь углом  $\varphi$ , находим  $x = R \sin \varphi$ ,  $R - y = R \cos \varphi$ , откуда  $y = R(1 - \cos \varphi) = 2R \sin^2(\varphi/2)$ . Таким образом, координаты точки *ПК'*

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \varphi, \\ y &= 2R \sin^2(\varphi/2). \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

Числовое значение величин *x* и *y* по аргументам *R* и *k* также определяют с помощью таблиц для разбивки кривых. В показанном на рис. 86 примере для выноса на кривую *ПК1* по аргументам *R*=200 м и *k*=21,39 м в таблице находят: *x*=21,35 м, *y*=1,14 м. Составляют разность  $k - x = 21,39 - 21,35 = 0,04$  м, которую называют кривой без абсциссы. (В некоторых таблицах указывают не *x*, а  $k - x$ ). Отложив ее от *ПК1* по линии тангенса в сторону *НК*, получают основание ординаты, в котором строят ее величину (1,14 м). На конце ординаты забивают кол и ставят около него сторожок с надписью *ПК1*, предварительно снятый с прежнего места. Аналогично по *R*=200 м и  $k = 46,74$  м рассчитывают положение *ПК2* на кривой. Его сдвигают на величину  $k - x$  в сторону конца кривой и на величину *y* влево от оси трассы.

## § 49. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ НИВЕЛИРОВАНИИ

**Ведение нивелирного журнала.** Для технического нивелирования установлена форма журнала [10, с. 128]. На каждой странице журнала отмечают начало и конец наблюдений, условия погоды, видимость и температуру воздуха. Запись наблюдений, в каждом ходе (секции) начинают на новой странице с указания названия или номера начального и конечного реперов либо пикетов. Вычисления в журнале разностей высот нулей реек, превышений по черным и красным сторонам и средних превышений выполняют, не снимая нивелира со станции. Как только кончается страница, в поле выполняют вычисления, называемые постраничным контролем. При работе с рейками, имеющими разность высот нулей  $\pm 100$  мм, на странице помещают записи наблюдений, выполненных на четном числе станций. Это облегчает контрольные вычисления.

**Высотная привязка трассы.** Начало и конец трассы привязывают к ближайшим реперам государственной нивелирной сети, прокладывая привязочные ходы. Трассу длиной более

10 км разбивают на секции и каждую из них привязывают к реперам. Привязочный ход ведут по кратчайшему удобному направлению. Нивелирование выполняют способом из середины. На всех точках, исключая реперы, рейки ставят на башмаки, костыли или прочные колья. Работу начинают и заканчивают на реперах. С грунтового репера (см. рис. 33, а) предварительно снимают слой земли. Рейку ставят на головку грунтового или полочку стенного репера. Привязку к стенной марке выполняют по подвесной реечке или обычной линейке с миллиметровыми делениями, совмещая ноль реечки (линейки) с центром марки (см. рис. 33, б). Если марка находится выше визирного луча, отсчету по реечке приписывают знак минус. Во избежание грубого промаха в журнале зарисовывают схему привязки и пишут на ней отсчеты, взятые по черным сторонам реек.

**Проложение хода и работа на станции.** В привязочных и основных ходах (рис. 88) нивелир устанавливают между связующими точками, причем не обязательно в их створе, но так, чтобы неравенство плеч было менее 10 м. Связующими называют точки, по которым ведут передачу высоты от начала к концу хода (секции). Рейки на них отсчитывают по обеим сторонам с двух смежных станций. На рис. 88 такими точками являются ПК0, ПК2, ПК3,  $x_1$ , ПК4. Между связующими точками основных ходов обычно располагаются промежуточные, которые в передаче высоты не участвуют. Рейки, устанавливаемые на них, отсчитывают только по черной стороне. На рис. 88 такими точками являются плюсовые (ПК0+60, ПК0+78,6 и др.), ПК1 и на поперечнике. В ходах технического нивелирования нормальное расстояние между нивелиром и связующей точкой 120 м; в благоприятных условиях допускается 200 м.

На каждой станции прочно ставят штатив. Его головка должна быть примерно горизонтальна. Привинченный к ней нивелир горизонтируют по круглому уровню и закрепляют стантовым винтом. Вращением диоптрийного кольца окуляра добиваются отчетливого изображения сетки нитей, а вращением головки кремальеры — резкого изображения задней рейки.

Придерживаются следующего порядка ведения наблюдений и записей. Наводят трубу на черную сторону задней рейки и совмещают (у нивелира с уровнем) элевационным винтом изображения половинок конца пузырька цилиндрического уровня, после чего читают и записывают в журнал отсчет. Далее трубу нивелира наводят на черную сторону передней рейки, уточняют фокусировку, приводят в контакт уровень, читают отсчет по черной стороне, а затем — по красной; трубу вновь наводят на заднюю рейку и читают отсчет по ее красной стороне.

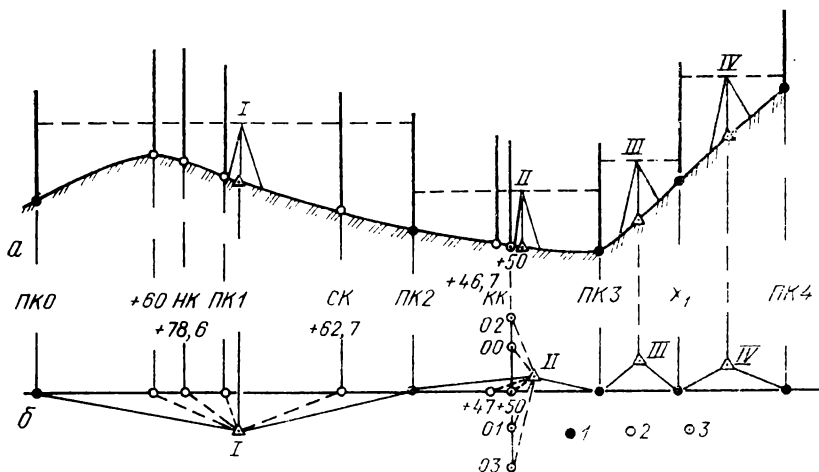


Рис. 88. Схема проложения нивелирного хода:

*a* — профиль хода; *b* — его план; I–IV — станции; 1, 2, 3 — точки связующая, плюсовая и поперечника

Из отсчетов по черной и красной сторонам реек составляют разности и сравнивают их между собой. Разность между ними не должна отличаться от разности высот нулей пары реек, полученной при их проверке более чем на  $\pm 5$  мм. Если это требование не выполнено, наблюдения повторяют, предварительно выяснив и устранив причины грубого промаха. А ими могут быть плохое крепление ножек штатива в грунте; слабое крепление нивелира со штативом; наклон или проседание рейки (если оца не поставлена на кол); отсчет при наклонной линии визирования (нивелировщик забыл привести уровень в контакт).

В случае, если разность высот нулей пары реек допустима, дважды вычисляют измеренное превышение между связующими точками, составив сначала разность  $h_{\text{ч}}$  отсчетов по черным сторонам задней и передней реек, а затем — разность  $h_{\text{к}}$  отсчетов по их красным сторонам. Первая отличается от второй на  $\pm 100$  мм, отклоняясь от этой величины точно на разность высот нолей пары реек, полученную на данной станции. Из измеренных превышений находят среднее, равное  $(h_{\text{ч}} + h_{\text{к}} + \pm 100)/2$ . После этого рейки устанавливают на плюсовых точках и берут отсчеты по черной стороне. При нивелировании поперечника порядок работы несколько иной: сначала рейки устанавливают на точках поперечника и берут отсчеты по черным сторонам, затем заднюю рейку ставят на заднем пикете, переднюю на переднем и измеряют превышения по рассмотренной выше программе.

После перемещения нивелира на следующую станцию передняя связующая точка предыдущей станции становится задней связующей точкой последующей станции. На ней остается прежняя рейка. На переднюю связующую точку переносят рейку с задней связующей точки предыдущей станции. Нарушение порядка чередования реек недопустимо, поскольку это ведет к промахам в определении знаков превышений. Наблюдения на последующей станции ведут в том же порядке, что и на предыдущей.

Выполняя постраничный контроль, отдельно суммируют отсчеты по черным и красным сторонам реек на задних связующих точках, получая  $\Sigma Z$ , и на передних —  $\Sigma П$ . Разность  $\Sigma Z - \Sigma П$  должна быть идентична сумме превышений, вычисленных из отсчетов по черным и красным сторонам реек, а полусумма отсчетов, т. е.  $0,5 (\Sigma Z - \Sigma П)$ , должна быть равна сумме средних превышений  $\Sigma h_{\text{ср}}$ . Результаты вычислений записывают внизу каждой страницы.

Перерыв в работе (на ночь, на обед) устраивают после надежного закрепления связующей точки. Обычно работу заканчивают на репере или заменяющей его точке (прочном пне, большом камне, выступе сооружения и т. п.); при отсутствии последней в замаскированную яму вбивают кол длиной 40—50 см.

При нивелировании крутых склонов (см. правую часть рис. 88) иногда невозможно определить превышение между соседними точками трассы с одной станции, так как линия визирования проходит выше одной рейки и ниже другой. Тогда в качестве связующей выбирают в удобном месте склона дополнительную точку (называемую иксовой), закрепляют ее колом, но положение в плане не определяют. В этом месте хода сначала, например на станции III, передают отметку с задней точки трассы на иксовую, а затем, на станции IV — с иксовой на переднюю точку.

Нивелирование через реку шириной от 100 до 300 м выполняют дважды с обоих берегов (рис. 89, а). Со станции I, расположенной в 10—20 м от связующей точки A, отсчитывают по двум сторонам сначала рейку, стоящую на этой точке, затем на точке B. Перевозят нивелир на другой берег и со станции II, удаленной от точки B тоже на 10—20 м, не меняя фокусировку трубы, отсчитывают рейку на точке A, потом, изменив фокусировку, — на точке B. Из двух превышений вычисляют среднее, значительно ослабляя тем самым влияние ошибок из-за неравенства плеч, так как знаки этих ошибок, как и знаки прямого и обратного превышений, противоположны. При ширине реки более 300 м наблюдения ведут по той же схеме, но рейки отсчитывают через горизонтальные прорези специально устроенных ярко окрашенных щитков (рис. 89, б). По сигналам нивелировщика речник передвигает щиток вдоль

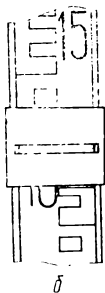
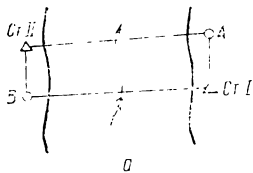


Рис. 89. Нивелирование через широкую реку:

*a* — размещение станций и связующих точек;  
*б* — рейка со щитком

рейки, останавливая движение, когда изображение прорези совмещается с горизонтальной нитью сетки. В этом случае допускается расхождение между прямым и обратным превышениями 10 мм на каждые 100 м ширины реки.

На предварительных изысканиях переходов через реки со спокойным течением можно передавать отметки упрощенным способом — по урезу воды. На обоих берегах, на перпендикулярах к направлению течения роют ямы и отводят в них воду из реки по канавкам. В ямах в один и тот же момент забивают колья вровень с уровнем воды. Переданную на один из кольев отметку считают отметкой и другого кола.

При нивелировании через проходимое болото необходимо тщательно соблюдать меры, обеспечивающие устойчивость штатива и реек. Для этого их ставят на колья, прочно забитые в грунт. Наблюдают рейки два нивелировщика: один — заднюю, другой — переднюю. Нивелирование через непроходимые болота и реки большой ширины ведут обычно зимой по заранее вмороженным в лед кольям под рейки и ножки штатива.

## § 50. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ СЪЕМОК ТРАССЫ

В камеральных условиях увязывают превышения, вычисляют отметки, составляют план и профиль трассы.

• **Увязка превышений.** Предусматривает устранение несоответствия между суммой полученных превышений  $\Sigma h_{\text{пр}}$  и ее теоретическим значением  $\Sigma h_{\text{т}}$  в ходе. В замкнутом ходе  $\Sigma h_{\text{т}}$  равна нулю, в разомкнутом — разности отметок конечного  $H_{\text{к}}$  и начального  $H_{\text{н}}$  реперов. Невязки в замкнутом и разомкнутом ходах вычисляют по формулам

$$f_h = \Sigma h_{\text{пр}};$$

$$f_h = \Sigma h_{\text{пр}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}).$$

Если невязка не превышает допустимую, в средние превышения вводят одинаковые поправки  $w_h$  (с округлением до целых миллиметров) со знаком, обратным знаку невязки. В нивелирном журнале их указывают над средними превышениями, а ниже — исправленные превышения.

**Вычисление отметок.** Высоту связующих точек вычисляют по (35) последовательным алгебраическим суммированием исправленного превышения с отметкой задней связующей точки. Правильность вычислений на каждой странице журнала контролируют по соблюдению равенства

$$H_n - H_1 = \sum h_{\text{испр(стр)}},$$

в котором  $H_n$  и  $H_1$  — отметки связующих точек, записанных на данной странице соответственно последней и первой в графе «Отметка»;  $\sum h_{\text{испр(стр)}}$  — сумма исправленных превышений на данной странице.

Высоту промежуточных точек рассчитывают, определив высоту связующих через горизонт инструмента, который находят по (37) дважды — по отметкам задней и передней связующих точек и отсчетам по черным сторонам реек, стоявших на этих точках. В журнал записывают среднее из двух определений. Отметку любой промежуточной точки, отnivelированной с данной станции, находят как разность между горизонтом инструмента и отсчетом по рейке, стоявшей на ней.

**План и профиль трассы.** План составляют в масштабах 1 : 10 000—1 : 5000. Вершины углов поворота наносят на план по их координатам. На предварительных изысканиях трассу можно наносить по измеренным румбам и расстояниям. На плане показывают ситуацию в снятой полосе местности, положение главных точек кривых и поперечников с надписями их пикетажных обозначений. Профиль трассы составляют на миллиметровой бумаге в том же горизонтальном масштабе, что и план. Его вертикальный масштаб в 5—10 раз крупнее горизонтального. Сначала делают разграфку сетки профиля, руководствуясь требованиями к этому документу. Заполнение сетки начинают с нанесения пикетов в графу «Расстояния». Их концы обозначают вертикальными черточками, под которыми указывают номера пикетов. Внутри последних отмечают положение плюсовых точек с указанием расстояний от них по пикетов или соседних промежуточных точек. Расстояния между пикетами не указывают, если между ними нет плюсовых точек. Над каждой черточкой в графе «Отметки земли» записывают округленную до 0,01 м высоту соответствующих пикетов и плюсовых точек. Ниже, в графе «План трассы», схематически показывают кривые участки и соединяющие их прямые. Дужкой, обращенной выпуклостью вверх, обозначают кривую, вписываемую в правый угол поворота, дужкой вниз — в левый. На схеме указывают данные об элементах кривых, длину и румб прямых вставок. В графе «Ситуация» вычерчивают условный план местности с показом данных о грунтах.

Профильную линию строят от верхней линии сетки (линии условного горизонта). На перпендикулярах к ней откладывают в вертикальном масштабе чертежа отрезки, соответствующие



отметкам точек, уменьшенным на число, равное отметке линии условного горизонта. Ее выбирают так, чтобы самая нижняя точка профильной линии была на 5—7 см выше линии условного горизонта. Соединив верхние концы отрезков прямыми линиями, получают профиль трассы. Поперечные профили строят один под другим справа от продольного профиля по правилам, рассмотренным выше.

## § 51. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ПРОФИЛЮ

При проектировании линейных сооружений (дорог, каналов и др.) на профиль наносят проектную линию и используют его для вычисления проектных и рабочих отметок, а также данных о положении точек нулевых работ.

Рассмотрим методику вычислительных и графических работ при проектировании лесных дорог. Требования к проектной линии зависят от назначения и характера дороги. В частности, уклоны должны быть максимально пологими: не более 40‰ на лесовозных дорогах и 60‰ на лесохозяйственных. Расстояние между вершинами переломов проектной линии (шаг проектирования) должно обеспечивать размещение вертикальных кривых, необходимых для обеспечения плавности движения и видимости пути. Земляные работы должны быть минимальными при соблюдении баланса, т. е. равенства объемов насыпей и выемок.

Проектные отметки вычисляют по уклону проектной линии, а уклон — по высотам отдельных фиксированных точек этой линии: местам примыкания к другим дорогам, рассчитанным или заданным высотам мостовых переходов и др. С использованием отметок таких точек, уклон проектной линии вычисляют по формуле

$$i = (H_{\text{к}}^{\text{н}} - H_{\text{н}}^{\text{н}}) / S, \quad (48)$$

$H_{\text{к}}^{\text{н}}$ ,  $H_{\text{н}}^{\text{н}}$  — проектные отметки конца и начала линии;  $S$  — длина горизонтального проложения линии.

Отметки всех других точек данной проектной линии получают по формуле

$$H_{\text{послед}}^{\text{н}} = H_{\text{пред}}^{\text{н}} + iS_j, \quad (49)$$

где  $i$  — уклон, вычисленный по (48);  $H_{\text{пред}}^{\text{н}}$ ,  $H_{\text{послед}}^{\text{н}}$  — проектная отметка предыдущей и последующей точек;  $S_j$  — длина горизонтального проложения линии, соединяющей эти точки.

Пример. Отметки проектной линии, проходящей через ПКЗ+80 (существующая грунтовая улучшенная дорога) и ПК5+46 (вершина возвышенности) соответственно равны 84,65 и 86,92 м. Поэтому

$$i = (86,92 - 84,65) / 166 = 0,0137 \approx 0,014;$$

$$H_{\text{ПК4}}^{\text{н}} = H_{\text{ПКЗ+80}}^{\text{н}} + iS_{(\text{ПКЗ+80})-(\text{ПК4})} = 84,65 + 0,014 \cdot 20 = 84,93;$$

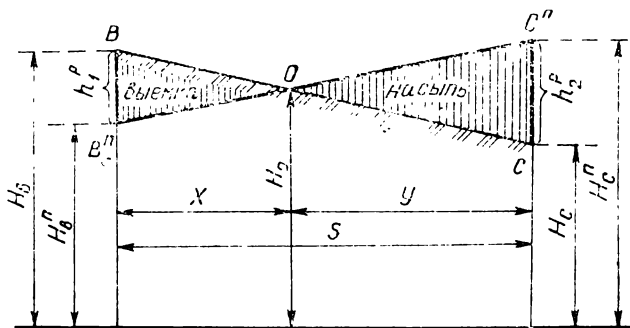


Рис. 90. Определение положения точки нулевых работ

$$H_{\text{ПК}5}^{\text{п}} = H_{\text{ПК}4}^{\text{п}} + iS_{(\text{ПК}4)-(\text{ПК}5)} = 84,93 + 0,014 \cdot 100 = 86,33;$$

$$H_{(\text{ПК}5+46)}^{\text{п}} = H_{\text{ПК}5}^{\text{п}} + iS_{(\text{ПК}5)-(\text{ПК}5+46)} = 86,33 + 0,014 \cdot 46 = 86,97.$$

Расхождение вычисленной проектной отметки ПК5+46 с заданной составляет 0,05 м, что считается допустимым. При больших расхождениях уклон  $i$  при вычислениях учитывают до 0,0001, на профиль записывают с округлением до 0,001 (ноли впереди значащих цифр отбрасывают).

