В. Н. Ганьшин

Простейшие измерения на местности

Издание третье,
переработанное
и дополненное

МОСКВА «НЕДРА» 1983

ББК 26.12

Г 19

УДК 528.02/08(023)

Ганьшин В. Н.

Г 19 Простейшие измерения на местности. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1983, 108 с., ил. 45.

В популярной и доступной для читателя форме рассказано о методах измерения на местности расстояний, углов и высот простейшими приборами. В третьем издании (2-е — 1973) приведены сведения о новейших методах измерения. Особое внимание уделено способам косвенного определения расстояний и высот. Изложены правила горизонтальной, вертикальной и глазомерной съемки и составления плана небольшого участка местности. Приведены способы ориентирования относительно стран света по Солнцу и звездам.

Для широкого круга читателей, занимающихся измерением и съемкой местности. Определенную пользу принесет молодежи при выборе профессии.

Табл. 10, ил. 46.

Г $\frac{1902020000—154}{043(01)—83}$ 122—83

ББК 26.12
912

Рецензент — д-р техн. наук Ю. И. Маркузе (МИИГАиК)

От автора

В нашей стране развёрнуто огромное строительство. Строятся новые заводы и фабрики, мощные электростанции, прокладываются каналы, железные и шоссейные дороги, сооружаются оросительные системы, проводятся различные мелиоративные работы, связанные с осушением болот, закреплением оврагов, облесением балок, укреплением размывающихся склонов и т. д.

При выполнении этих и многих других работ производят измерения на поверхности земли и составляют топографический план местности. Такой план иногда нужно уметь составить и для личных целей. Так, застройщик, прежде чем приступить к строительству дома, должен иметь план участка, который позволяет затем правильно его использовать. Составив план, можно лучше и удобнее организовать территорию сада или огорода. В различных экспедициях и экскурсиях бывает необходимость быстрого построения примерного плана значительного участка без использования специальных приборов.

В книге «Простейшие измерения на местности» последовательно излагаются методы измерения длин линий, углов и высот точек. В общедоступной форме автор описывает приемы, связанные с составлением плана небольшого участка местности, и подробно останавливается на выполнении глазомерной съемки. Обращено внимание на ориентирование относительно стран света — нахождение направления истинного и магнитного меридиана.

Все эти работы можно выполнить без специальных приборов, используя примитивные инструменты: линейку, треугольник, транспортир, мерную ленту или рулетку, экер, компас и ватерпас. Наряду с этим, в книге даются понятия о современных геодезических приборах, применяемых при топографических съемках. Эту книгу могут использовать:

— бригадиры тракторных и производственных колхозных бригад при работах на орошаемых участках, при севе и посадках квадратно-гнездовым способом и т. д.;

— агрономы и землеустроители при проведении занятий с бригадирами;

— члены кружков ДОСААФ, которые должны уметь читать топографические планы и карты, имея в виду, что «карта — глаза армии». Именно в расчете на этих читателей в книге значительное место отведено приближенным методам определения расстояния и глазомерной съемке;

— учителя средней школы, которые в целях осуществления политехнического обучения при преподавании таких предметов, как геометрия, география и черчение, все чаще практикуют проведение практических работ с учащимися по измерению на местности. В. этой связи в работе получили соответствующее развитие такие разделы, как «Определение недоступных расстояний» и др.;

— члены Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО) при пропаганде среди населения астрономо-геодезических знаний.

§ 1. Предварительные сведения

ГЕОДЕЗИЯ. При решении хозяйственных и научных вопросов, связанных с поверхностью земли, часто возникают такие задачи:

— каково расстояние между двумя пунктами;

— насколько одна точка выше или ниже другой заданной точки;

— чему равна площадь некоторого участка местности;

— как направлена (ориентирована) данная линия* относительно стран света и т. д.

Все эти вопросы связаны с изучением поверхности земли в геометрическом отношении, и их решение сводится к определению относительного (взаимного) положения точек этой поверхности.

При организации территории и осуществлении всякого рода строительных работ приходится решать и другие задачи:

— как на местности построить прямую заданной длины или круговую кривую данного радиуса;

— как отбить на местности площадь определенной величины и формы и т д.

В этом случае, наоборот, приходится на поверхности земли (или вблизи нее) намечать точки, которые отвечают определенным условиям.

Наука, которая занимается всеми этими вопросами, называется *геодезией.* Задачи геодезии теперь можем кратко формулировать так. Геодезия занимается определением относительного (взаимного) положения точек земной поверхности, а также обозначением (маркировкой) на местности точек, отвечающих заданным (проектным) геометрическим условиям.

Результаты геодезических измерений представляют аналитически — каталогами координат и ведомостями высот точек, а также графически — различными чертежами, отображающими по определенному закону местность на плоскости.

Чтобы рационально организовать измерения на поверхности Земли и правильно изображать ее на бумаге, нужно иметь достаточно четкое понятие о форме и раздорах Земли.

ФОРМА ЗЕМЛИ. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПРОЛОЖЕНИЕ. ВЫСОТА. Часто приходится слышать выражение: «Земля имеет форму шара». Однако некоторые неправильно понимают смысл этого утверждения. Как можно сравнить гладкую поверхность шара, говорят они, с неровной поверхностью Земли? Дело в следующем: во-первых, при сравнении Земли с шаром берется не видимая (дневная) поверхность Земли, а

---

* В геодезии отрезок линии ради краткости называют «линией»

ее *уровенная* поверхность. *Уревенной* поверхностью Земли называют воображаемую поверхность, которая получится, если мысленно продолжить поверхность океана в его спокойном состоянии под сушей (т. е. как бы срезать сушу до уровня океана).

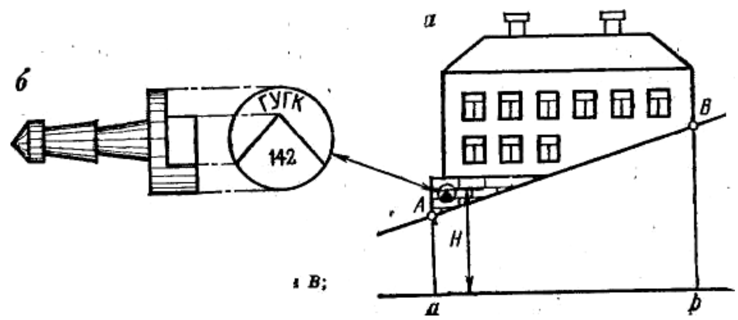


Рис. 1 – Высоты точек:
а — *Аа* и *Вb* — высоты точек А и В;
Н — высота стенного репера;
б — общий вид стенного репера.

Во-вторых, суша занимает всего около ⅓ всей поверхности Земли. К тому же она незначительно возвышается над уровнем океана: лишь отдельные вершины высочайших гор Земли несколько превышают 0,001 ее радиуса. Все это позволяет приближенно принять и общий вид ее физической (видимой) поверхности за уровенную поверхность.

Уровенная поверхность Земли похожа на шар, несколько сплюснутый у полюсов: по исследованиям советских ученых, расстояние от центра Земли до экватора около 6 378 км, до полюсов — 6 357 км.

Небольшой участок уровенной поверхности Земли в любом месте можно принять за плоскость, которую называют *горизонтальной.*

Линия, перпендикулярная к горизонтальной плоскости, т. е. образующая с ней угол в 90°; называется *вертикальной* или *отвесной.* Направление отвесной линии легко получить практически: оно совпадает с нитью спокойно висящего отвеса.

Представим себе, что каждая точка местности перенесена — *спроектирована* отвесными линиями на горизонтальную плоскость. Так, точки *А* и В — углы дома (рис. 1) — будут представлены на горизонтальной плоскости точками *а* и *b,* которые называют *проекциями* точек А и В, а полученное таким образом изображение местности на горизонтальной плоскости — *горизонтальным приложением,*

Задачу нахождения относительного положения точек местности в геодезии делят на две части: во-первых, устанавливают взаимное расположение проекций точек на горизонтальной плоскости и, во-вторых, определяют высоты точек.

Высотой точки называют расстояние, измеряемое по направлению отвесной линии, от нее до некоторой уровенной поверхности, а для малых участков местности — до горизонтальной плоскости. Так, высотой точки *А* является отрезок *Аа,* а высотой точки *В* — отрезок *ВЬ* (рис. 1, а).

Высоты точек обычно обозначают буквой *Н* с соответствующим индексом, например: H_A и H_B — соответственно высоты точек А и В.

Разность высот двух точек называют *превышением* и обозначают буквой *h,* например $h=H_B - H_A$

По сделанному определению превышение может быть числом как положительным, так и отрицательным, т. е. превышение фактически (по смыслу) может быть *понижением.*

Высоты точек называются *абсолютными,* если они измеряются от уровня моря, и *условными* (относительными) — если от иной уровенной (горизонтальной) поверхности. Превышение точки *В* над точкой *А* можно понимать как условную высоту точки *В* относительно уровенной поверхности, проведенной через точку *А.*

В СССР за начало счета абсолютных высот принята уровенная поверхность, проходящая через нуль Кронштадтского футштока, практически совпадающий со средним уровнем Балтийского моря в Кронштадте. Футшток — рейка, надежно установленная на берегу моря, при помощи которой ведется наблюдение за уровнем моря.