Рабочая отметка — разность между проектной  $H^{\text{п}}$  отметкой и отметкой Земли  $H$  (рис. 90), т. е.

$$H^{\text{р}} = H^{\text{п}} - H. \quad (50)$$

Точка нулевых работ — точка пересечения проектной линии с профилем земли. Она расположена в месте перехода насыпи в выемку или выемки в насыпь, т. е. между рабочими отметками, имеющими противоположные знаки. При проектировании рассчитывают удаление  $x$  и  $y$  точки нулевых работ от ближайших к ней пикетов и плюсовых точек трассы, а также ее высоту  $H_0$  (см. рис. 90). Треугольники с основаниями  $h_1^{\text{р}}$  и  $h_2^{\text{р}}$  и сторонами  $BC$  и  $B^{\text{п}}C^{\text{п}}$  подобны. Следовательно,

$$x/(S-x) = h_1^{\text{р}}/h_2^{\text{р}},$$

откуда

$$x = Sh_1^{\text{р}}/(h_1^{\text{р}} + h_2^{\text{р}});$$

аналогично

$$y = Sh_2^{\text{р}}/(h_1^{\text{р}} + h_2^{\text{р}}).$$

Отметку точки нулевых работ находят по (49), в которую вместо  $S$  подставляют  $x$  или  $y$ .

Результаты расчетов оформляют графически на профиле трассы. Сначала заполняют графу «Проектные уклоны». В ней проводят линии, схематически показывающие направление

уклона слева направо. Черта, идущая вверх, показывает положительный уклон, вниз — отрицательный, горизонтально — нулевой. Над чертой записывают проектный уклон, под чертой — горизонтальное проложение данного отрезка проектной линии. В соседней графе точно над отметками земли записывают соответствующие проектные отметки. Положительные рабочие отметки (высоту насыпей) указывают выше проектной линии, отрицательные (глубины выемок) — ниже. Ординаты точек нулевых работ проводят пунктиром. Около ординаты пишут отметку точки нулевых работ, а у ее основания — расстояния  $x$  и  $y$  до ближайших точек трассы. Профили вычерчивают черной тушью, причем проектную линию несколько толще, чем другие линии.

### Контрольные вопросы

1. Для чего нужны съемка и нивелирование трассы?
2. Как закрепляют трассу в натуре?
3. Дайте определение угла поворота трассы: как его определить?
4. Как разбивают трассу на пикеты?
5. Назовите элементы круговой кривой; как их определить?
6. Расскажите о порядке вынесения в натуру и закреплении главных точек кривой.
7. В каком порядке выполняют работу на станции нивелирного хода? Как контролируют измерения и вычисления?
8. Как нивелируют крутые склоны и передают отметки через широкие реки?
9. Расскажите о вычислении отметок связующих и промежуточных точек?
10. В каком порядке составляют профиль трассы?

### Глава 10. ОСНОВЫ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

#### § 52. СУЩНОСТЬ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ. ВИДЫ АЭРОФОТОСНИМКОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ЛЕСНОЙ СЪЕМКЕ И ТАКСАЦИИ ЛЕСА

**Методы и процессы аэрофототопографической съемки.** Аэрофототопографическая съемка — основной способ создания топографических карт. Приемы и методы такой съемки используют также при составлении лесных планов и карт. В настоящее время лесоустройство и лесную таксацию осуществляют в основном с использованием аэрофотоснимков. Для составления топографических карт разработаны два метода: комбинированная аэрофототопографическая съемка, при которой контурную часть карты составляют по аэрофотоснимкам, а рельеф изображают по результатам полевых наземных измерений; стереотопографическая съемка, когда по снимкам изображают на карте и контуры и рельеф. На лесной съемке используют аэрофотоснимки в основном для создания контурных планов.

Основные процессы аэрофототопографической съемки следующие: воздушное фотографирование; проявление фотопленки и печатание снимков; топографо-геодезические работы с целью дешифрирования, плановой и высотной привязки снимков; камеральные измерительные (фотограмметрические) и дешифровочные работы по снимкам; составление и оформление оригинала карты (плана).

**Аэрофотоснимок** — фотографическое изображение местности, полученное аэрофотоаппаратом (АФА) с самолета или какого-либо другого летательного аппарата на фотопленке (негатив) или отпечатанное с нее на фотобумаге (позитив). Чаще всего под аэрофотоснимком понимают позитивное изображение сфотографированного участка местности на фотобумаге, где тона изображений объектов близки к тонам объектов. Для составления лесных планов и изучения характеристик лесной растительности применяют снимки, снятые кадровыми АФА. В них одновременно происходит экспонирование

(построение оптического изображения) части аэропленки, ограниченной прикладной рамкой. Экспонированную часть называют кадром. Размеры кадров бывают в основном  $18 \times 18$  и  $30 \times 30$  см.

Современные аэрофотоаппараты в зависимости от емкости кассет и размеров кадров позволяют без перезарядки получать аэрофильмы, состоящие из 150—300 снимков. На каждом из них есть изображение местности и показания регистрирующих приборов: координатные метки и порядковый номер снимка, фокусное расстояние камеры; часы, фиксирующие время съемки; круглый уровень, показывающий угол наклона снимка к горизонту. Если нет автоматической регистрации показаний приборов, после проявления фильма на кадрах ставят их порядковый номер, шифр и дату залета.

При измерениях по снимку кроме положения осей координат важно знать величину фокусного расстояния фотоаппарата и положение главной точки снимка (рис. 91). Фокусным расстоянием называют длину перпендикуляра, опущенного из задней узловой точки объектива АФА на плоскость прикладной рамки; продолжение перпендикуляра до пересечения со снимаемой поверхностью — оптическая ось АФА, а основание его — главная точка снимка.

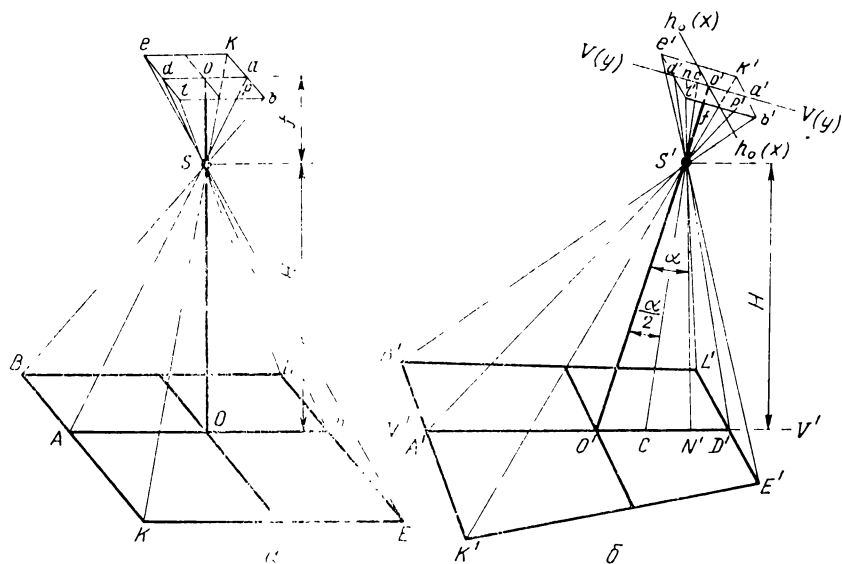


Рис. 91. Виды аэрофотосъемки:

$a$  — плановая;  $б$  — перспективная;  $A, B, C, \dots, A', B', C' \dots$  — точки местности;  $a, b, c, \dots, a', b', c' \dots$  — точки аэрофотоснимка;  $H$  — высота фотографирования;  $f$  — фокусное расстояние АФА;  $\alpha$  — угол отклонения оптической оси  $S'O'$  АФА от отвесной линии  $n'N'$ ;  $v'v'$  — направление аэрофотосъемки;  $vv$  — главная вертикаль, или сечение снимка вертикальной плоскостью, проходящей через ось  $S'O'$ ;  $h_0h_0$  — главная горизонталь, или сечение снимка плоскостью, перпендикулярной главной вертикали

**Виды аэрофотоснимков.** В зависимости от положения в пространстве оптической оси АФА в момент фотографирования снимки делят на плановые и перспективные. Плановые получают при отвесном положении оптической оси или с отклонением ее от вертикали до  $3^\circ$ . Такие снимки, изображающие равнинную местность, по измерительным свойствам близки к карте; их используют для составления лесоустроительных планшетов. Перспективные снимки получают при наклонном положении оптической оси АФА. Изображенная на них местность выглядит примерно так же, как она представляется наблюдателю, находящемуся на возвышенности. Такие снимки используют в качестве дополнения к плановым для изучения качественных характеристик объектов при лесном дешифрировании.

В зависимости от назначения снимков, размеров и конфигурации снимаемой площади различают аэрофотоснимки маршрута и площади. Первые получают при фотографировании узкой полосы местности, например при аэроизысканиях дорог, путей лесосплава и др.; для исключения разрывов в изображении, а также для его стереоскопического изучения маршрут фотографируют с продольным перекрытием 60—70 %. Вторые получают при фотографировании района с нескольких параллельных маршрутов, связанных между собой перекрытием 30—40 %. Такие снимки используют для картографирования и лесоинвентаризации.

В зависимости от фотоматериалов аэрофотоснимки подразделяют на черно-белые, цветные и спектрально-зональные. Наиболее распространенные из них черно-белые, по которым надежно определяются границы нелесных не покрытых лесом площадей, топографические объекты и резко различающиеся по возрасту, полноте и высоте участки леса. Цветные снимки получают на трехслойной пленке. Каждый ее слой чувствителен к одному из основных цветов (красному, синему, зеленому). Недостаток черно-белых и цветных аэрофотоснимков заключается в том, что на них не четко разграничиваются разнородные по свойствам объекты, обладающие одинаковой или почти одинаковой отражательной способностью в видимой части спектра.

Цветная спектрально-зональная аэрофотопленка лишена указанного недостатка — она чувствительна к двум разным областям спектра. На одних ее слоях фиксируются видимые лучи спектра, на других — невидимые, например инфракрасные. Красители, образующиеся в разных слоях пленки, обеспечивают получение двух разноцветных изображений с максимальным цветным контрастом. Благодаря этому по спектрально-зональным снимкам можно уверенно разделить однородные объекты по качественным признакам. Цвета объектов на спектрально-зональных снимках получают условные, часто не соответствующие

натуральным. Хвойные породы изображаются близким к натуре зеленым цветом, тогда как лиственные — искаженными (оранжевым, красным или желто-оранжевым с разными оттенками). Лучшими дешифровочными возможностями обладают аэрофотоснимки, получаемые многозональными АФА. Разработанный учеными ГДР и СССР аппарат этого типа МКФ-6 фотографирует одновременно на 6 кадров в разных зонах спектра.

Важнейший признак классификации аэрофотоснимков — их масштаб: чем он крупнее, тем большую информацию дает снимок. Но не всегда возможно и экономически целесообразно укрупнение масштаба, так как это ведет к увеличению числа снимков и удорожанию стоимости их обработки. Для работ по лесоустройству в зависимости от их разряда установлены следующие масштабы воздушного фотографирования:

Разряд лесоустройства . . . . .	Ia	I — II	III	IV
Масштаб аэросъемки . . . . .	1:5000	1:10 000— 1:15 000	1:15 000— 1:20 000	1:20 000— 1:30 000

## § 53. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОФОТОСНИМКОВ

**Проекция.** В отличие от плана, который строят в ортогональной проекции, аэрофотоснимок представляет собой изображение местности в центральной проекции (см. рис. 91). Центр проекции — задняя узловая точка  $S$  объектива, проектирующие лучи —  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$  и др., плоскость проекции — плоскость снимка  $P$ .

**Масштаб.** При фотографировании плоского участка местности на горизонтальный аэрофотоснимок масштаб последнего зависит только от высоты фотографирования и фокусного расстояния АФА (рис. 91,  $a$ ). Из подобия треугольников  $aoS$  и  $AOS$  следует  $ao/AO = f/H$ . Однако отношение длины отрезка  $ao$  на аэрофотоснимке к длине горизонтального проложения соответствующего отрезка  $AO$  на местности есть численный масштаб снимка  $1/m$ , поэтому  $1/m = f/H$ .

Масштаб планового аэрофотоснимка из-за малого угла наклона  $\alpha$  незначительно отличается от масштаба горизонтального снимка; при решении многих практических задач принимают равным  $f/H$ . Даже при углах наклона снимка  $3^\circ$  погрешность измерения расстояний на краях планового снимка не превышает 5%. Если высота фотографирования неизвестна, масштаб определяют по результатам измерений какого-либо расстояния  $ao$  на снимке и соответствующего ему расстояния  $AO$  на местности. Последнее может быть определено и по карте.

Масштаб перспективного аэрофотоснимка (рис. 91,  $b$ ) не постоянная величина. Равные отрезки  $a'o'$  и  $o'd'$  снимка изображают разной длины отрезки  $A'O'$  и  $O'D'$  местности. Мас-

штабы  $1/m_v$  по направлению главной вертикали и  $1/m_h$  горизонтали вычисляются по формулам

$$1/m_v = f(\cos \alpha - y \sin \alpha / f)^2 / H;$$

$$1/m_h = f(\cos \alpha - y \sin \alpha / f) / H,$$

где  $y$  — ордината точки, в области которой определяется масштаб, если считать, что начало прямоугольной системы координат снимка совмещено с основанием оптической оси  $S'o'$ .

Таким образом, масштаб по главной вертикали, изображающей линию направления аэросъемки, изменяется с изменением ординаты, т. е. непрерывно. На всем протяжении одной и той же горизонтали масштаб остается постоянным. На главной горизонтали ( $y=0$ )  $1/m = f \cos \alpha / H$ . Этой формулой пользуются при расчетах для производства перспективной аэросъемки и анализе аэрофотоснимков. Формула масштаба перспективного аэрофотоснимка по произвольному направлению — громоздка и не находит практического применения.

**Искажения на снимках.** Фотографическое изображение местности на аэрофотоснимках в той или иной мере искажено вследствие наклона оптической оси АФА в момент фотографирования и влияния рельефа местности. Искажения за наклон, как это было показано выше, приводят к разномасштабности одного и того же снимка. Поэтому элементы местности изображаются на перспективном снимке (рис. 92, а) в искаженном виде: квадратом — трапецией, эллипсом — окружностью, трапецией — квадрат. Неискаженными остаются расстояния на горизонтали  $h_c h_c$ , проходящей через точку  $c$  нулевых искажений (см. рис. 91, б). Эта точка расположена на главной вертикали и удалена от главной точки  $o$  на отрезок  $oc = f \operatorname{tg}(\alpha/2)$ .

Горизонталь  $h_c h_c$  делит снимок на две части. Выше ее расстояния на снимке короче, чем на плане, ниже — длиннее. Линия, проходящая через точку  $c$  и разделенная в ней пополам, равна по длине линии на плане. Углы с вершиной в точке  $c$  не искажаются, т. е. равны соответствующим углам на плане. К сожалению, точка нулевых искажений на снимке не фиксируется. На плановом аэроснимке за точку нулевых искажений принимают главную точку. Более того, любую контурную точку, расположенную около центра снимка в пределах круга радиусом  $r = f/24$ , наделяют свойствами точки нулевых искажений; ее называют центральной точкой. В измеренные на плановом снимке отрезки  $r$ , исходящие из центральной точки, вводят поправки по формуле

$$\delta_{r\alpha} = r^2 \alpha^0 / f \rho^0,$$

где  $\alpha^0$  и  $\rho^0$  (величина радиана) считают в градусах.

При обработке снимков на точных фотограмметрических приборах используют формулы введения поправок и в углы, измеренные по снимкам.



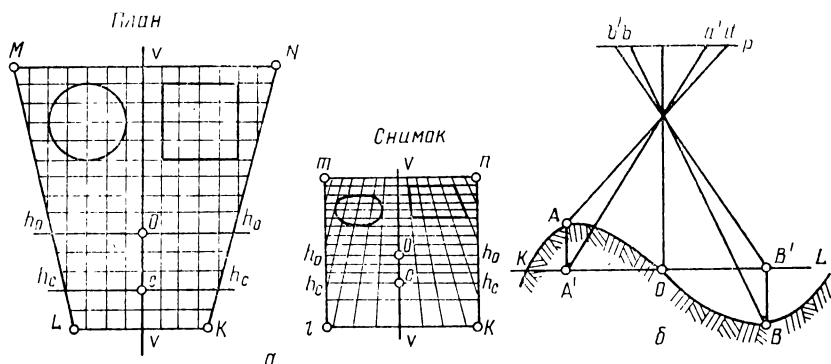


Рис. 92. Искажения на снимке:  
 а — за перспективу; б — на рельеф

Искажения за рельеф присущи как плановым, так и перспективным снимкам (см. рис. 92, б). Они возникают вследствие различия между центральной и ортогональной проекциями. На снимке в точках *a* и *b* изображаются соответственно точки *A* и *B* местности. Но ортогональными проекциями этих точек на среднюю горизонтальную плоскость *KL*, от которой считают высоту фотографирования, являются точки *A'* и *B'*. При отсутствии рельефа они изобразились бы в точках *a'* и *b'* снимка. Отрезки *aa'* и *bb'* представляют собой искажения на рельеф. Они тем больше, чем больше превышения точек местности над средней плоскостью и чем далее отстоят их изображения от центра снимка.

В расстояние *r*, измеренное от главной точки до какой-либо другой точки снимка, вводят поправку

$$\delta_{r_h} = rh/H,$$

где *h* — превышение точки местности над принятой при обработке снимка средней плоскостью; *H* — высота фотографирования.

Искажения из-за влияния рельефа и наклона снимков действуют совместно. Сильнее всего искажаются края снимков.

**Свойства стереоскопической пары снимков.** При фотографировании участка *ABCD* (рис. 93, а) с концов воздушного базиса  $S_1S_2$  все точки местности проектируются на снимки  $P_1$  и  $P_2$  соответственными (одноименными) лучами. Если в камеральных условиях паре перекрывающихся снимков (ее называют стереопарой) придать такое же положение, какое они занимали в момент фотографирования, а затем пододвигать один снимок к другому (например,  $P_2$  к  $P_1$ ) так, чтобы проективная связка лучей перемещалась параллельно самой себе и центр проекции  $S_2$  не сходил с базиса, то из точек пересечения

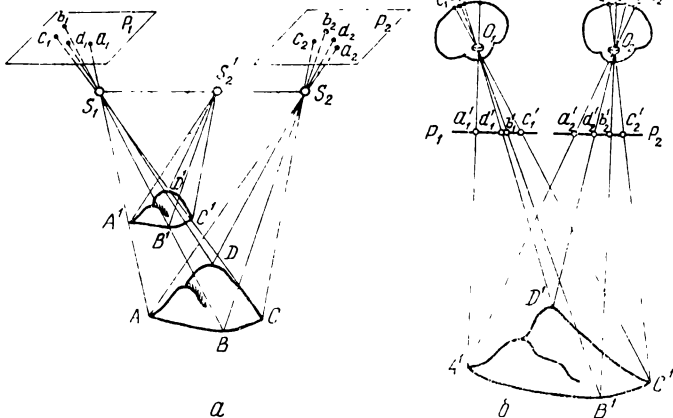


Рис. 93. Стереомодель *а* и стереоэффект *б*

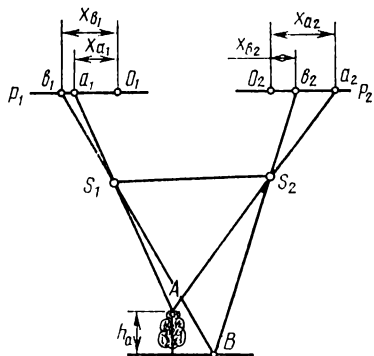


Рис. 94. Продольные параллаксы

соответственных лучей образуется поверхность, подобная поверхности местности. Такую поверхность называют стереомоделью, или моделью. Масштаб модели определяется базисом  $S_1S_2'$ . Его можно выбирать произвольно. По стереомоделям составляют топографические планы и ведут другие измерения. На фотограмметрических приборах стереомодель получают (строят) оптическим или другими способами.