Числовое значение высоты называют *отметкой,* которая дается в метрах. Из Кронштадта абсолютная высота (отметка) передана на континент — в г. Ленинград и далее распространена (см. стр. 49) по всей территории Союза. Точки, на которые переданы абсолютные высоты, закреплены на местности специальными геодезическими знаками — реперами (грунтовыми и стенными) и марками (рис. *1, 6).*

ПЛАН. С давних пор для ознакомления с местностью ее осматривали с некоторой высоты. В наши дни для этой цели удобнее всего использовать самолет. Сделанный с самолета фотографический снимок поверхности земли (аэрофотоснимок) позволяет изучать местность, не наблюдая ее непосредственно. Однако решать различные инженерные задачи по аэрофотоснимку неудобно, и целесообразнее для этого использовать специальный чертеж, называемый *планом.*

Чтобы получить представление о сущности плана, допустим, что с самолета удалось сделать снимок не самой местности, а ее горизонтального проложения, причем оптическая ось фотокамеры (в момент спуска затвора) была отвесна, а пленка (пластинка) — горизонтальна. Воображаемый снимок обладал бы следующими двумя геометрическими свойствами. Во-первых, длина каждой линии снимка меньше длины соответствующей ей линии горизонтального проложения в определенное число раз, постоянное для данного снимка. Во-вторых, любые линии снимка пересекаются, под такими же углами, под какими они пересекаются на местности (на горизонтальном проложении). Эти два свойства делают снимок подобным горизонтальному проложению местности. Если изображения подробностей местности на снимке заменить соответствующими знаками, то полученный чертеж и будет планом.

Теперь мы можем сказать, что *план* — это *чертеж, на котором в уменьшенном и подобном виде изображено горизонтальное проложение небольшого участка местности.* Если на плане кроме контуров (границ угодий и предметов) изображен и рельеф — неровности земной поверхности, то такой план называют *топографическим.* План без выражения рельефа называется *контурным.*

Из изложенного следует, что по плану местности можно узнать характер и расположение различных угодий и предметов, находящихся на поверхности земли. Кроме того, в ряде случаев план позволяет заменить измерение углов, линий и площадей на местности соответствующими измерениями на чертеже. По топографическому плану можно определять высоты точек и уклоны линий. Все это делает план весьма важным документом, который находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства и в обороне страны.

Большой участок уровенной поверхности земли из-за ее кривизны нельзя развернуть на плоскости без складок и разрывов. *Чертеж, на котором в уменьшенном виде и с искажениями, подчиненными определенным математическим законам, изображен в условных знаках большой участок земной поверхности или всей Земли, называют картой.* Каждая карта, как и всякий план, строго говоря, отображает не местность, а ее горизонтальное проложение.

Это обстоятельство не может повести к недоразумениям: практически, как правило, нужно знать не длины линий, не углы и не площади местности, а соответствующие им горизонтальные проложения. Так, говоря о размерах дома, надо указать именно длину горизонтального отрезка *ab,* а не наклонного *AB* (см. рис. 1) Рассуждая об углах, которые образуют, например, стены дома, имеют всегда в виду углы горизонтальные, а не углы в наклонной плоскости. Наконец, в хозяйственном отношении нужно также знать не величину наклонной площади, а величину ее горизонтального проложения, которая всегда несколько меньше. Дело в том, что растения располагаются отвесно. Следовательно, расстояния между ними должны учитываться горизонтальные, а не наклонные. Отсюда делается вывод, что на наклонной плоскости при одинаковых других условиях не может развиться большее количество растений, чем на соответствующем горизонтальном проложении. Таким образом, при посадке или посеве любой культуры надо учитывать не величину фактической наклонной площади, а величину ее горизонтального проложения. Все это подчеркивает ценности плана в качестве чертежа, изображающего данную местность.

МАСШТАБ. ИЗМЕРЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ НА ПЛАНЕ. Отношение длины линии плана к соответствующей длине линии на горизонтальном проложении — постоянное число для данного плана и называется оно численным масштабом. Обычно численный масштаб обозначается дробью, у которой числитель равен единице, а знаменатель показывает, во сколько раз произошло уменьшение соответствующих линий. Так, если линии плана меньше соответствующих им линий горизонтального проложения в пятьсот раз, то говорят, что план составлен в масштабе одна пятисотая. На чертеже это будет записано: *масштаб* 1/500 или *масштаб* 1: 500.