Модель (рис. 93, б) может быть видимой (мнимой), субъективно воспринимаемой наблюдателем при рассматривании стереопары снимков. Для этого используют простейший оптический прибор — стереоскоп, при помощи которого правый снимок рассматривают правым глазом, левый — левым. В связи с этим изображение какой-либо точки местности, имеющееся на двух снимках, попадает на несимметричные точки сетчатки глаз. Поэтому правый глаз видит, например, точку  $a$  на линии  $O_1a_1'$ , а левый — на линии  $O_2a_2'$ . А так как наблюдение ведут одновременно двумя глазами, точка  $a$  кажется на пересечении

линий  $O_1a'_1$  и  $O_2a'_2$ , т. е. в том месте, которое она занимает на модели, построенной в масштабе глазного базиса  $O_1O_2$ . Таким образом, наблюдатель по двум плоским перспективным изображениям, снятым с концов воздушного базиса, видит одно объемное изображение, т. е. получает стереоскопический эффект.

Снимки, рассматриваемые в стереоскоп, взаимно ориентируют, т. е. правый снимок кладут справа, левый — слева так, чтобы изображение базиса аэросъемки было на одной прямой. Затем, глядя в стереоскоп, сдвигают или раздвигают снимки на такое расстояние, при котором изображение перестает двоиться. В этот момент наступает ощущение глубины картины: возвышенности, дома и деревья как бы приподнимаются, а реки и лощины — опускаются. Взаимное ориентирование снимков и устранение двоения изображения происходят одновременно и достигаются путем проб.

Для дешифрирования лесной растительности применяют простые и измерительные стереоскопы. Простыми выполняют обзорное дешифрирование снимков. Наиболее распространен и удобен в работе зеркально-линзовый стереоскоп ЗЛС. Он позволяет несколько увеличить глазной базис и тем самым укрупнить стереомодель, обладает широким полем зрения (примерно  $8 \times 8$  см) и дает 1,5-кратное увеличение. Измерительными стереоскопами не только рассматривают снимки, но и определяют с их помощью превышения между точками местности и высоты объектов, например деревьев. Для этого на снимках измеряют продольные параллаксы и их разности (рис. 94). Продольным параллаксом  $p$  какой-либо точки снимка называют разность ее абсцисс, измеренных на правом и левом снимках

$$p_a = x_{a_1} - x_{a_2};$$

$$p_b = x_{b_1} - x_{b_2}.$$

Разность продольных параллакссов этих точек

$$\Delta p = p_b - p_a.$$

Превышение  $h_a$  точки  $A$  над точкой  $B$  по горизонтальным (трансформированным) снимкам определяют по формуле

$$h_a = \Delta p_a H_B / p_a,$$

где  $H_B$  — высота фотографирования точки  $B$ . Отношение  $H_B / p_a$  в этой формуле является параллактическим коэффициентом  $k$ , постоянным для данной стереопары. Поэтому превышение любой точки над точкой  $B$  в пределах стереопары вычисляют по

формуле  $h_i = k\Delta p_i$ . Если вычисления выполняют по этой формуле, достаточно на стереопаре измерить разности продольных параллаксов.

Когда параллаксы и их разности измеряют циркулем с использованием поперечного масштаба, вычисленные по ним превышения отличаются невысокой точностью. Например, при  $k=50$  и погрешности измерения  $\Delta p=0,1$  мм погрешность определения высоты деревьев составляет 5 м. На точных фотограмметрических приборах разность параллаксов измеряют с точностью 0,01 и 0,001 мм; более точно определяют превышения по снимкам, полученным при небольшой высоте фотографирования.

#### § 54. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОФОТОСНИМКОВ

Основные аэросъемочные документы, используемые при лесной съемке и таксации,— контактные отпечатки (снимки) с аэронегативов. Перед использованием снимков оценивают их качество. Ниже рассмотрена методика оценки основных качественных показателей. О качестве фотографирования района судят по отсутствию пропусков (абсолютных разрывов) в фотоизображении. Для этого на большом листе фанеры укладывают снимки в том порядке, в котором фотографировали, соединяя их между собой перекрывающимися частями и временно скрепляя кнопками или грузиками. Такую укладку снимков называют накидным монтажом (рис. 95). По монтажу, который может быть довольно большим, снимки распределяют на группы по трапециям топографической карты, а при возможности — по лесоустроительным планшетами.

Накидной монтаж фотографируют с уменьшением в 3—4 раза, получая его репродукцию. Ею удобно пользоваться при составлении проектов съемочного обоснования и квартальной сети, а также при выполнении геодезических и таксационных работ на местности.

В процессе составления накидного монтажа определяют прямолинейность маршрутов. Уложив снимки одного, например верхнего маршрута (рис. 96), прямой  $L$  соединяют центральные точки крайних снимков. После измерения отрезков  $L$  и  $l$  вычисляют в процентах коэффициент непрямолинейности маршрута  $k=100l/L$ . Если  $k>3$ , снимки бракуют; отличный маршрут при  $k\leq 1$ . Аналогично оценивают прямолинейность последующих маршрутов.

Монтажной линейкой определяют продольные  $p$  и поперечные  $q$  перекрытия снимков (рис. 97). Оцифрованную часть линейки, имеющую длину, равную стороне снимка, разбивают на 20 частей, каждая из которых соответствует 5% стороны снимка. При определении продольных перекрытий измеряют не менее четырех пар в маршруте. Поперечные перекры-

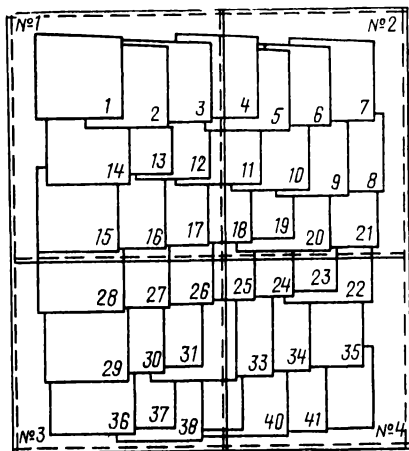


Рис. 95. Накладной монтаж аэрофото- снимков с разбивкой их на группы: 1-41 — снимки; № 1-4 — планшеты

тия устанавливают по концевым снимкам смежных маршрутов и по каждой третьей паре.

Снимки пригодны для измерений, т. е. не имеют фотограмметрических разрывов, если  $p \geq 56\%$ , а  $q \geq 20\%$ . Участки с абсолютными и фотограмметрическими разрывами фотографируют заново. Горизонтальность снимков проверяют просмотром показаний изобразившегося на них круглого уровня. Углы наклона снимков не должны превышать  $3^\circ$ , а число снимков с углами наклона более  $2^\circ$  должно быть не более  $10\%$  их общего числа.

## § 55. ПЛАНОВОЕ И ВЫСОТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ АЭРОФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ. ПОНЯТИЕ О ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ

Снимки можно преобразовать в план, если на каждом из них есть 4 соответствующим образом расположенные контурные точки с известными координатами. Если на плане предпо-

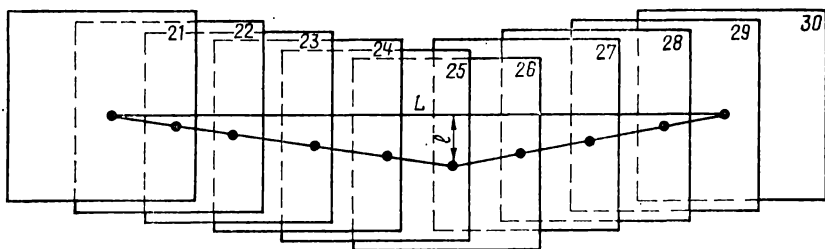


Рис. 96. Оценка прямолинейности маршрута: 21-30 — номера снимков

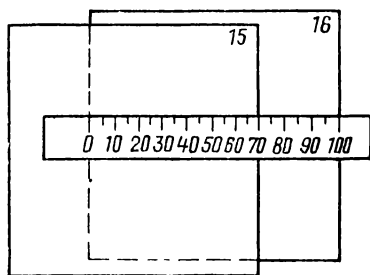


Рис. 97. Определение величины продольного перекрытия монтажной линейкой

Рис. 98. Схема геодезической привязки аэрофотоснимков:

1 — маршруты аэрофотосъемки; 2 — планово-высотные опознаки

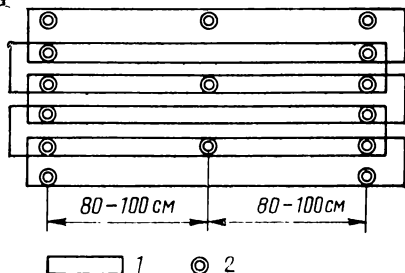
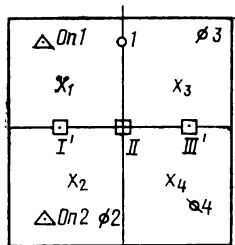
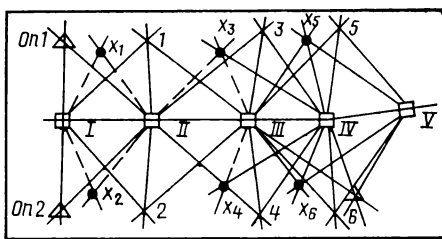


Рис. 99. Графическая фототриангуляция:

а — снимок с точками; б — монтаж восковок; I, III' — центральные точки соседних снимков, опознанные на данном; II — центральная точка данного снимка; I-б — связующие точки;  $x_1-x_6$  — ориентирующие точки; Оп1, Оп2 — опознаки



а



б

лагается рисовка рельефа, на маршруте необходимо измерить также высоты нескольких контурных точек. Определение координат и высот контурных точек называют геодезической привязкой аэрофотоснимков. Одну часть точек (небольшую) определяют геодезическими способами в поле, другую (значительную) способом фототриангуляции в камеральных условиях.

В полевых условиях получают координаты и высоты опорных точек (опознаков) по краям и в середине секции, состоящей из нескольких снимков одного маршрута (рис. 98). Точки располагают рядами перпендикулярно маршрутам в середине межмаршрутных перекрытий, причем по возможности тройных. Расстояние между рядами 80—100 см в масштабе плана. При составлении лесоустроительных планшетоов допускается привязывать каждый снимок по карте наиболее крупного масштаба; если таковой нет, выполняют полевую геодезическую привязку опознаков в основном способами проложения теодолитных или (при необходимости) теодолитно-высотных ходов. Обычно привязывают хорошо опознаваемые на снимке и карте (местности) контурные точки. На лицевой стороне снимка их обводят кружками, на оборотной вычерчивают абрис.

Фототриангуляцией называют способ определения геодезических координат опорных точек по результатам измерений (построений) на аэрофотоснимках. Она может быть плановой, когда устанавливают положение точек снимка только в плане, и пространственной, когда это необходимо и по вы-

соте. В настоящее время фототриангуляцию выполняют в основном с использованием сложных фотограмметрических приборов и ЭВМ, плановую же и графическим способом. Графическая фототриангуляция основана на том, что углы между направлениями, исходящими из центральных частей планового снимка, практически равны соответствующим углам на местности. По этим направлениям угловыми засечками определяют плановое положение контурных точек снимка в произвольном масштабе.

На каждом снимке (рис. 99) вблизи его главной точки накалывают центральную контурную точку. В зоне тройного перекрытия снимков по обе стороны от направления на центральную точку соседнего снимка (начального направления) выбирают и накалывают связующие точки; вблизи углов рабочей площади (четырёхугольника, образованного прямыми, проходящими посередине перекрытий) — ориентирующие точки. Кроме того, на снимках накалывают опознаки. С каждого снимка на восковку перекалывают все отмеченные точки и соединяют их прямыми с центральной точкой снимка. Получают восковки направлений. Затем на стол кладут прозрачную основу и прочерчивают на ней прямую, на которой произвольно накалывают точки *I* и *II* (рис. 99, б). Расстояние между этими точками обычно берут несколько меньше, чем между точками *I'* и *II* на первой восковке. Точки *I* и *II* на основе принимают за плановое положение точек местности, соответствующих центральным точкам первого и второго снимков.

На основу кладут первую восковку. Ее центральную точку *I* совмещают с точкой *I* основы и ориентируют так, чтобы совпали направления *I—II*. Таким же способом укладывают вторую восковку. В пересечении соответственных направлений получают точки  $x_1, x_2, 1, 2, On1, On2$  и перекалывают их на основу. Одновременно определяют и положение направления *II—III*. Накладывают третью восковку на основу так, чтобы ее центральная точка легла на это направление, а лучи *III—1* и *III—2* проходили через точки *1* и *2* основы. Аналогично укладывают все другие восковки, после чего все точки (рис. 99, б) перекалывают на основу и получают свободную маршрутную сеть произвольного масштаба. Чтобы привести эту сеть к заданному масштабу и сориентировать относительно геодезической системы координат, ее редуцируют.

Редуцирование выполняют чаще всего с помощью оптических приборов, но иногда и графически (рис. 100). Совмещают один из опознаков, например *On1*, прозрачной основы с той же точкой планшета и поворачивают основу так, чтобы направления на *On2* и *On3* совместились с соответствующими направлениями на планшете. После этого на последний перекалывают ориентирующие точки и центры снимков. Убрав восковку, на планшете из *On1* прочерчивают направления через наколотые

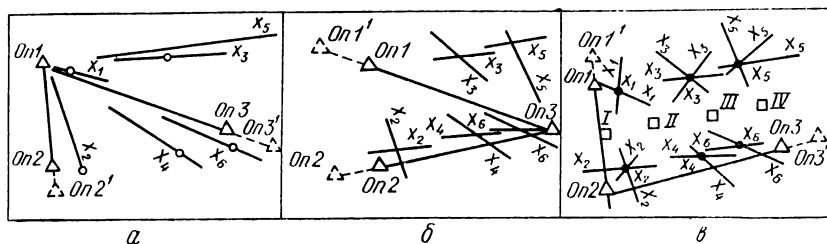
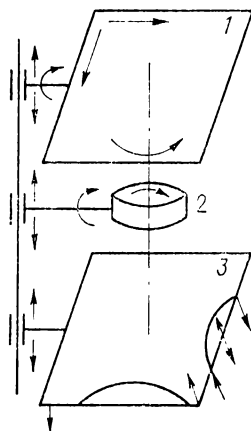


Рис. 100. Редуцирование фототриангуляционного ряда (обозначения те же, что на рис. 99):

*a* — перенос направлений с основы на планшет; *б* — засечка точек ряда; *в* — контрольные засечки

Рис. 101. Принципиальная схема фототрансформатора:

1 — кассета; 2 — объектив; 3 — экран



точки (рис. 100, *a*); чтобы не перегружать чертеж, направления на центральные точки на нем не показаны. Аналогично на планшете и восковке совмещают другой опознак, например  $On3$ , и ориентируют восковку по направлениям на  $On1$  и  $On2$ . Вновь перекалывают ориентирующие и центральные точки на планшет и прочерчивают на них направления; в пересечении соответственных линий (рис. 100, *б*) получают пункты в геодезической системе координат. Третью, контрольную, засечку выполняют в данном случае с  $On2$  (рис. 100, *в*). Точки на планшете вычерчивают тушью.

## § 56. ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Приведение снимков к заданному масштабу и устранение искажений на перспективу выполняют трансформированием, причем главным образом фотомеханическим способом на оптико-механических фототрансформаторах, принципиальная схема работы которых показана на рис. 101. На негативах опознают, обводят кружками и прокалывают тонкой иглой центральные и ориентирующие точки, а также опорные (при наличии). Негатив закладывают в кассету, на экран помещают



планшетик с точками, переколотыми с планшета. В фонаре над кассетой включают свет и, действуя соответствующими рукоятками прибора, перемещают кассету, объектив и экран, добиваясь совмещения проектируемых на экран точек негатива с соответствующими точками планшетика. Затем на экран накладывают лист фотобумаги и способом проекционной печати получают трансформированный аэроснимок.

На трансформированных снимках остаются искажения за рельеф. Для их уменьшения снимок горного района трансформируют в несколько приемов по отдельным высотным зонам. Однако полного устранения искажений достигают ортофото-трансформированием — преобразованием аэроснимка из центральной проекции в ортогональную. Его выполняют с помощью ортофототрансформатора, автоматически устраняющего искажения за рельеф и перспективу путем последовательного проектирования негатива на экран возможно малыми участками.

## § 57. ФОТОПЛАНЫ И ФОТОСХЕМЫ

Основой лесоустроительных планшетов чаще всего бывают фотопланы и уточненные фотосхемы. Фотоплан — это фотографическое изображение местности, которое по точности соответствует топографическому плану (карте). Его создают соединением трансформированных снимков или ортофотоснимков. Фотоплан монтируют по опорным, центральным и ориентирующим точкам, нанесенным на планшет-основу. На снимках в этих точках предварительно пробивают пуансоном отверстия диаметром не более 1 мм, а с планшета изготовляют копию в виде контрольной восковки, на которую наносят рамку плана, сетку прямоугольных координат и точки полевой подготовки снимков.

Снимки укладывают на основу с северо-западного угла планшета. Пробитые в снимке отверстия должны точно совпадать с соответствующими точками планшета. Первый снимок прижимают грузиками и таким же способом накладывают второй, перекрывающийся с первым. Тонкой иглой накалывают ярко выраженные контурные точки, находящиеся примерно на середине перекрытий. Накол на нижнем (соседнем) снимке может отклоняться от контура не более чем на 0,5 мм. Увязанные между собой снимки подклеивают центральными частями к основе, а затем разрезают по середине перекрытий и подклеивают центральными частями к основе, а затем подклеивают и оставшиеся края.

Фотоизображение местности, смонтированное из нетрансформированных одномасштабных плановых снимков, называют фотосхемой. Ее точность ниже точности плана и зависит от величины углов наклона снимков. Фотосхему монтируют по на-

чальным направлениям и идентичным контурам. Начинают монтаж с центра планшета. При лесоустройстве используют уточненные фотосхемы, занимающие по точности среднее положение между фотопланами и фотосхемами. Их монтируют из снимков, трансформированных по контурным точкам карты. Используют также снимки, снятые АФА в гиростабилизирующих установках. Угол наклона таких снимков очень мал, порядка 0,5—1'.

## **§ 58. ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ЛЕСНОЙ СЪЕМКИ. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ**

Технология изготовления плано-картографических материалов лесоустройства по аэроснимкам включает: создание основы планшетов, полевое и камеральное дешифрирование снимков, составление, вычерчивание и оформление оригинала лесоустроительного планшета.

Основу лесоустроительного планшета создают в виде фотоплана (уточненной фотосхемы) или графического плана. В связи с этим разными способами переносят ситуацию на планшеты. Фотопланы (фотосхемы) изготавливают обычно на равнинные и всхолмленные районы, а при наличии ортофотоснимков — и на горные. Если же таких снимков нет, на горные районы составляют графические планы с сетью опорных точек, полученных в результате полевой подготовки аэроснимков и развития фототриангуляции. Как фотопланы (фотосхемы), так и графические планы обычно изготавливают централизованно лесоустроительные предприятия способами, рассмотренными выше.

Дешифрирование аэрофотоснимков, т. е. выявление, распознавание и определение характеристик изображенных объектов выполняют в камеральных и полевых условиях. В начале аэрофотоснимки готовят к работе на местности. На них проводят границы рабочей площади и внутри ее опознают и вычерчивают квартально-визирную сеть, дороги, реки, различные трассы. Рассматривая снимки под стереоскопом, на них опознают и отмечают границы выделов. Подготовленный таким образом аэрофотоснимок становится фотоабрисом таксатора. В лесу по нему уточняют (наносят) границы выделов и на каждый из них составляют таксационную характеристику. (Подробно методика и техника лесного дешифрирования рассматриваются в специальных руководствах.)

Составление лесоустроительного планшета заключается в переносе на его основу материалов, полученных в процессе таксации насаждений. На фотоплан (фотосхему) визуально переносят внутреннюю ситуацию с фотоабрисов, глазомерно сличая контуры и отдельные объекты на снимке с идентичными контурами и объектами на фотоплане. Контуры вычерчивают на фотоплане карандашом, а затем всю ситуацию —

тушью принятыми в лесоустройстве знаками. Фотоплан (уточненная фотосхема) становится чертежным планом после снятия с него копии или отбеливания фотографического изображения.

Ситуацию переносят с фотоснимков на графический план при помощи разных оптико-механических приборов. Предварительно на снимках вычерчивают тушью лесную и топографическую ситуацию и при необходимости перекопируют на восковку. Для составления планов горных районов в кассету фототрансформатора закладывают прозрачную копию аэроснимка, а на экран помещают основу планшета. Для этих же целей используют универсальные приборы (стереопроекторы); ими переносят ситуацию после построения стереомодели в масштабе планшета по стереопаре рабочих снимков. При составлении планов равнинных и всхолмленных районов пользуются более простым оптико-механическим прибором — универсальным топографическим проектором УТП-2, работающим по принципу фототрансформатора.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение аэрофототопографической съемки. Назовите методы ее выполнения. 2. По каким признакам классифицируют аэрофотоснимки? Назовите виды снимков. 3. Для чего фотографирование местности ведут с перекрытиями; какой должна быть их величина? 4. Как проверяют и оценивают качество аэрофотоснимков? 5. Какими геометрическими свойствами обладают аэрофотоснимки? 6. Для чего и при помощи каких приборов трансформируют аэрофотоснимки? 7. В какой последовательности изготавливают лесоустроительные планшеты по аэрофотоснимкам?

## Глава 11. НАЗЕМНЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

### § 59. СУЩНОСТЬ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ.

#### ТАХЕОМЕТРЫ

Тахеометрической называют топографическую съемку, выполняемую тахеометром. (Тахеометрия в переводе с греческого языка означает быстрое измерение). Сущность тахеометрии состоит в том, что с точек съёмочного обоснования определяют одновременно плановое и высотное положение подробностей местности. Так, для изображения на плане точки  $B$  (рис. 102) нужно определить угол  $\beta$ , составленный стороной съёмочной сети  $AC$  и направлением  $AB$  с исходного пункта  $A$  на точку  $B$ , а также горизонтальное расстояние  $S$  и превышение  $h$  между ними.

Съемку осуществляют чаще всего круговыми тахеометрами — техническими теодолитами Т15, Т30, ТТ-5 и др. Ими измеряют углы  $\beta$ , а также расстояния  $D$  и их углы  $\gamma$  наклона к горизонту, необходимые для вычисления положения снимае-

мых точек. Специальные тахеометры позволяют непосредственно без вычислений, измерять не только углы  $\beta$ , но и горизонтальные проложения  $S$ , а также превышения  $h$ . Такие тахеометры называют номограммными (ТН). Принцип их действия можно уяснить из устройства отечественного тахеометра ТА-2. Это — оптический теодолит, на вертикальном круге которого кроме обычных градусных делений нанесена система кривых (номограмм) для определения по рейке горизонтальных проложений и превышений (рис. 103, б). Изображение вертикального круга передается в трубу прибора. В ее поле зрения (рис. 103, а) кроме рейки видны две посеребренные полосы в виде буквы Г: на горизонтальную проектируются градусные деления лимба, на вертикальную — номограммы — основная  $H$ , горизонтальных расстояний  $S$  и превышений  $h$  с коэффициентами  $+10$ ,  $+20$ ,  $+100$  и  $-10$ ,  $-20$ ,  $-100$  (в приборах более поздних выпусков кривые видны по всему полю зрения трубы).

Для съемки используют рейку с передвижным нолем. Его устанавливают на высоте инструмента. Трубу наводят так, чтобы основная кривая совместилась с нолем рейки, а правый край вертикальной полосы — с изображением ее шкалы. Пузырек уровня при алидаде вертикального круга ставят на середину. После этого по рейке отсчитывают горизонтальное проложение и превышение; в нашем примере (см. рис. 103, а)  $S = 18 \text{ см} \cdot 100 = 18 \text{ м}$ ;  $h = 23,5 \text{ см} \cdot (+20) = 4,7 \text{ см} \cdot (+100) = +4,7 \text{ м}$ .

Помимо номограммных применяют внутрибазные тахеометры, при помощи которых измеряют и автоматически приводят к горизонту расстояния до 60 м без рейки, а большие — по рейке. Для автоматической съемки, заключающейся в определении и записи на ленту пространственных координат  $x$ ,  $y$ ,  $H$  снимаемых точек, применяют электронные тахеометры.

## § 60. ФОРМУЛЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ

При тахеометрической съемке круговыми тахеометрами превышения  $h$  между точками местности определяют тригонометрическим нивелированием (рис. 104). В прямо-

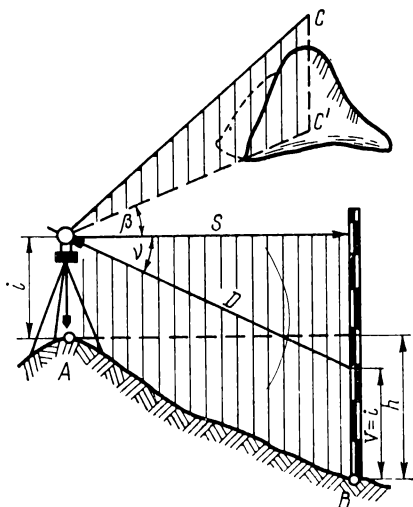


Рис. 102. Определение положения точки способом тахеометрии

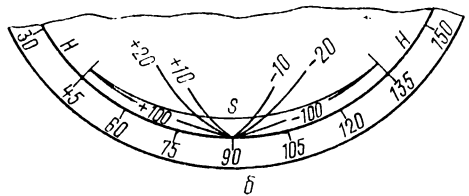
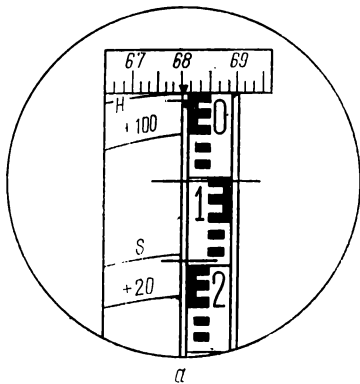


Рис. 103. Номограммный тахеометр:  
а — вид поля зрения; б — схема размещения номограмм на вертикальном круге

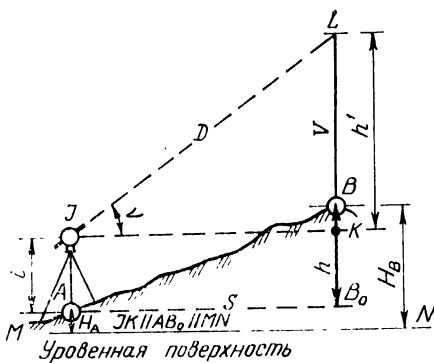


Рис. 104. Тригонометрическое нивелирование

угольном треугольнике  $IKL$  измеряют угол  $v$  наклона луча визирования к горизонту и сторону  $IK = S$ . На станции измеряют также высоту  $i$  тахеометра, а на определяемой точке  $B$  — высоту  $v$  визирной цели (вехи). Тогда из равенства  $h + v = i + h'$ , в котором

$$h' = S \operatorname{tg} v, \quad (51)$$

следует сокращенная формула тригонометрического нивелирования

$$h = S \operatorname{tg} v + i - v. \quad (52)$$

При расстояниях  $S \geq 300$  м превышения вычисляют по полной формуле тригонометрического нивелирования

$$h = S \operatorname{tg} v + i - v + f, \quad (53)$$

где  $f$  — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

По формулам (52) и (53) превышения вычисляют главным образом при создании высотного съемочного обоснования, когда находят горизонтальное проложение  $S$  по результатам измерения наклонной линии  $AB$  землемерной лентой или дальномером

двойного изображения. При съемке подробностей местности измеряют нитяным дальномером наклонные расстояния  $D$ . Между величинами  $S$  и  $D$  (см. гл. 5) существует зависимость

$$S = D \cos^2 \nu. \quad (53a)$$

Подставив (53a) в (51), получаем

$$\begin{aligned} h' &= D \cos^2 \nu \operatorname{tg} \nu = D \sin \nu \cos \nu, \\ h' &= 0,5D \sin 2\nu. \end{aligned} \quad (54)$$

В этом случае полная и сокращенная формулы тригонометрического нивелирования имеют вид

$$\left. \begin{aligned} h &= 0,5D \sin 2\nu + i - v + f; \\ h &= 0,5D \sin 2\nu + i - v. \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

При съемке ситуации визируют на отсчет  $v$  рейки, равный высоте  $i$  инструмента (см. рис. 102), тогда при  $D \leq 300$  м  $h' = h$ . На полевых работах величины  $h'$  и  $S$  определяют по таблицам или рассчитывают по формулам (51), (54) и (27) на электронных микрокалькуляторах с клавишами для вычисления тригонометрических функций.

## § 61. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Вертикальные круги теодолитов ТТ-5 и ТТ-50 оцифрованы от 0 до 360° по ходу часовой стрелки, теодолита ТЗ0 — против часовой стрелки. Круг насажен на ось вращения зрительной трубы и наглухо скреплен с ней. Диаметр 0—180° при сборке теодолита устанавливают примерно параллельно визирной оси трубы. Алидаду также насаживают на ось трубы, но при вращении последней она остается неподвижной. У большинства теодолитов при помощи наводящего винта и цилиндрического уровня ставят в горизонтальное положение линию нулей алидады, устанавливая этим одну из сторон измеряемого угла; другой стороной является линия визирования. Указанные геометрические условия размещения круга и алидады могут нарушиться. Поэтому линия нулей алидады может отклоняться от горизонтальной плоскости  $P$  (рис. 105) на угол  $MO$  (место нуля), величину которого определяют при измерении вертикальных углов.

Местом нуля называют отсчет по вертикальному кругу, выполненный в случае, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде вертикального круга (у теодолита ТЗ0 при алидаде горизонтального круга) находится в нульпункте. Измеряя угол наклона  $\nu$  на какой-либо объект  $M$  (см. рис. 105, а), на него направляют зрительную трубу при положении «круг справа». Наводящим винтом при алидаде вертикального круга приводят в нульпункт пузырек

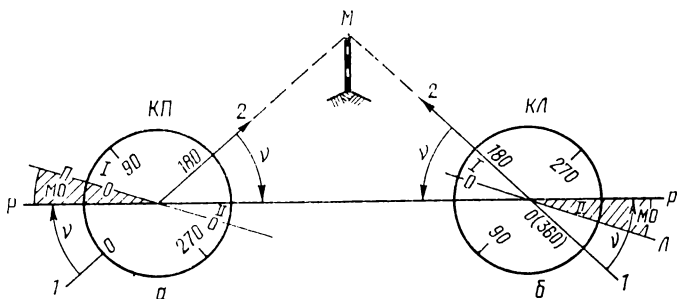


Рис. 105. Измерение вертикального угла при разном положении круга относительно зрительной трубы:

а — справа; б — слева; 1 — положение окуляра трубы; 2 — положение объектива

уровня, совмещают наводящим винтом трубы перекрестие сетки нитей с изображением объекта и отсчитывают вертикальный круг. По верньеру, ближайшему к окуляру, читают градусы и минуты, а по другому — только минуты. Отсчет градусов с добавлением среднего числа из отсчетов минут и есть отсчет  $\Pi$ . Как видно из рис. 105, отсчет  $\Pi$  — это число, показывающее в градусной мере величину дуги, заключенной между нулями лимба и алидады; измеряемый угол может быть получен из уравнения  $\nu = \Pi - MO$ , в котором величина  $MO$  неизвестна. Чтобы ее найти, угол измеряют вторым полуприемом при положении «круг слева» (рис. 105, б). По уровню приводят линию нулей алидады в прежнее положение, совмещают центр сетки с изображением объекта  $M$  и читают отсчет  $L$ : градусы по ближайшему к окуляру верньеру, минуты по обоим. В случае измерения положительного угла наклона при той же оцифровке круга (рис. 105) к нулю ближайшего к окуляру верньера подходит отсчет  $L < 360^\circ$ , но  $> 270^\circ$ , а измеряемый угол представляет сумму  $\nu = (360^\circ - L) + MO$ . Решив совместно уравнения, находят

$$\left. \begin{aligned} MO &= (\Pi + L - 360^\circ)/2; \\ \nu &= (\Pi - L + 360^\circ)/2. \end{aligned} \right\}$$

Когда  $MO$  располагается по другую сторону от горизонтальной линии и измеряют отрицательный угол наклона, в этих формулах перед  $360^\circ$  должны быть обратные знаки. Таким образом, окончательно формулы для вычисления места нуля и углов наклона в случае отсчета круга всегда по ближайшему к окуляру верньеру принимают вид

$$\left. \begin{aligned} MO &= (\Pi + L \pm 360^\circ)/2; \\ \nu &= \Pi - MO = MO - L = (\Pi - L \pm 360^\circ)/2. \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

При измерении углов теодолитом Т30 с шной системой оцифровки вертикального круга и односторонним отсчетом используют формулы

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= (П + Л + 180^\circ)/2; \\ \nu &= M_0 - П - 180^\circ = Л - M_0 = (Л - П - 180^\circ)/2. \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

При вычислениях по этим формулам к значениям  $П$ ,  $Л$  и  $M_0$ , меньшим  $90^\circ$ , прибавляют  $360^\circ$ .

Основное требование к вертикальному кругу — постоянство места нуля. Поэтому  $M_0$  определяют несколько раз и с разных точек. Колебания места нуля не должны превышать двойной точности отсчета вертикального круга. Если в приборе сохраняется постоянство места нуля, но его величина неудобна для вычислений,  $M_0$  приводят к отсчету, близкому  $0^\circ$ . Для этого у теодолита с металлическими кругами приводят в нуль-пункт пузырек уровня при алидаде вертикального круга. Вращая трубу, на вертикальном круге устанавливают отсчет, равный среднему значению  $M_0$ . Наводящим винтом уровня совмещают ноли лимба и алидады; при этом смещается с нульпункта пузырек уровня. Исправительным винтом уровня его возвращают на место. У теодолита Т30 сначала тщательно нивелируют горизонтальный круг. Затем, перемещая трубу, ставят на вертикальном круге отсчет, равный измеренному углу  $\nu$  наклону. Наконец, сетку нитей перемещают вертикальными исправительными винтами так, чтобы средняя горизонтальная нить попала на изображение объекта, на который был измерен этот угол.

## § 62. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

**Съемочное обоснование.** Создают способами проложения теодолитно-тахеометрических ходов, в которых измеряют горизонтальные и вертикальные углы, а также длину сторон (нитяным дальномером). При повышенных требованиях к точности съемки рельефа прокладывают теодолитно-высотные и теодолитно-нивелирные ходы, в которых превышения измеряют соответственно тригонометрическим и геометрическим нивелированием, а стороны — лентой. Максимальная длина хода составляет 16—20 км при съемках в масштабах 1 : 25 000—1 : 10 000 и 1—1,5 км при 1 : 2000—1 : 5000. Стороны, измеряемые нитяным дальномером, должны быть не длиннее 300 м, дальномером двойного изображения — 1000 м.

Привязку ходов при необходимости выполняют к пунктам плановой и высотной государственной геодезической сети. При съемке маршрутов прокладывают разомкнутые ходы, а участков — замкнутые. Работу на станции выполняют в следующем



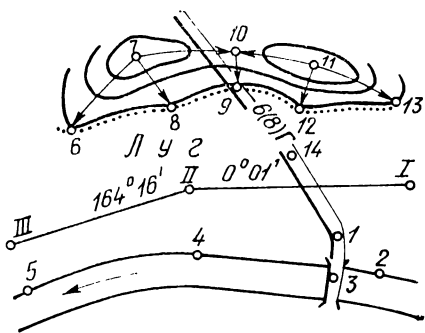


Рис. 106. Абрис съемки со станции тахеометрического хода:

I—III — станции; 1—14 — пикеты

создания съемочного обоснования, во втором полуприеме рекомендуется определять угол с ориентированным лимбом. Длину сторон измеряют нитяным дальномером в прямом и обратном направлениях. Рейки отсчитывают с точностью до 0,5 см. Линии длиннее 200 м измеряют по частям, устанавливая прибор в створе линии. Допустимая линейная невязка

$$f_L = L/400 \sqrt{n}, \quad (58)$$

где  $L$  — длина хода, м;  $n$  — число линий в ходе.

Вертикальные углы измеряют в прямом и обратном направлениях. Наблюдения ведут двумя полуприемами. Среднюю горизонтальную нить наводят на верх вехи или рейки. Длину вехи предварительно измеряют. При проложении хода ведут журналы измерения горизонтальных углов (см. табл. 7 и 8) и тригонометрического нивелирования (табл. 12). В последнем, не сходя со станции, вычисляют и превышения. Расхождение между прямым и обратным превышениями допускается до 10 см, если расстояние между точками хода не более 250 м, и 4 см на каждые 100 м при больших расстояниях.

**Съемка ситуации и рельефа.** Выполняют способом полярных координат. Работу на станции начинают с изучения участка, определения его границ и составления абриса (рис. 106), на котором схематически показывают ситуацию и рельеф, отмечают места установки реек — съемочных пикетов, располагаемых на расстояниях, приведенных в табл. 13. Их обычно назначают на точках поворота контуров, у углов зданий и сооружений, на перекрестках и развилках дорог, вершинах возвышенностей, седловинах и в котловинах, на линиях перегибов скатов, хребтовых и водосливных линиях в точках их поворота.

На каждом пикете ставят дальномерную рейку, измеряют до

порядке. Над точкой хода устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение. Рулеткой с точностью до 0,01 м измеряют высоту прибора  $i$ , затем правый по ходу горизонтальный угол, дальномерное расстояние до задней и передней станций, вертикальные углы на эти станции.

Горизонтальные углы измеряют так же, как и в теодолитных ходах. Поскольку подробности местности снимают на станции сразу же после измерений, выполняемых для

## 12. Записи и вычисления в журнале тригонометрического нивелирования теодолитом Т30 (пример)

Точка визирова- ния	Отсчеты при КЛ					Место ноля	
	по нитя- ному дально- меру, м	по кругу					
		горизонтальному		вертикальному			
		град	/ мин	град	мин	град	мин

Ст. II:  $i = 1,43$  м,  $H = 157,30$  м, отсчеты при КП по вертикальному кругу на ст. I —  $178^{\circ}48'$ , III —  $177^{\circ}39'$

I	168,4	0	01	1	16	0	02
III	207,1	164	16	2	25	0	02
9	152,3	64	35	359	19		
10	108,6	96	20	4	15		

Ст. III:  $i = 1,38$  м,  $H = 164,34$  м, отсчеты при КП по вертикальному кругу на ст. II —  $181^{\circ}40'$ , IV —  $179^{\circ}14'$

II	206,8	0	00	358	21	0	00,5
IV	156,8	173	04	0	49	0	01,5
16	108,0	36	15	3	16		
17	96,3	52	10	356	38		

Продолжение

Точка визирова- ния	Угол наклона		Горизон- тальное положе- ние, м	Превыше- ние $h'$ , м	Высота вехи (рейки), м	Превыше- ние $h$ , м	Отметка точки визирова- ния, м
	град	мин					

Ст. II:  $i = 1,43$  м,  $H = 157,30$  м, отсчеты при КП по вертикальному кругу на ст. I —  $178^{\circ}48'$ , III —  $177^{\circ}39'$

I	+1	14	168,3	+5,19	3,00	+3,62	
III	+2	23	206,7	+8,61	3,00	+7,04	
9	-0	43	152,3	-1,90	$i$	-1,90	155,40
10	+4	13	108,0	+7,96	$i$	+7,96	165,26

Ст. III:  $i = 1,38$  м,  $H = 164,34$  м, отсчеты при КП по вертикальному кругу на ст. II —  $181^{\circ}40'$ , IV —  $179^{\circ}14'$

II	-1	39,5	206,7	-5,98	2,50	-7,10	
IV	+0	47,5	156,5	+2,16	$i$	+2,16	
16	+3	15	107,3	+6,11	$i$	+6,11	170,45
17	-3	23	96,0	-5,67	$i$	-5,67	158,67

нее расстояние, горизонтальный и вертикальный углы. Горизонтальные углы измеряют одним полуприемом по ориентированному лимбу в таком же порядке, как и при теодолитной съемке полярным способом. Вертикальные углы измеряют также одним полуприемом; перед отсчетом приводят на середину пузырек уровня.

Для упрощения вычислений среднюю горизонтальную нить наводят на отсчет  $v$  рейки, равный высоте  $i$  прибора.

### 13. Допустимые расстояния при тахеометрической съемке

Масштаб съемки	Сечение рельефа, м	Максимальные расстояния, м			
		между пикетами	между пикетами и станциями при съемке		
			рельефа	контуров	
		четких		нечетких	
1 : 2 000	1	50	250	100	150
1 : 5 000	1	100	300	150	200
1 : 5 000	2	100	350	150	225
1 : 10 000	2	150	350	250	300

Результаты измерений, выполняемых при съемке подробностей местности, заносят в тахеометрический журнал (см. табл. 12), в котором сразу же на станции вычисляют превышения и горизонтальные проложения. Работу на станции завершают оформлением абриса. При этом уточняют, все ли снятые со станции объекты показаны; схематически изображают рельеф (двумя-тремя горизонталями и стрелками, указывающими направления скатов); проверяют, соответствуют ли номера точек на абрисе и в журнале.

#### § 63. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

При обработке теодолитно-тахеометрического хода вычисляют координаты и высоту станций, при обработке тахеометрического хода — только высоту, составляя ведомость (табл. 14). Из тахеометрического журнала переписывают в ведомость прямые и обратные превышения и вычисляют среднее из них. Среднему превышению приписывают знак прямого.

Невязку  $f_h$  в высотном ходе находят сравнением суммы средних превышений с их теоретической суммой. В замкнутом высотном ходе последняя равна нулю, а в разомкнутом, опирающемся на два высотных исходных пункта, — разности высот конечного  $H_K$  и начального  $H_N$  пунктов. Поэтому в замкнутом ходе  $f_h = \sum h_{пр}$ , а в разомкнутом  $f_h = \sum h_{пр} - (H_K - H_N)$ . Невязка не должна превышать  $\pm 0,2 \sqrt{L}$  м ( $L$  — длина хода, км). Допустимую невязку с обратным знаком распределяют пропорционально длине сторон и вводят в виде поправок в средние превышения. Отметка последующей станции равна отметке предыдущей станции, суммированной (алгебраически) с исправленным превышением между ними. Отметки пикетов вычисляют в журнале тригонометрического нивелирования. Их получают алгебраическим суммированием каждого превышения с отметкой станции.

#### 14. Ведомость вычисления высот вершин тахеометрического хода

Репер- станция	Расстоя- ние, м	Превышение, м			Исправ- ленное превыше- ние, м	Отметка, м	Репер- станция
		прямое	обратное	среднее			
Rp 48				-0,04		156,82	Rp 48
Ст. I	302,3	+4,16	-4,21	+4,19	+4,15	160,97	Ст. I
II	168,4	-3,66	+3,62	-3,64	-3,67	157,30	II
III	206,7	+7,04	-7,10	+7,07	+7,04	164,34	III
IV	156,5	+2,16	-2,08	+2,12	+2,08	166,42	IV
Rp 49	310,1	+3,72	-3,64	+3,68	+3,63	170,05	Rp 49
Итого	1144,0			+13,42	+13,23		

$$H_{Rp49} - H_{Rp48} = 170,05 - 156,82 = +13,23 \text{ м}$$

$$\text{Невязка } f_h = +13,42 - 13,23 = +0,19 \text{ м}$$

$$\text{Допустимая невязка } f_h = \pm 0,2\sqrt{1,1} = \pm 0,21 \text{ м}$$

Графические работы включают построение координатной сетки, нанесение на план точек съемочного обоснования и пикетов, рисовку рельефа и ситуации. Станции хода накладывают на план по их координатам, а пикеты — по углам и расстояниям. На предварительных изысканиях дорожных трасс станции хода можно наносить по румбам и расстояниям. Отметки пикетов указывают с округлением до 0,1 м.

Положение горизонталей находят на плане графическим интерполированием. Один из распространенных способов — интерполирование при помощи небольших листов восковки. На листе проводят ряд параллельных линий через 0,5 или 1 см и оцифровывают их отметками последовательно расположенных горизонталей. Затем восковку накладывают на план с обозначенными на нем линиями водоразделов и водосливов так, чтобы две соседние отметки одной линии, например 130,7 и 126,2 (рис. 107), занимали места между соответствующими параллельными линиями восковки. На линии плана накалывают точки пересечения хребтовой (водосливной) линии с линиями восковки, являющиеся точками прохождения горизонталей через данную линию (см. 127—130 на рис. 107). Интерполировать можно только между точками, расположенными на однородном по форме и крутизне скате, о чем делают заметки на абрисах при полевой работе.

Рисовка горизонталей представляет собой соединение плавными кривыми линиями одинаковых по высоте точек, положение

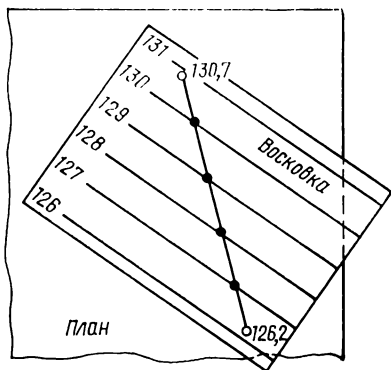


Рис. 107. Графическое интерполирование

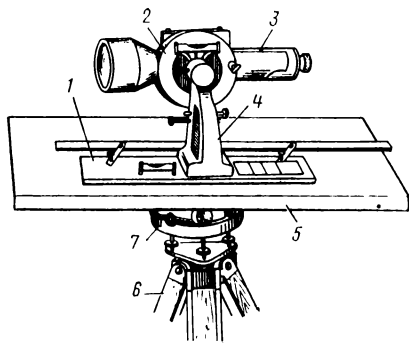


Рис. 108. Мензула и кипрегель КА-2:

1 — линейка; 2 — вертикальный круг; 3 — зрительная труба; 4 — колонка; 5 — планшет; 6 — штатив; 7 — подставка

которых найдено интерполированием. Прежде всего проводят горизонтالي, обрисовывающие вершину и подножье возвышенностей или, наоборот, нижние и верхние части понижений (лощин, котловин). Этим как бы создают систему опорных горизонталей. Затем проводят промежуточные горизонтали. Их рисунок, уточняя детали ската, как правило, повторяет изгибы опорных горизонталей.

На план ситуацию наносят по абрисам и вычерчивают условными знаками, принятыми для планов крупных масштабов.

## § 64. МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

Мензуральной называют топографическую съемку, выполняемую при помощи мензулы и кипрегеля (рис. 108). В этом случае план составляют непосредственно в поле. К планшету 5 мензулы (столика) прикрепляют чертежную бумагу, на которую по координатам или иными способами наносят точки съемочного обоснования. При помощи штатива 6 и подставки 7 планшет размещают над съемочной точкой, приводят его в горизонтальное положение и ориентируют, чтобы направления, исходящие из съемочной точки на плане, совпали с соответствующими направлениями на местности. На планшет устанавливают кипрегель, на линейке которого помещены цилиндрический уровень и колонка, несущая вертикальный круг и зрительную трубу.

Направив последнюю на снимаемую точку местности, по линейке прочерчивают на планшете направление на нее. Дальномерным устройством измеряют расстояние до этой точки, а с помощью вертикального круга — угол наклона визирного луча. Таким образом, по результатам одного визирования кипрегелем определяют положение снимаемой точки на планшете, а также ее высоту.

В результате графических построений и вычислений на планшете получают систему точек с их отметками, пользуясь которыми изображают ситуацию и рельеф (рис. 109). В настоящее время применяют в основном номограммные кипрегели (см. рис. 108), работающие по тому же принципу, что и номограммные тахеометры.

Мензультную съемку, как и любую другую, начинают с создания сети съемочного обоснования. Координаты и высоту ее пунктов обычно определяют рассмотренными ранее аналитическими способами. Но при мензультной съемке плановое обоснование строят и графическими способами — развитием геометрической сети и проложением мензультных ходов. В процессе его построения определяют и отметки съемочной сети.

Геометрическую сеть (рис. 110) создают на открытой местности при съемке небольшого участка без привязки его к государственной геодезической основе. Работу начинают с расстановки вех. Между двумя из них, например  $A$  и  $B$ , расположенными в середине участка, землемерной лентой дважды измеряют базис сети; его длина должна быть не меньше  $\frac{1}{3}$  длины участка. Мензулу устанавливают на конце базиса (в точке  $A$ ) и ориен-

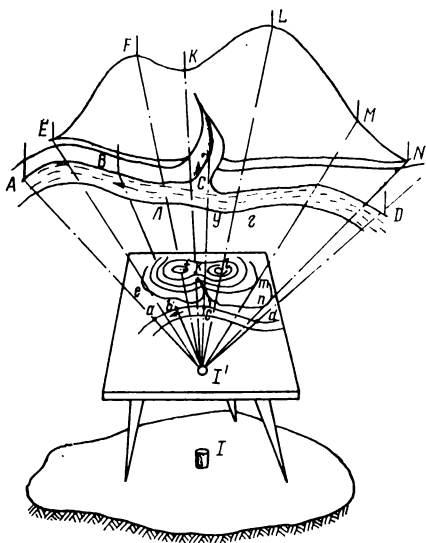


Рис. 109. Мензультная съемка:  
 $I$  — точка съемочного обоснования;  $I'$  — ее положение на планшете;  $A, B, C, \dots$  — точки местности;  $a, b, c, \dots$  — их положение на планшете

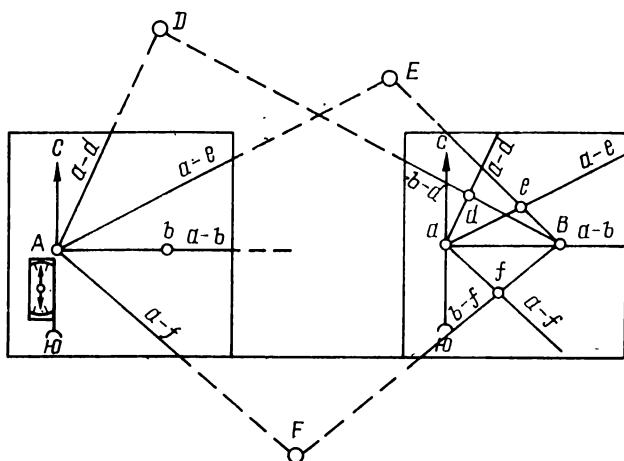


Рис. 110. Развитие геометрической сети

тируют планшет по мензульной ориентир-буссоли. Вдоль края ее коробки прочерчивают направление магнитного меридиана, которое во время съемки используют для ориентирования мензулы в любой точке участка.

На планшете накальвают точку  $a$  в произвольном месте, но так, чтобы план участка разместился симметрично относительно краев планшета. Вращая линейку кипрегеля вокруг точки  $a$ , добиваются совмещения вертикальной нити сетки с изображением вехи  $B$ , стоящей на другом конце базиса. Вдоль линейки кипрегеля прочерчивают прямую и откладывают на ней в масштабе плана длину базиса, получая точку  $b$ . На все другие вехи, видимые с точки  $A$ , прочерчивают направления. Затем мензулу переносят в точку  $B$ , на которой планшет ориентируют по вехе  $A$ . Из точки  $b$  прочерчивают направления на все окружающие ее вехи, в том числе  $D, E, F$ , на которые были прочерчены направления из точки  $a$ . В пересечении соответственных линий на планшете получают точки  $d, e, f$ . Аналогично на планшете определяют другие точки сети. Для определения высотного положения точек геометрической сети в процессе ее развития измеряют углы наклона на все вехи, видимые со станции, а по планшету — расстояния до них.

Мензульные ходы прокладывают в закрытой местности. На каждой станции планшет ориентируют по задней точке хода и прочерчивают направление на переднюю. Отложив на этом направлении расстояние, измеренное нитяным дальномером до передней точки, определяют ее плановое положение. Измеряя вертикальные углы по такой же схеме, как и в тахеометрическом ходе, определяют превышения между точками мензульного хода.

При съемке подробностей местности на каждой съемочной точке планшет центрируют, нивелируют и ориентируют. А затем, так же как и при тахеометрической съемке, полярным способом определяют плановое и высотное положение съемочных пикетов, на которых последовательно выставляют рейки. Абрис при съемке не ведется, так как все контуры и детали рельефа изображают на планшете.

## Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность тахеометрической съемки? Какими приборами ее выполняют? В чем отличие мензульной съемки от тахеометрической?
2. Какие формулы используют для вычисления превышений между точками местности на мензульной и тахеометрической съемке?
3. Как устроен вертикальный круг теодолита? Как измеряют им углы наклона?
4. Дайте определение месту нуля вертикального круга; расскажите о приведении его к отсчету, близкому  $0^\circ$ .
5. Как создают съемочное обоснование тахеометрической съемки и снимают подробности местности?
6. Какие вычисления и графические построения выполняют при составлении плана по материалам тахеометрической съемки?
7. Назовите приборы мензульного комплекта; расскажите об их назначении и устройстве?

# **Раздел V. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ, ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ**

---

## **Глава 12. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ**

### **§ 65. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И НОРМАТИВЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СЪЕМОК В ЦЕЛЯХ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ**

Съемочно-геодезические работы при лесоустройстве относятся к числу подготовительных. Их обычно выполняют за год до начала основных работ.

Различают первичное устройство, а следовательно, и первичную съемку лесов, и повторное. В настоящее время 75 % объема работ составляет повторное лесоустройство. Поэтому ниже рассматриваются съемочные работы главным образом при повторном лесоустройстве и их особенности при первичном.

Задачи съемочно-геодезических работ следующие: установление в натуре и отображение на оригиналах лесоустроительных планшетов границ лесного массива, закрепленного за лесным предприятием, лесных и нелесных площадей с составляющими их участками, а также объектов, относящихся к лесной ситуации (дорог, просек, противопожарных разрывов, линий электропередач и связи, питомников, постоянных лесных складов, карьеров, мелiorативных канав и др.); определение количественных и качественных характеристик снимаемых объектов. При повторном лесоустройстве, кроме того, восстанавливают хозяйственные границы лесничеств и лесхозов, лесосырьевых баз, хозяйственных частей и особо ценных выделов.

Съемке предшествует сбор геодезических и картографических материалов. Их получают: в лесхозах, леспромхозах и других лесных предприятиях (материалы прошлых съемок и лесоустройства — ведомости координат, геодезические журналы съемки окружных границ и планшетных рамок, данные аэрофотосъемки, лесоустроительные планшеты, планы лесонасаждений и схемы лесхозов); в районных и областных органах землеустройства (выкопировки с планов землепользований границ смежных с лесным массивом хозяйств, выписки из каталога координат межевых знаков и других геодезических пунктов); в территориальных органах государственного геодезического надзора



ГУГК (топографические карты, выписки из каталогов координат пунктов государственной геодезической сети, топографо-геодезические материалы других ведомств); на предприятиях гражданской авиации (аэрофильмы и контактные отпечатки с них, репродукции накидного монтажа и др.).

После тщательного анализа материалов и проверки фактического состояния границ в натуре устанавливают объем полевых работ и принимают решение об их организации. Новую съемку проводят только там, где нет материалов прежних съемок; ее выполняют по согласованию со старшим землеустроителем района. При частичном изменении окружных границ и отсутствии геоданных на них, но при наличии аэрофотоснимков положение новой границы наносят на планшет по снимкам, без выполнения геодезических работ в натуре. Границы, проходящие по естественным рубежам, переносят на планшеты с топографических карт и аэрофотоснимков.

Съемочно-геодезические работы выполняют с соблюдением следующих требований к их точности. Съёмочное геодезическое обоснование создают проложением теодолитных ходов I и 2 разрядов. Для съемки подробностей местности прокладывают съемочные ходы с точностью не ниже 1 : 300. Теодолитные ходы I разряда прокладывают при съемке окружной межи и планшетных рамок, теодолитные ходы 2 разряда и съемочные ходы — при съемке остальной квартальной сети и внутриквартальной ситуации. Длину ходов устанавливают в зависимости от разряда лесоустройства и масштаба планшетов. При лесоустройстве по Ia—II разрядам их длина не должна превышать указанной в § 37; при лесоустройстве по III и IV разрядам она может быть увеличена в 2 раза. Независимо от разряда лесоустройства соблюдают требования к длине линий в ходах, а также к точности измерения углов и расстояний, изложенные в § 37.

## **§ 66. ОРГАНИЗАЦИЯ СЪЕМОЧНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ПЛАНШЕТЕ, УРОЧИЩЕ**

В соответствии с проектом, составляемым на топографической карте или фотосхеме (см. § 37), в лесу прорубают квартальные просеки и визиры, расставляют столбы, измеряют ходовые линии, снимают внутреннюю ситуацию. Предварительно или в процессе этой работы составляют геодезическую основу лесоустроительных планшетов.

**Прорубка квартальных и визирных линий.** При первичном лесоустройстве ее начинают с прорубки магистральных ходов через середину лесного массива с юга на север и с запада на восток. Параллельно им прорубают квартальные просеки, а визиры — параллельно одной из сторон квартала. Границами кварталов могут быть имеющиеся на местности линии — железные и шоссейные дороги, линии связи и электропередач, трассы

нефте- и газопроводов, реки, ручьи, характерные линии рельефа. Кварталы нумеруют отдельно по каждому лесничеству рядами с северо-запада на юго-восток. Ширина квартальных просек, по которым намечают прокладку теодолитных ходов, 2 м, остальных не менее 0,5 и визиров 0,3 м. Граничный квартал должен иметь площадь не менее 0,5 и не более 1,5 площади внутреннего прямоугольного квартала. В натуру линии выносят по определенным правилам (см. гл. 13).

Линии прорубают в определенном порядке. Устанавливают угломерный прибор в проектной точке магистрального хода (квартальной просеки) и откладывают от этой линии прямой угол. Определяют магнитный азимут (румб) линии визирования и в ее направлении начинают рубку. Кустарники и тонкомерные деревья, затрудняющие вешение, вырубают, а крупные деревья, стоящие на линии визирования, обходят, затесывая их на 15—20 см с трех сторон. Одну затеску обращают к визирной линии, две другие — перпендикулярно ей. В лесах I группы делают лишь одну затеску, обращенную к линии визирования, а в лесопарках и курортных лесах прорубку ведут без затесок. Заданное направление при прорубке просек и визиров небольшой длины (до 1 км) в равнинной местности можно выдерживать приемами глазомерного вешения линий (см. § 26). При прорубке более длинных просек, а также коротких на пересеченной местности направление рубки контролируют теодолитом или буссолью.

Первый участок просеки прорубают по проектному направлению, построенному теодолитом, установленным в начальной точке. На линии визирования ставят вехи по указанию наблюдателя. Далее теодолит переносят как можно дальше вперед и ставят его вместо одной из вех. В этой точке двумя полуприемами строят угол  $180^\circ$  от направления на начальную точку. В направлении визирной оси трубы продолжают рубку просеки и установку вех. При таком способе работы каждый участок просеки отклоняется от проектного направления не более чем на  $\pm 1'$ ; при 4-кратной перестановке прибора на участке 1 км в конце он может отклониться от заданного направления на  $\pm 0,15$  м. При помощи буссоли работу выполняют также способом построения угла, если на линии визирования не остается крупномерных деревьев. Из-за влияния коллимационной ошибки, неточностей визирования и установки на лимбе отсчета отклонение каждого участка просеки от ранее заданного направления возможно до  $\pm 10'$ , что в линейном отношении при рассмотренных условиях составляет  $\pm 1,5$  м.

Если при прорубке просеки (визира) оставляют крупномерные деревья, направление рубки задают построением первоначального магнитного азимута из точек, расположенных рядом с пройденными деревьями. При этом ошибка может достигать  $\pm 1^\circ$ , что на 1 км просеки составляет  $\pm 10$  м.

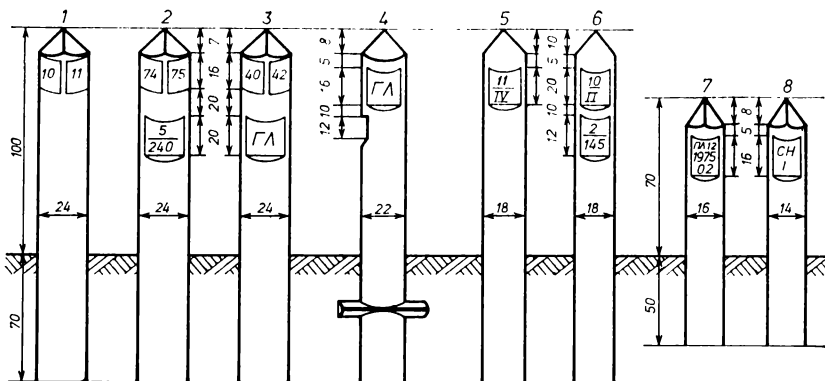
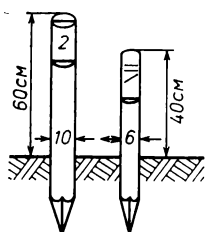


Рис. 111. Лесоустроительные столбы.

1 — кварталные; 2, 3 — указательные кварталные; 4 — граничные хозяйственные; 5, 6 — визирные; 7 — пробных площадей; 8 — внутренних ситуаций



Длина промера,	Обозначение
100м	—
200м	==
300м	===
400м	====
500м	— / —
600м	>
700м	≡
800м	≡≡
900м	≡≡≡
1000м	×

Рис. 112. Километровый и пикетный колья

Таким образом, контроль правильности выдерживания направлений прорубки просек и визиров способом построения углов теодолитом и bussолью дает удовлетворительные результаты, а при способе построения магнитных азимутов может привести к нарушению прямоугольности кварталов. Не менее чем через каждые 2 км контролируют правильность выдерживания направления. В соответствии с лесоустроительной инструкцией [8] линию, отклонившуюся от заданного азимута на  $2^\circ$  и более, прорубают вновь. Качество работы оценивают в зависимости от точности выдерживания направления, соблюдения требований к ширине и качеству прорубки (отсутствие валежника, высоких пней).

**Постановка столбов.** Хозяйственные границы и кварталовизирную сеть закрепляют лесоустроительными столбами разного назначения, формы и размеров (рис. 111). Квартальные столбы ставят в местах пересечения просек друг с другом и с граничными линиями. В вырубленных на столбах щеках (окнах) масляной краской пишут номера кварталов. Столб ориентируют так, чтобы надписи были направлены в стороны соответствующих кварталов. Указательные кварталные

столбы ставят в местах пересечения просеками дорог, ЛЭП, а при лесоустройстве по III и IV разрядам — также сплавных рек и троп. Кроме номеров кварталов на дополнительной щеке, обращенной вдоль просеки, указывают расстояние от начала промера в виде дроби: в числителе — километры, в знаменателе — метры. На указательном столбе, стоящем на границе массива, на дополнительной щеке делают надпись ГЛ (государственный лес). В местах пересечения границы с проезжими дорогами к вершине столбов высотой 330 см прибивают доску (60×40 см), на которой указывают названия лесхоза и лесничества.

Граничные хозяйственные столбы устанавливают в местах поворота граничных линий. Для прочности в столб врезают перекладину, а вокруг насыпают курган диаметром 1,5—2 м. Визирные столбы располагают в точках пересечения визирных линий с просеками, границами лесных массивов, дорогами, реками и т. п. На щеке столба, обращенной в сторону квартала, римскими цифрами пишут номера визиров, а при лесоустройстве по III и IV разрядам дополнительно в числителе — номер квартала, в знаменателе — номер визира. Столбы пробных площадей ставят по их углам так, чтобы щека располагалась по диагонали к щеке противоположного столба; на них указывают номер пробы, год закладки и площадь. Столбы внутренней ситуации располагают на углах служебных наделов: сенокосов, пасек, участков лесных культур, безлесных участков, снятых инструментально.

На всех просеках, визирах, линиях электропередач и связи, трассах газопроводов, прямолинейных дорогах и других ходовых линиях устанавливают пикетные колья через 100 м при Ia и I разрядах лесоустройства и через 200 м при прочих (рис. 112). На ходовых линиях 1000 м и длиннее ставят еще километровые колья. Нумерацию километровых и пикетных колеьев ведут в пределах квартала. На проезжих просеках колья и столбы ставят в стороне от проезжей части.

**Промер ходовых линий.** Требуется для установления длины квартальных просек, визиров и линий окружной межи, создания системы опорных точек, с которых ведут съемку внутренней ситуации. Пикетные и километровые колья на ходовых линиях используют для определения границ выделов; на планшете они создают систему опорных точек для накладки внутренней ситуации. (Технику измерения линий см. в гл. 5.)

Разрешается не промерять ходовые линии в тех кварталах, где на аэроснимках четко просматривается квартальная сеть и имеется достаточно ориентиров для привязки границ выделов.

**Съемка внутренней ситуации.** Выполняют способами, изложенными в гл. 6, 7, 10.

## § 67. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНОГО ПЛАНШЕТА

Изготовление оригинала лесоустроительного планшета включает его подготовку, составление геодезической основы, составление, вычерчивание и оформление планшета.

**Подготовка планшета.** Состоит из наклейки на полотно или лист алюминия высококачественной чертежной бумаги и разбивки прямоугольной сетки. В целях предотвращения деформации бумагу наклеивают заблаговременно, не менее чем за месяц до работы на ней.

**Составление геодезической основы.** На подготовленный планшет наносят опорные пункты и линии, т. е. составляют геодезическую основу. При этом используют: каталоги координат пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения, топографические карты, материалы фототриангуляции и съёмочного обоснования данной съёмки, а также смежных землепользований и прежнего лесоустройства. Экономически более выгодно составлять геодезическую основу по результатам ранее выполненных геодезических работ, по картам и аэроснимкам.

Геодезическую основу планшетов составляют как до выезда на полевые работы (по имеющимся материалам), так и в процессе их выполнения (по результатам измерений на местности). Точки и линии геодезической основы вычерчивают на планшете тушью, затем проводят на нем меридиан или линию, параллельную осевому меридиану зоны, о чем делают соответствующую запись.

По топографическим картам основу планшета составляют с использованием малодеформированных тиражных оттисков. Допустимое отклонение размеров сторон рамки от теоретического значения не более  $\pm 1$  мм, что проверяют контрольной линейкой. Наиболее удобно использовать карту одинакового с планшетом масштаба. В этом случае на нее наносят рамки планшетов, а на планшеты такую же прямоугольную сетку, как на карте. С карты копируют на планшет квартальную сеть, дороги, гидрографию, хребтовые и водосливные линии и все другие ориентиры, а также планшетные рамки.

При использовании карт масштаба более мелкого, чем у планшета, ориентиры копируют с карты при помощи оптических проекционных приборов. Границы лесного массива переносят так же, как и все другие объекты. Но если по карте они не опознаются, их показывают на планшете по геодезическим данным смежных землепользований или по результатам съёмки со специально проложенных теодолитных ходов. Точки поворота границы накладывают на план по их координатам или по выкопировкам с планов смежных землепользований, приведя их предварительно к масштабу планшета.

Наиболее распространенный способ составления геодезической основы планшето́в — по аэрофотоснимкам. Если плановую и высотную подготовку снимков выполняют полевыми геодезическими способами, то по снимкам изготовляют фотопланы на равнинные районы и ортофотопланы на горные. Если же опознаки на снимках определяют камерально по карте, на равнинные районы изготовляют уточненные фотосхемы, а на горные — чертежные планы. В дополнение к картам или вместо них для определения положения опознаков на снимках используют фотопланы и чертежные планы прошлого лесоустройства, а также планы и фотопланы землеустройства с границами смежных землепользований.

Изготовление фотопланов, фотосхемы и чертежных планов (см. гл. 10) включает следующие процессы: полевую или камеральную подготовку снимков, фотограмметрическое сгущение опорной сети, создание фотопланов (ортофотопланов) или чертежных планов, опознавание (нанесение) и вычерчивание окружающих границ, планшетных рамок и других квартальных линий.

Для составления планшетов на основе геодезических данных смежных землепользований, прежнего лесоустройства и новой съемки требуется согласование с органами землеустройства положений окружной границы устраиваемого лесного массива. Из геоданных землеустройства и лесоустройства прошлых лет выписывают в ведомость (см. табл. 9) номера поворотных точек окружной границы, расстояния и направления (дирекционные углы, румбы) между ними, увязанные углы, приращение координат и координаты. При этом выявляют участки, на которые нет геодезических данных; положение границы на них определяют проложением теодолитного хода.

Если окружная граница имеет большую протяженность, общий полигон разбивают на более мелкие полигоны-планшеты; на каждый из них составляют отдельную ведомость координат.

При составлении ведомостей проверяют, одинаково ли ориентированы линии разных землепользований, смежных с лесфондом. В противном случае находят разность дирекционных углов одного и того же участка границы; на эту величину изменяют дирекционные углы линий части межи меньшей протяженности, а по новым углам вычисляют координаты межевых знаков участка.

При наличии хорошо сохранившихся планшетов прежнего лесоустройства и отсутствии изменений в границах устраиваемого массива точки со старого планшета перекальвают на новый, проверяя длину линий. В случае сильного износа и деформации старых планшетов окружную границу и квартальную сеть накладывают на новые планшеты по старым геоданным.

Геодезическую основу создают методом проложения теодолитных ходов 1 и 2-го разрядов при отсутствии на устраиваемый объект карт, аэрофотоснимков и геоданных смежных землепользований. Этот метод применяют чаще всего при первичном лесоустройстве, а также при повторном устройстве особо ценных насаждений — парков и лесопарков, курортных лесов и пр. Полевые геодезические измерения (см. гл. 7) выполняют после установки граничных и квартальных столбов.

**Составление планшета.** Это перенос на него лесной ситуации, полученной при съемке и таксации. На фотоплан (фото-схему) переносят результаты топографического и лесного дешифрирования аэрофотоснимков и фотоабрисов (рабочих снимков) по идентичным контурам.

На графический план ситуацию наносят с полевых журналов, абрисов (фотоабрисов), фотопланов и фотосхем при помощи чертежных инструментов, картографических и фотограмметрических проекционных приборов. Последними оснащены специальные лаборатории. После сводки планшетных рамок и вычисления площадей план вычерчивают принятыми условными знаками.

### **Контрольные вопросы**

1. В каком порядке изготавливают лесоустроительные планшеты? 2. Расскажите о прорубке квартальных и визирных линий. 3. Как составляют геодезическую основу планшетов по картам и аэрофотоснимкам?

## **Глава 13. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПЕРЕНОС В НАТУРУ ОБЪЕКТОВ ЛЕСОУСТРОЙСТВА, ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ**

### **§ 68. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНОСА ПРОЕКТА В НАТУРУ**

Карты и планы (топографические, лесные, землепользований) используют при лесохозяйственном проектировании для расчетов, связанных с такими мероприятиями, как организация предприятий (лесхозов, леспромхозов и др.); разделение массивов на лесничества, лесоустроительные планшеты и кварталы; выделение лесосек и гидромелиоративного фонда; осуществление мер по лесовосстановлению, реконструкции насаждений, защите леса от вредителей и пожаров, использованию нелесных площадей; размещение производственных предприятий, дорог, жилых поселков, зон отдыха и туризма.

Подготовку данных для выноса в натуру (на местность) проектов инженерных сооружений<sup>1</sup> выполняют на основе гене-

<sup>1</sup> Термин «проект инженерного сооружения» условно отнесен также к проектам, составляемым при разбивке квартальной сети и отводе лесосек.

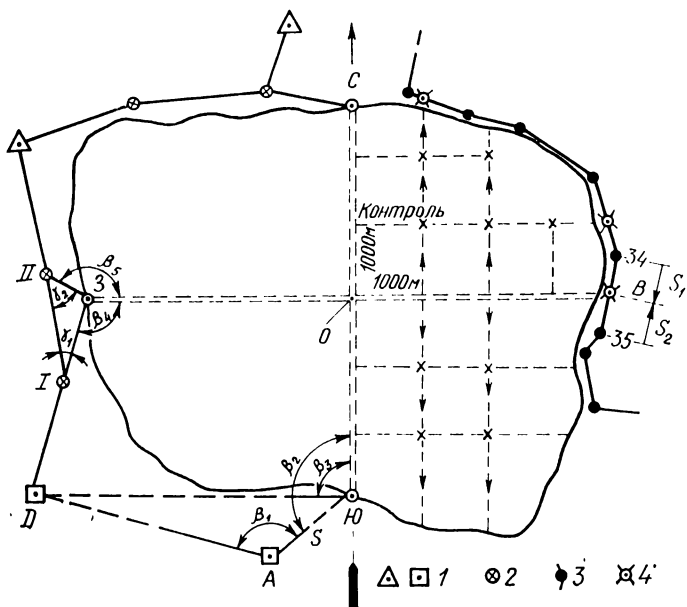


Рис. 113. Фрагмент проекта для выноса в натуру квартальной сети:  
*ЮС, ЗВ* — магистральные просеки; 1 — пункты ГГС; 2 — вершины теодолитного хода;  
 3 — граница смежного землепользования с межевыми знаками; 4 — проектные точки

ральных планов или законченных эскизных чертежей, обоснованных в хозяйственном и юридическом отношении. Для определения положения объекта на местности и разбивки его осей в плане определяют горизонтальные элементы проекта — горизонтальные углы и расстояния; для размещения объекта по высоте — превышения и уклоны. В зависимости от необходимой точности данные для выноса проекта в натуру готовят графическим, аналитическим и графоаналитическим способами.

При графическом способе подготовки данных (например, для выноса в натуру лесосеки) расстояния и углы измеряют на плане (лесостроительном планшете) при помощи чертежных инструментов; при аналитическом — элементы проекта вычисляют по координатам. Наиболее распространен графоаналитический способ: координаты проектных точек измеряют на плане, а координаты точек геодезической основы берут из ведомостей и каталогов координат. По ним вычисляют расстояния и направления.

Результаты подготовки данных отображают на разбивочном (рабочем) чертеже — схеме объекта с числовыми величинами, определяющими его плановое положение и размещение основных точек и осей. При проектировании лесопарков (парков) кроме разбивочных составляют посадочные чертежи, по кото-



рым определяют места посадки деревьев и кустарников. На разбивочный чертеж наносят: проектные границы, линии и точки; величины углов и линий, которые нужно построить и отложить в натуре; геодезические пункты или контурные точки, от которых намечен вынос проекта; нумерацию деталей объекта.

Несмотря на разнообразие объектов лесохозяйственного проектирования, методика подготовки данных для их переноса на местность одинакова. Ознакомимся с основными ее положениями на примере подготовки данных для выноса в натуру квартальной сети. Ее проект разрабатывают обычно при первом лесоустройстве по топографическим картам или фотопланам (фотосхемам). На карту или фотоплан (рис. 113) наносят магистральные и квартальные просеки.

Данные для выноса просек в натуру обычно готовят графическим способом, принимая за опорные пункты контурные точки карты или аэрофотоснимков. Но в ряде случаев для выноса магистралей, разбивки строительных площадок, сооружений в лесопарках применяют графоаналитический способ проектирования. Тогда опорными служат пункты государственной геодезической сети или межевые знаки, при их отсутствии — точки специально прокладываемых теодолитных ходов. Виды данных определяют в зависимости от возможности применения того или иного способа разбивочных работ.

Если между исходным и выносимым в натуру пунктом местность удобна для измерений мерной лентой, готовят данные для выноса способом полярных координат. Например, для выноса точки  $Ю$  от геодезического пункта  $A$  или какой-либо другой хорошо опознаваемой на местности и на карте (аэрофотоснимке) точки измеряют по карте полярный угол  $\beta_1$  и расстояние  $S$ . Чтобы задать направление просеки  $ЮС$ , в точке  $Ю$  карты измеряют угол  $\beta_2$  и для контроля  $\beta_3$ . При наличии препятствий для непосредственного измерения расстояний между исходной и выносимой точками готовят данные для работы способом угловых засечек. Для выноса точки  $З$  измеряют углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  между линией теодолитного хода  $I-II$  и направлениями на точку  $З$ . Направление прорубки просеки  $З-B$  задают углами  $\beta_4$  и  $\beta_5$ . По условиям взаимного размещения исходных пунктов и точки  $B$  последнюю выносят в натуру промерами отрезков  $S_1$  и  $S_2$  по створу 34—35. На этом створе целесообразно запроектировать положение точки  $B$ .

Помимо рассмотренных готовят данные для выноса точек линейными засечками, способом прямоугольных координат, створов, проектных теодолитных или буссольных ходов.

На карте (фотоплане) углы измеряют геодезическим транспортиром, отсчитывая его круг с точностью до  $10'$ . Предварительно стороны угла продолжают, чтобы они были несколько длиннее радиуса внешней окружности транспорта. Результаты измерения контролируют, составляя замкнутые полигоны.

Например, правильность измерения углов в точках  $A$ ,  $Ю$ ,  $З$  может быть проверена, если подсчитать сумму внутренних углов полигона  $ADIZOЮ$  и принять во внимание, что углы  $D$  и  $O$  — точные. Первый вычислен по разности дирекционных углов направлений  $DA$  и  $DI$ , а второй равен  $90^\circ$ . Невязка суммы углов полигона должна быть не больше  $\pm 0,5^\circ \sqrt{n}$ , где  $n$  — число углов, измеренных транспортиром. Только в эти углы (в данном случае  $\beta_1$ ,  $I$ ,  $\beta_4$  и  $\beta_2$ ) вводят поправки.

Аналитическим способом углы находят как разность дирекционных углов двух смежных направлений, например  $\beta_1 = \alpha_{AЮ} - \alpha_{AD}$ . Для определения  $\alpha_{AЮ}$  находят сначала

$$\operatorname{tg} r_{AЮ} = (y_{Ю} - y_A) / (x_{Ю} - x_A) = \Delta y / \Delta x,$$

а затем, учитывая знаки приращений координат  $\Delta y$  и  $\Delta x$ , вычисляют дирекционный угол. Дирекционный угол направления  $AD$  находят в каталоге (ведомости вычисления) координат геодезических пунктов.

Расстояния на карте (фотоплане) измеряют с использованием поперечного масштаба. Расхождение в длине линии, полученной из основных и контрольных измерений, не должно превышать  $0,7 \text{ мм} \cdot M$ , где  $M$  — знаменатель масштаба карты (фотоплана). Аналитическим способом расстояния определяют, например между точками  $A$  и  $Ю$ , решая обратную задачу

$$S_{AЮ} = \Delta x / \cos r = \Delta y / \sin r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}.$$

В измеренное по карте или вычисленное аналитически расстояние вводят поправку на угол наклона по формуле

$$\Delta D_v = h^2 / 2S, \quad (59)$$

в которой  $h$  — превышение между концами линии, установленное по горизонталям карты. Эта поправка всегда положительна. При подготовке данных по фотоплану, по которому превышение  $h$  определить невозможно, углы наклона более  $4^\circ$  (а при подготовке данных для разбивки строительных площадок более  $1^\circ$ ) измеряют теодолитом непосредственно при полевой работе. Тогда поправку вычисляют по формуле (24).

Поправку за компарирование землемерной ленты рассчитывают по формуле

$$\Delta D_k = \frac{l_0 - l}{l_0} S, \quad (60)$$

где  $l_0$ ,  $l$  — номинальная (например, 20 м) и фактическая длина ленты.

Поправку за температуру вводят во время полевых работ, если разность температур во время компарирования  $t_{\text{комп}}$  и при работе лентой  $t_{\text{раб}}$  составляет более  $8^\circ \text{C}$ . Ее вычисляют по формуле

$$\Delta D_t = \alpha S (t_{\text{комп}} - t_{\text{раб}}), \quad (61)$$

где  $\alpha$  — коэффициент расширения стали (0,000012).

Поправку вводят со знаком плюс, если температура во время работы ниже, чем при компарировании, и наоборот.

Подготовка данных для выноса в натуру лесосеки после проектирования ее площади (см. § 25) также состоит в определении по лесоустроительному планшету преимущественно графическим способом угловых и линейных величин, необходимых для закрепления на местности углов лесосеки столбами и прорубки ее границ.

## § 69. СПОСОБЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

**Способы разбивочных работ.** В отличие от съемки местности разбивка сооружений представляет собой построение горизонтальных углов и линейных отрезков, величины которых определены техническим проектом. Ее ведут теми же способами, что и съемку, но с учетом некоторых особенностей.

При способе угловых засечек (рис. 114, а) проектную точку  $C$  выносят на местность построением проектных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  при базисе  $AB$ . Чтобы закрепить точку  $C$  на местности, в предполагаемом районе ее размещения (рис. 114, б) на каждом направлении выставляют пару вех ( $a, a'$  и  $b, b'$ ) и натягивают между ними проволоки. В их пересечении забивают кол, обозначая точку  $C$ . При способе линейных засечек (рис. 114, в) работают сразу двумя лентами (рулетками), находя проектную точку  $C$  в пересечении отсчетов  $d_1$  и  $d_2$  на лентах.

Способом проектного полигона (рис. 114, г), схожим со способом обхода при съемке, выносят в натуру канавы, дороги, противопожарные барьеры, лесные полосы, границы лесосек ломаной формы. Он состоит в последовательном определении поворотных точек полярным способом. Разбиваемые точки включают в теодолитный (буссольный) ход. В отличие от съемки ход уравнивают не на плане, а в натуре, перемещая зафиксированные точки параллельно невязке  $f_L$  и пропорционально длине по направлениям, обратным направлению невязки. Величину смещения вычисляют по формуле

$$\delta_i = (f_L/L) \sum_1^i S, \quad (62)$$

где  $L$  — периметр хода;  $\sum_1^i S$  — сумма сторон хода от начальной до данной точки.

**Элементы разбивочных работ.** Горизонтальные элементы проекта выносят в натуру построением горизонтальных углов и линий заданной величины, вертикальные — построением точек с заданными отметками и линий (плоскостей) с заданными уклонами.

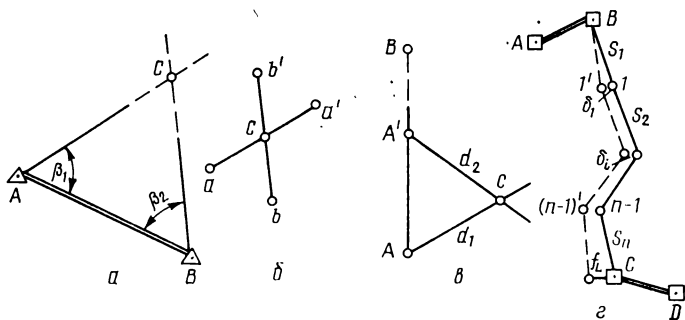


Рис. 114. Особенности применения способов разбивочных работ

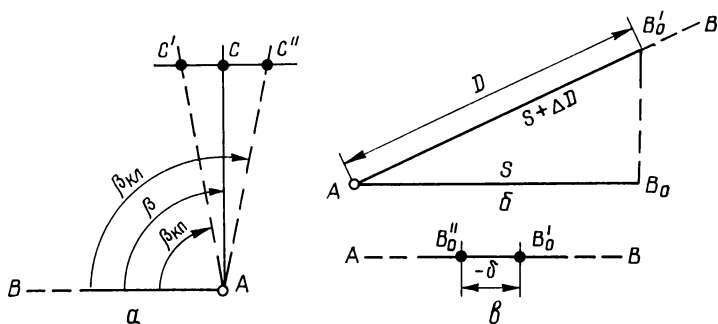


Рис. 115. Построение на местности угла заданной величины  $\alpha$  и линии заданной длины  $b, \nu$

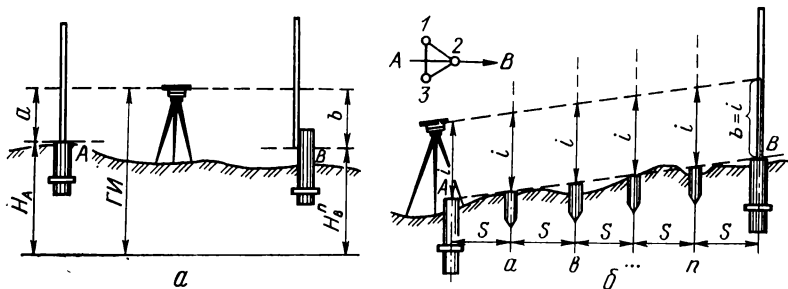


Рис. 116. Вынос в натуре точки с заданной проектной отметкой  $a$  и линии заданного уклона  $b$ :

1—3 — подъемные винты нивелира

Угол заданной величины  $\beta$  (рис. 115, а) в точке  $A$  от направления  $AB$  строят теодолитом в определенной последовательности. Визируют на точку  $B$  при круге право, имея на горизонтальном круге отсчет  $0^{\circ}00'$ . Алидаду открепляют и поворачивают так, чтобы на круге был отсчет, равный проектному

углу. В направлении линии визирования выставляют вежу или шпильку  $C'$ , фиксирующую угол  $C'AB = \beta_{\text{кп}}$ . Аналогично строят угол при круге лево и отмечают вторую точку  $C''$ . Точка  $C$  в середине отрезка  $C'C''$  находится в проектном положении, так как она лежит на стороне угла  $\beta$ , свободного от коллимационной ошибки.

Линию заданной длины  $S$  (рис. 115, б) от точки  $A$  в установленном направлении  $AB$  строят в следующем порядке. Откладывают землемерной лентой отрезок  $D = S + \Delta D$ , где  $\Delta D = \Delta D + \Delta D_{\text{к}} + \Delta D_t$  — сумма поправок, вычисляемых по формулам (24) или (59), (60), (61).

Отложенное расстояние контролируют повторным измерением, а при разбивке площадок для строительства промышленных и гражданских сооружений отложенный отрезок  $D$  измеряют 4—6 раз, находят его вероятнейшую длину  $D_{\text{в}}$  и составляют разность  $\delta = D - D_{\text{в}}$ . На величину этой разности (с учетом знака) смещают кол из точки  $B_0$  по линии  $AB$  в точку  $B$  (рис. 115, в), где его закрепляют окончательно.

Точку с проектной отметкой (рис. 116, а) выносят в натуру нивелиром, который устанавливают примерно посередине между репером (пикетом)  $A$  с известной отметкой  $H_A$  и точкой  $B$ , проектную отметку  $H_B^{\text{п}}$  которой необходимо обозначить на местности. Визируя на черную сторону рейки, стоящей на репере, читают отсчет  $a$ . По нему и высоте репера находят горизонт инструмента  $ГИ = H_A + a$ , а затем по формуле

$$b = ГИ - H_B^{\text{п}} \quad (63)$$

предвычисляют отсчет  $b$ , который читают по рейке в точке  $B$ , если ее пятка совпадает с проектной отметкой  $H_B^{\text{п}}$ . Отсчет  $b$  имеет большое значение в строительстве. Его называют высотой проектной рейки. В точке  $B$  закапывают столб и вдоль него передвигают рейку, изменяя ее высоту до тех пор, пока на линии визирования не окажется отсчет  $b$ . Тогда на столбе против пятки рейки делают отчетливую метку.

Построение на местности линии заданного уклона (рис. 116, б) включает вынос в натуру проектных отметок концов  $A$  и  $B$  этой линии, выполняемый рассмотренным выше способом, и закрепление ее кольями через равные промежутки  $S$ . При выполнении второй части работы на точке  $A$  устанавливают нивелир так, чтобы подъемный винт  $1$  был расположен по направлению линии  $AB$ , а винты  $2$  и  $3$  — перпендикулярно ей. Измеряют высоту  $i$  нивелира и вращением винта  $1$  устанавливают среднюю горизонтальную нить на отсчет  $i$  по рейке в точке  $B$ . В точках  $a, b, \dots, n$  забивают колья так, чтобы отсчеты на рейке, установленной на них, везде были равны  $i$ . Нивелир Н-10Л наводят сначала грубо на отсчет, равный  $i$ , наклоня его в шаровой пяте, а затем точно — элевационным

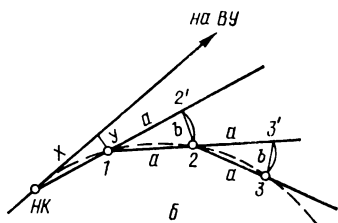
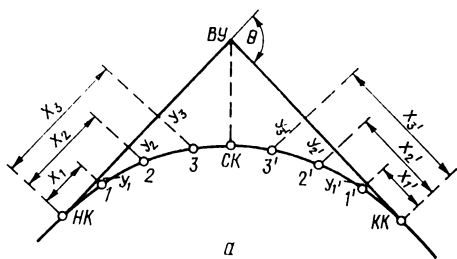


Рис. 117. Детальная разбивка кривых способами прямоугольных координат *a* и продолженных хорд *b*

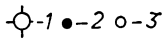
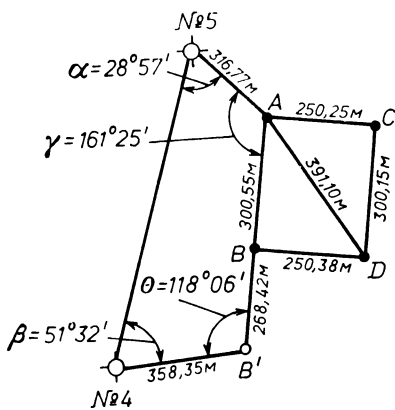


Рис. 118. Разбивочный чертеж:  
1 — исходные пункты; 2 — проектные точки; 3 — вспомогательная точка

винтом. При больших уклонах вместо нивелира используют теодолит.

Детальную разбивку кривых на трассах (рис. 117) выполняют чаще всего способами прямоугольных координат и продолженных хорд: первым — на открытой равнинной местности, вторым — на закрытой (лесистой, горной). В обоих случаях по таблицам для разбивки кривых вычисляют положение точек 1, 2, 3... на кривой. По способу прямоугольных координат (рис. 117, *a*) в таблице, рассчитанной по формуле (47), находят координаты  $x$  и  $y$  точек кривой в системе, показанной на рис. 87. Входными данными в таблицу являются радиус  $R$  кривой и интервал  $k$  между точками. Кривую разбивают от ее начала по тангенсу в сторону вершины угла поворота, последовательно откладывая землемерной лентой абсциссы  $x_1, x_2, \dots$ . Из их концов восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают ординаты  $y_1, y_2, \dots$ . Концы ординат закрепляют кольями. Разбив первую половину кривой, таким же способом разбивают вторую, начиная работу с конца кривой.

При подготовке данных по способу продолженных хорд (рис. 117, *b*) по радиусу кривой и принятой длине хорды  $a$

в таблицах находят величину промежуточного перемещения  $b$ , а также координаты  $x$  и  $y$  первой (последней) точки кривой, лежащей на расстоянии  $a$  от начала (конца) кривой. Разбивку начинают от начала или конца кривой. Первую точку строят по способу прямоугольных координат. Для построения второй точки протягивают землемерную ленту по продолжению хорды  $HK-1$ . По ленте находят отрезок  $1-2'$ , равный  $a$ , и в конце его ставят шпильку. Далее конец ленты перемещают в точку  $1$  и из нее описывают дугу радиусом, равным  $a$ , а из точки  $2'$  рулеткой описывают дугу радиусом  $b$ . В пересечении дуг получают и закрепляют колом точку  $2$ , находящуюся на кривой. Аналогично строят все другие точки на кривой.

## § 70. ВЫНОС В НАТУРУ ПРОЕКТОВ НЕКОТОРЫХ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Площадки под промышленные и гражданские сооружения и некоторые лесохозяйственные объекты (например, питомники, лесные культуры и др.) разбивают наиболее точными способами в определенной последовательности, кривую проследим на примере выноса в натуру границ лесопитомника по разбивочному чертежу (рис. 118). При составлении чертежа учтено, что отсутствует видимость с исходных пунктов № 4 и 5 (съёмочные или контурные точки) на точку  $B$ . Поэтому в створе стороны  $AB$  питомника выбрана вспомогательная точка  $B'$ , видимая с точки № 4. Сначала в натуру выносят сторону  $AB$ , лежащую на прямой  $AB'$ . Для этого последовательно устанавливают в точках № 5 и 4 теодолит, откладывают им углы  $\alpha$  и  $\beta$  и провешивают, визируя в трубу, стороны № 5 —  $A$  и № 4 —  $B'$ . На стороне № 5 —  $A$  землемерной лентой откладывают ее разбивочную длину (316,77 м), введя предварительно необходимые поправки. На конце отложенного расстояния ставят кол и от него линию измеряют в обратном направлении. Оценивают точность измерения линии, вычисляют ее среднюю длину и окончательно закрепляют угол  $A$  столбом. Аналогично находят положение точки  $B'$ .

Чтобы проверить правильность выноса в натуру линии  $AB'$ , теодолитом измеряют углы  $\gamma$  и  $\theta$ . Расхождения между измеренным и вычисленным значением любого угла зависят от расстояния между исходной и определяемой точками, а также от способа подготовки данных. Если расстояние на плане 200 мм, расхождение может достигнуть  $\pm 20'$  при графоаналитическом способе подготовки данных и  $\pm 30'$  при графическом. Если оно больше, ошибки следует искать в ранее выполненных построениях.

Положение точки  $B$  находят, отложив сторону  $AB$ , а также выполнив контрольное измерение отрезка  $BB'$ . Точки  $C$  и  $D$  находят угловыми и линейными построениями по рассмотренной выше методике. Правильность разбивки участка (сооружения) контролируют промерами его диагоналей. Среднее из измерений одной диагонали должно отличаться от ее вычисленного (проектного) значения не более чем на 1 : 2000 длины диагонали.

Вынос в натуру квартальной сети начинают с определения на границе массива точек, например  $Ю$  и  $З$  (см. рис. 113), выбранных для прорубки магистралей. Применяют те же приемы, что и при выносе в натуру углов

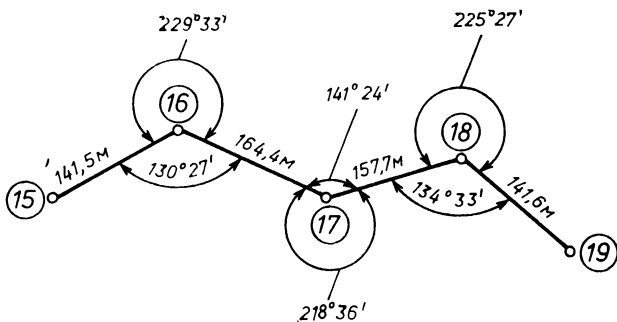


Рис. 119. Геодезические данные границы лесопользования (фрагмент)

сооружений (участков). Направление просеки находят на стороне угла  $\beta_2$ , выставив на ней веху. Правильность ее установки контролируют, отложив угол  $\beta_3$ . Если между заданными направлениями расхождение не выходит за пределы, соответствующие точности подготовки данных, за окончательное направление берут среднее. В процессе прорубки просеки тщательно контролируют выдерживание направления при помощи теодолита. Отклонение конца магистральной просеки от проектного положения при графическом способе подготовки данных по картам масштабов 1 : 10 000—1 : 50 000 может составлять соответственно 10—50 м, при графоаналитическом (с привязкой к геодезическим пунктам) 4—20 м.

Вершины кварталных просек находят на магистралях в процессе промера ходовых линий, а направление их прорубки задают построением прямых углов от осей магистралей. Сначала прорубают просеки, параллельные короткой стороне магистрали. Точность выдерживания направления рубки оценивают по отклонению концов просек от ориентиров на окружной меже. После этого в натуру выносят перпендикулярные им просеки и контролируют положение их вершин. При длине кварталных просек 1 км допустимое отклонение положения вершины от проектного 1,5—3 м, а при 4 км — 6—12 м.

Вынос в натуру лесосеки сводится к определению и закреплению на местности ее углов и прорубке визиров между ними. Опорными точками и линиями служат кварталные столбы и просеки, к которым обычно привязывают лесосеку. Чтобы закрепить на местности положение лесосеки  $АСМ$  (см. рис. 40, в), от кварталного столба  $B$  откладывают на просеке  $BC$  отрезок  $BM$ ; точность контролируют промером расстояния  $MC$ . Допустимое расхождение между проектной и отложенной величинами 1 : 300. Точку  $M$  закрепляют визирным столбом. В точке  $A$  теодолитом или буссолью строят проектный угол  $\alpha_2$ , задавая направление визира  $AM$ . Прямолинейность визира контролируют способами, рассмотренными выше. При правильной работе он должен пройти через столб  $M$ . Если этого не случится, то по выходе на кварталную просеку, например в точку  $M'$ , измеряют рулеткой невязку  $MM'$ . Зная расстояние  $AM$  и полагая (по малости  $\Delta\alpha$ ), что угол  $AM'M \approx \alpha_1$ , из решения треугольника  $AM'M$  по теореме синусов находят  $\Delta\alpha = MM' \rho \sin \alpha_1 / AM$ , где  $\rho = 3438'$  число минут в радиане. На величину  $\Delta\alpha$  следует исправить



положение границы лесосеки, вновь установив прибор в точке А. Если  $\Delta\alpha \leq 10'$ , работа выполнена правильно.

Границы лесосеки, запроектированной в виде ломаной линии (см. рис. 114, з), выносят в натуру теодолитным (буссольным) ходом. В нем откладывают на местности величину проектных углов и линий, определяя таким образом положение точек поворота границы и соединяющих их визиров. В случае недопустимой невязки, изменяющей площадь лесосеки на 3—5 %, ее устраняют по формуле (62).

При повторном лесоустройстве нередко возникает задача по восстановлению границы лесопользования. Для ее решения используют материалы прошлого лесоустройства, составляют и согласовывают с отделом землеустройства схему геоданных (рис. 119). Полевую работу начинают с того участка границы, на котором сохранилось два смежных знака, например 15 и 16. На горизонтальном круге теодолита в пункте 16 устанавливают отсчет, равный правому по ходу углу между направлениями на соседние знаки, в данном случае  $130^{\circ}27'$ . С этим отсчетом наводят трубу на заднюю точку. Затем, открепив алидаду, устанавливают на круге отсчет  $0^{\circ}$ . Линия визирования направлена на знак 17. В этом направлении прорубают и провешивают визир, по нему лентой откладывают расстояние до знака 17. Если в конце отрезка не обнаружен столб или хотя бы курган, положение линии визирования уточняют, отложив правый угол при двух положениях вертикального круга. Вторично измеряют линию и по уточненным данным ведут раскопку на глубину 60—70 см. Вместо утраченного знака забивают кол, на котором указывают номер знака. Дальнейшую работу в том же порядке ведут с восстановленного знака. Результаты измерений заносятся в журнал теодолитной съемки. Копию журнала передают главному инженеру-землеустроителю района для внесения исправлений в геоданные смежеств.

## **§ 71. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВЫНОС В НАТУРУ ОБЪЕКТОВ ЛЕСОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ И АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ**

Участки осушения заболоченного или избыточно увлажненного массива леса определяют по материалам натуральных изысканий и топографическим картам масштабов 1 : 10 000—1 : 25 000. Технический проект объекта гидролесомелиорации составляют по топографическому плану масштабов 1 : 5000—1 : 10 000, на котором детально изображен рельеф горизонталями через 1 м и полугоризонталями. Съемку местности в целях изготовления такого плана ведут в основном способом нивелирования поверхности. На топографическом плане составляют проект размещения осушительной сети: осушителей, собирателей, магистральных каналов и водоприемников (рек и ручьев). По плану готовят и разбивочные чертежи в целях выноса элементов сети в натуру.

После выноса и прорубки трасс осушительной сети по ним прокладывают нивелирные ходы для определения отметок пикетов (через 100 м) и плюсовых точек. На каждом пикете зонди-

руют глубину торфяного слоя. По материалам нивелирования составляют продольный профиль трассы, при помощи которого рассчитывают проектные уклоны и отметки будущего канала. Кроме того, определяют и показывают на профиле ширину (по верху) и глубину канала, а также ширину разрубки трассы в соответствии с установленными техническими требованиями. Объемы выемок рассчитывают с помощью специальных таблиц.

Объекты агролесомелиорации проектируют по топографической карте или плану землепользования в масштабе 1:10 000 с изображением рельефа. Можно также использовать топографические карты (планы) масштаба 1:25 000. Но на сильно эродированные участки, где намечено строительство противозерозионных сооружений, с карты изготовляют увеличенную до масштаба 1:10 000 фотокопию, которую уточняют полевым обследованием.

Для проектирования и переноса в натуру противозерозионных гидротехнических сооружений (водозадерживающих и водонаправляющих валов, нагорных канав, распылителей стока, террас и др.) в районах их размещения ведут съемку местности в масштабах 1:1000—1:2000 с высотой сечения рельефа 0,5—1 м. Обычно нивелированием или тахеометрией снимают площадку размещения сооружения и окаймляющую ее полосу местности на 30—50 м. При съемке закладывают 2—3 временных репера в местах, где они не будут повреждены при строительстве и дальнейшем росте оврагов.

Защитные лесонасаждения проектируют в комплексе с размещением полей, дорог, скотопрогонов и пр. Полосы намечают в зависимости от характера рельефа. На равнине со склонами крутизной до 4° их нарезают прямолинейно вдоль горизонталей так, чтобы наклон был не более 1,5—2°, что предотвращает размыв почвы по краю. На крутых склонах полосы размещают криволинейно по горизонталям.

Прямолинейные полосы переносят в натуру способами, рассмотренными в § 70. Аналогично переносят на местность начальную и конечную точки полосы, размещаемой на горизонтали, а положение других ее точек определяют нивелиром. Для этого рейку ставят в начальной точке, а нивелир примерно на одном уровне с ней в 100—200 м по ходу полосы. По черной стороне рейки читают отсчет  $b$  (см. рис. 116, *a*), являющийся высотой проектной рейки. Далее через каждые 30—50 м рейку ставят в предполагаемых точках полосы, путем проб находят их и закрепляют кольями или вехами. Отсчет в этих точках должен быть равен  $b$  с отклонением не более 5—7 см. Последнюю точку со станции I находят с несколько большей точностью. Рейку держат на этой точке, а нивелир переносят на станцию II. С нее определяют новую высоту проектной рейки и продолжают работу тем же способом. По окончании трассирования по найденным точкам пропахивают борозду.

Широкую лесную полосу выносят на местность обычно предложением по одной ее стороне проектного теодолитного хода. Данные для построения углов и линий хода снимают графически с карты. Положение поворотных точек другой стороны полосы находят на биссектрисах углов поворота, которые строят вместе с определением главных точек закруглений полосы. При этом радиус  $R$  кривой принимают равным ширине  $S$  полосы.

Противозрозионные гидротехнические сооружения выносят в натуру способами, рассмотренными в § 70 и 71.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные задачи лесохозяйственного проектирования по картам и планам. 2. Какими способами готовят геодезические данные для переноса проекта в натуру? 3. Назовите и охарактеризуйте способы ведения разбивочных работ. 4. Как строят на местности углы и линии заданной величины? 5. Расскажите о выносе в натуру вертикальных элементов проекта. 6. Назовите порядок геодезических работ при восстановлении границы лесопользования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. **Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981.**
2. **Сборник декретов и документов о становлении лесной промышленности. 1917—1921 гг. М., 1978.**
3. **Баршай С. Е., Нестеренок В. Ф., Хренов Л. С. Инженерная геодезия. Минск, 1976.**
4. **Байтин А. А. и др. Лесоустройство. М., 1974.**
5. **Дворяшин Л. В., Кармазин А. У. Лесная крупномасштабная аэрофото-съемка с вертолетов. М., 1977.**
6. **Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:10 000 и 1:25 000. Полевые работы. М., 1978.**
7. **Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., 1973.**
8. **Инструкция по устройству государственного лесного фонда СССР. М., 1964.**
9. **Лобанов А. Н. Аэрофототопография. М., 1978.**
10. **Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Высотные сети. М., 1977. 208 с.**
11. **Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Наземные съемки. М., 1977.**
12. **Сухих В. И., Гусев Н. Н., Данюлис Е. П. Аэрофотометоды в лесоустройстве. М., 1977.**
13. **Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., 1973.**
14. **Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000. М., 1977.**
15. **Уткин А. Я. Съёмочные работы при лесоустройстве и в лесном хозяйстве. М., 1977.**
16. **Хренов Л. С., Мепуришвили Г. Е., Недешева Л. П. Практикум по геодезии. М., 1977.**

- Абрис** 84, 85, 110, 159, 166  
**Азимут** 29, 30, 31, 79  
**Аэрофотоснимки** 145  
 — маршрута 147  
 — площади 147  
 — спектрональные 147, 148  
 — цветные 147  
 — черно-белые 147  
**Буссоль** 77  
 — геодезическая универсальная 79  
 — лесная 79  
 — ручная приземная 78—80  
 — штативная 77—79  
**Верньер** 80—81, 94—95  
**Все измерения** 55—56  
**Вешние линии** 68—70, 131  
**Визирование** 79, 97  
**Геодезическая задача**  
 — — прямая 45  
 — — обратная 46  
 — сеть  
 — — государственная 48  
 — — сгущения 48  
 — — съемочная 49  
**Геодезия** 5  
**Геоид** 8  
**Гониометр** 77, 80  
**Горизонтальное проложение** 11, 71, 73, 74  
**Дальномеры**  
 — двойного изображения 75—76  
 — нитяные 73—75  
 — светодальномеры 76—77  
**Дирекционный угол** 29, 44, 113—114  
**Заложение** 37  
**Землемерная лента** 67—68  
**Измерения** 51  
 — неравноточные 51  
 — равноточные 51  
 — на местности  
 — — вертикальных углов 90, 163—165  
 — — горизонтальных углов 90, 102—104, 108  
 — — превышений 123—124, 136—140  
 — — расстояний 67, 68, 70, 73—77, 108, 177  
 — — по карте  
 — — высот (отметок) и превышений 40  
 — — географических координат 26  
 — — дирекционных углов 29  
 — — крутизны скатов 40  
 — — прямоугольных координат 27—28  
 — — уклонов 41  
 — — площадей  
 — — аналитические 61—63  
 — — графические 58, 59  
 — — комбинированные 62, 64  
 — — механические 59—61  
**Искажения**  
 — на картах 9, 10  
 — — снимках 149—150  
**Карта** 15  
 — лесная 21, 35—37  
 — лесного хозяйства 22  
 — лесной промышленности 22  
 — лесхоза схематическая 21, 26  
 — общегеографическая 19  
 — тематическая 19  
 — топографическая 20, 34—35  
**Квартал лесной** 174—175, 180—181  
**Компарирование лент** 67—68  
**Координаты** 12  
 — географические 12—13, 26—27  
 — плоские прямоугольные 13, 27—28, 86  
 — полярные 15, 87  
**Масштаб** 15  
 — аэрофотоснимков 148—149  
 — именованный 15  
 — линейный 15  
 — поперечный 16  
 — численный 15  
**Накидной монтаж** 153  
**Невязка**  
 — абсолютная 114  
 — высотная 140, 168—169  
 — линейная 88  
 — приращений координат 114, 117  
 — относительная 115  
 — угловая 113, 116

- Нивелир 123, 124—127  
Нивелирование 123  
— геометрическое 123—124  
— трассы 136—140  
— тригонометрическое 161—163  
Определение координат пунктов методами  
— — — — геодезических засечек 118—119  
— — — — из четырехугольников без диагоналей 119—120  
— — — — полигонометрии 46  
— — — — теодолитных ходов 111—114, 117—118  
— триангуляции 44, 46  
— трилатерации 46  
Отсчетный микроскоп 93  
Перекрытия аэрофотоснимков 147, 153—154  
План 15  
— лесонасаждений 21, 26  
Планиметр 59—61  
Планшет лесоустроительный 21, 84, 159, 178—180  
Поверки  
— буссолей 81—84  
— нивелиров 127—129  
— теодолитов 99—102  
Погрешность 52  
— абсолютная 53  
— вероятнейшая 53  
— грубая 52  
— измерения углов 105  
— истинная 53  
— нивелирования 129—130  
— относительная 53—54  
— систематическая 52  
— случайная 52  
— средняя квадратическая 54  
Поправка направления 33, 84  
Проектирование участков заданной площади 64—66  
Просека 69, 174—175, 182, 188—189  
Профиль 15, 69, 138, 141—144  
Разбивочные работы 184—188  
Рекогносцировка 107  
Румб 29  
Сетка нитей 96, 99  
Среднее арифметическое 53  
— общее (весовое) 56, 115—118  
Стереомодель 150—151  
Стереозффект 151—152  
Съемка 5  
— аэрофототопографическая 43  
— буссольная 77, 84  
— вертикальная 43  
— горизонтальная 43  
— лесная 5  
— мензульная 170—172  
— наземная 43  
— основная 42  
— подробностей местности 85—87  
— специализированная 42—43  
— тахеометрическая 160—161, 165—168  
— теодолитная 89  
— топографическая 11  
— трассы 131—135  
Теодолит 90—91, 97—98  
Трансформирование аэрофотоснимков 157—158  
Труба зрительная 95—97  
Увязка площадей 63  
Угломерные круги 93  
Указатель ската (бергштрих) 38  
Уровень 91  
Условные обозначения 33  
Фотоплан 158—159  
Фотосхема 158—159  
Ход геодезический 45  
— буссольный 84—85  
— мензульный 172  
— нивелирный 123, 137—140  
— тахеометрический 165—170  
— теодолитный 106—107, 131—132  
Эккер 86  
Эклиметр 71—73

	стр.
Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>РАЗДЕЛ I. Планы и карты. Основы лесной съемки</b>	
<b>Глава 1. Изображение земной поверхности на планах и картах . . .</b>	<b>8</b>
§ 1. Понятие о форме и размерах Земли . . . . .	8
§ 2. Понятие о картографических проекциях. Проекция Гаусса и ее свойства . . . . .	9
§ 3. Системы координат, применяемые при съемке местности и использовании карт . . . . .	12
§ 4. Карта, план и профиль местности . . . . .	15
§ 5. Масштабы. Измерение расстояний по карте . . . . .	16
§ 6. Классификация и назначение карт и планов . . . . .	19
§ 7. Разграфка и номенклатура карт . . . . .	22
§ 8. Координатные сетки на топографических картах. Определение координат по картам . . . . .	26
§ 9. Ориентирование линий. Измерение по карте дирекционных углов и азимутов . . . . .	29
§ 10. Изображение ситуации местности на топографических и лесных картах (планах) . . . . .	33
§ 11. Изображение рельефа местности на картах и планах. Изучение рельефа по карте . . . . .	37
<b>Глава 2. Принципы и методы выполнения съемочных работ . . . . .</b>	<b>42</b>
§ 12. Виды и методы съемок. Принципы организации съемочных работ . . . . .	42
§ 13. Основные геодезические задачи . . . . .	44
§ 14. Методы определения планового положения точек местности . . . . .	46
§ 15. Опорные геодезические сети . . . . .	47
§ 16. Обозначение и закрепление на местности пунктов съемочной сети . . . . .	49
<b>Глава 3. Начальные сведения из теории погрешностей . . . . .</b>	<b>51</b>
§ 17. Виды измерений и их погрешности . . . . .	51
§ 18. Применение теории погрешностей к равноточным измерениям . . . . .	52
§ 19. Применение теории погрешностей к неравноточным измерениям . . . . .	55
§ 20. Понятие о средствах и правилах вычислений . . . . .	57
<b>Глава 4. Определение площадей . . . . .</b>	<b>58</b>
§ 21. Графический способ . . . . .	58
§ 22. Механический способ . . . . .	59
§ 23. Аналитический способ . . . . .	61
§ 24. Увязка площадей. Порядок вычисления площади планшета, квартала, выдела . . . . .	63
§ 25. Проектирование участков заданной площади . . . . .	64

## РАЗДЕЛ II. Горизонтальные съемки

Глава 5. Линейные измерения . . . . .	67
§ 26. Измерение расстояния лентами . . . . .	67
§ 27. Измерение расстояния дальномерами . . . . .	73
Глава 6. Съемка буссолью и гониометром . . . . .	77
§ 28. Буссоли и гониометр . . . . .	77
§ 29. Полевые работы при буссольной съемке . . . . .	84
§ 30. Составление плана по материалам буссольной съемки . . . . .	88
Глава 7. Теодолитная съемка . . . . .	89
§ 31. Область применения и технологическая схема теодолитной съемки . . . . .	89
§ 32. Назначение, принцип устройства и классификация теодолитов . . . . .	90
§ 33. Устройство теодолитов . . . . .	91
§ 34. Конструктивные особенности теодолитов, применяемых на лесных съемках . . . . .	97
§ 35. Поверки и юстировки теодолитов . . . . .	99
§ 36. Измерение горизонтальных углов . . . . .	102
§ 37. Полевые работы по созданию геодезической основы лесоустроительных планшетов методом проложения теодолитных ходов . . . . .	106
§ 38. Съемка подробностей местности . . . . .	109
§ 39. Вычисление координат вершин теодолитных ходов . . . . .	111
§ 40. Уравновешивание системы теодолитных ходов, образующих узловую точку . . . . .	115
§ 41. Определение пунктов планового съемочного обоснования методом геодезических засечек и четырехугольников без диагоналей . . . . .	118
§ 42. Составление плана участка местности по материалам теодолитной съемки . . . . .	120

## РАЗДЕЛ III. Вертикальные съемки

Глава 8. Приборы геометрического нивелирования . . . . .	123
§ 43. Сущность геометрического нивелирования. Классификация нивелиров . . . . .	123
§ 44. Нивелиры и нивелирные рейки . . . . .	124
§ 45. Поверки нивелиров и реек . . . . .	127
§ 46. Погрешности и точность нивелирования . . . . .	129
Глава 9. Нивелирование трассы . . . . .	130
§ 47. Назначение и содержание работ. Закрепление трассы . . . . .	130
§ 48. Горизонтальная съемка трассы и разбивка пикетажа . . . . .	131
§ 49. Полевые работы при нивелировании . . . . .	136
§ 50. Камеральная обработка результатов горизонтальной и вертикальной съемок трассы . . . . .	140
§ 51. Проектирование по профилю . . . . .	142

## РАЗДЕЛ IV. Топографические съемки

Глава 10. Основы аэрофототопографической съемки . . . . .	145
§ 52. Сущность аэрофототопографической съемки. Виды аэроснимков, используемых при лесной съемке и таксации леса . . . . .	145
§ 53. Геометрические свойства аэрофотоснимков . . . . .	148
§ 54. Оценка качества аэрофотоснимков . . . . .	153
§ 55. Плановое и высотное обоснование аэрофототопографической съемки. Понятие о фототриангуляции . . . . .	154
§ 56. Трансформирование аэрофотоснимков . . . . .	157
§ 57. Фотопланы и фотосхемы . . . . .	158



§ 58. Фототопографический метод лесной съемки. Дешифрирование аэрофотоснимков . . . . .	159
<b>Глава 11. Наземные топографические съемки . . . . .</b>	<b>160</b>
§ 59. Сущность тахеометрической съемки. Тахеометры . . . . .	160
§ 60. Формулы определения превышений тригонометрическим нивелированием . . . . .	161
§ 61. Измерение вертикальных углов . . . . .	163
§ 62. Полевые работы при тахеометрической съемке . . . . .	165
§ 63. Камеральные работы при тахеометрической съемке . . . . .	168
§ 64. Мензуральная съемка . . . . .	170
<b>РАЗДЕЛ V. Геодезические работы при лесоустройстве, организации лесного хозяйства и лесомелиорации</b>	
<b>Глава 12. Организация и технология съемочных работ при лесоустройстве</b>	<b>173</b>
§ 65. Основные положения и нормативы, применяемые при организации съемок в целях инвентаризации лесных площадей . . .	173
§ 66. Организация съемочно-геодезических работ в планшете, урочище	174
§ 67. Изготовление лесоустроительного планшета . . . . .	178
<b>Глава 13. Геодезическое проектирование и перенос в натуру объектов лесоустройства, лесного хозяйства и лесомелиорации . . .</b>	<b>180</b>
§ 68. Подготовка данных для выноса проекта в натуру . . . . .	180
§ 69. Способы и элементы геодезических разбивочных работ . . .	184
§ 70. Вынос в натуру проектов некоторых лесохозяйственных объектов . . . . .	188
§ 71. Геодезическое проектирование и вынос в натуру объектов лесосушительной мелиорации и агролесомелиорации . . . . .	190
Список литературы . . . . .	193
Предметный указатель . . . . .	196

**Семен Дмитриевич Дубов**  
**Александр Николаевич Поляков**

## **ЛЕСНАЯ СЪЕМКА**

**ИБ № 1294**

Редактор издательства Э. И. Снегирева  
Переплет художника В. Д. Петухова  
Художественный редактор В. Н. Журавский  
Технический редактор Н. М. Серегина  
Вычитка Г. К. Пигрова  
Корректоры Н. К. Пехтерева, Ж. А. Лобанова

Сдано в набор 13.07.81. Подписано в печать 23.12.81.  
Т-30432. Формат 60×90/16. Бумага типографская № 1.  
Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ.  
л. 12,5. Усл. кр.-отт. 12,5. Уч.-изд. л. 13,61. Тираж  
9600 экз. Заказ 1585. Цена 70 коп.

Издательство «Лесная промышленность», 101000,  
Москва, ул. Кирова, 40а

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового  
Красного Знамени Ленинградского объединения «Тех-  
ническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполи-  
графпрома при Государственном комитете СССР по  
делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

## НОВЫЕ КНИГИ

Издательство «Лесная промышленность» в 1982 г. выпускает следующие книги:

**Древесные породы мира. Т. 1:** Пер. с англ.— 25 а. л. В пер.: 2 р.

**Древесные породы мира. Т. 2:** Пер. с англ.— 25 а. л. В пер.: 2 р.

**Древесные породы мира. Т. 3.**— 20 л. В пер.: 1 р. 40 к.

В 1 и 2-м томах кратко описаны основные древесные породы, которые произрастают в странах Африки, Южной Америки и Юго-Восточной Азии, Северной и Центральной Америки, Европы и Австралии. В 3-м томе кратко описаны основные древесные породы, произрастающие в Советском Союзе.

Рассматриваются биология и экология пород, их ареалы, физико-механические и химические свойства древесины, технологические особенности ее обработки и сушки.

Для ИТР лесного хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности.

---

### *Уважаемый читатель!*

Книги можно приобрести в местных книжных магазинах или заказать в следующих магазинах, имеющих отдел «Книга — почтой»:

*Москва, 109428, ул. Михайлова, 28/7, магазин № 125.*

*Ленинград, 193320, ул. Крыленко, 33, магазин № 106.*

Оформляйте заказы своевременно. Книги будут высланы наложенным платежом.