Работа с численным масштабом сводится к переходу от длин линий плана к длинам линий местности и обратно. Например, если на плане масштаба 1: 500 расстояние между двумя точками равно 4 см, то на местности это расстояние будет 4 см × 500 = 2000 см = 20 м. Наоборот, если на местности длина линии 35 м = 3500 см, то соответствующая ей длина линии плана определится делением: 3500 см : 500 = 7 см. Длины линий на местности обычно выражают в метрах или километрах, а длины линий на плане — в сантиметрах или миллиметрах, поэтому в приведенных выше примерах нам и приходилось предварительно превращать сантиметры в метры или, наоборот, метры в сантиметры. Этого можно избежать, если рассчитать, скольким единицам местности соответствует один сантиметр плана, и записать это на чертеже. Так, при масштабе 1: 500 один сантиметр плана будет соответствовать пяти метрам местности. Условно это записывается так: 1 см = 5 м.

Если иметь масштаб в такой «именованной форме», то приведенные расчеты выполняют проще: в первом случае 5 м × 4 = 20 м и во втором 35 м : 5 =7 м.

При частом пользовании масштабом и эти действия становятся все же утомительными. Для упрощения техники расчета можно выполнить на плане специальное построение — *линейный масштаб*.

На прямой линии несколько раз последовательно отложим определенную длину, называемую основанием масштаба. За основание масштаба берут отрезок, соответствующий круглому числу метров на местности. Так, для масштаба 1: 500 за основание удобно взять 2 см, что будет соответствовать 10 м на местности. Разделим левый крайний отрезок на несколько равных частей, в данном случае на 10. Подпишем эти деления в единицах местности в обе стороны от конца первого основания, принятого за нуль (рис. 2).

Полученный таким образом чертеж и называется *линейным масштабом. Он* позволяет непосредственно определять — *отсчитывать* длины линий в единицах местности.

Для нанесения на план по этому масштабу линии длиною 23 м надо взять отрезок, заключенный между штрихом 20, лежащим вправо от 0, и штрихом 3, лежащим влево от 0. Этот отрезок на плане масштаба 1: 500 соответствует длине 23 м на местности.

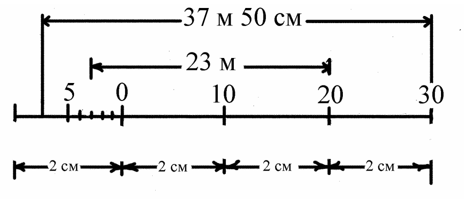


Рис. 2 – Линейный масштаб (основание 2 см: численный масштаб 1: 500)

Для измерения по этому масштабу длины какой-либо линии плана последняя совмещается (при помощи циркуля-измерителя или полоски бумаги с отмеченными на ней концами отрезка) своим правым концом с таким делением масштаба (на рис. 2 это 30 м), чтобы другой ее конец оказался при этом на крайнем левом основании масштаба. В данном случае длина отрезка получится 30 м + 7,5 м = 37,5 м.

ПРОВЕДЕНИЕ НА ПЛАНЕ ЛИНИИ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ К ДАННОЙ. Для проведения через данную точку P_1 прямой, параллельной данной *AB,* прикладывают гипотенузу *EF* треугольника к прямой *AB* и, прижав его к бумаге, придвигают линейку *CD* к катету *EG* (большему). Затем, удерживая линейку на месте, передвигают по ней треугольник до тех пор, пока его гипотенуза не коснется точки P_1 после чего по краю гипотенузы проводят прямую A_1B_1, которая и будет искомой (рис. 3).

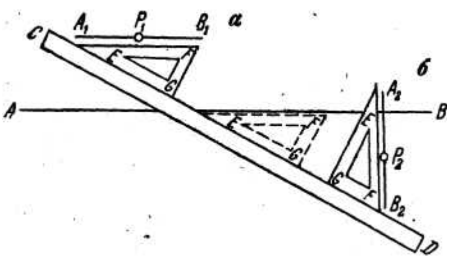
Для построения прямой, перпендикулярной к данной *AB* и проходящей через точку P_2, располагают сначала треугольник и линейку, как и предыдущем случае, затем, удерживая линейку неподвижно, прикладывают к ней треугольник другим (меньшим) катетом *GF* так, чтобы его гипотенуза касалась точки P_2. Прямая A_2B_2 проведенная по краю гипотенузы, и будет искомой (см. рис. 3).

ИЗМЕРЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ УГЛОВ НА ПЛАНЕ. Построить или измерить угол на плане проще всего при помощи транспортира. Транспортир обычно представляет собой полукруг, дуга которого разделена на градусы, а в центре полукруга на линейке основания сделана метка — черта, вырез и т. п.

Для измерения величины угла *ABC* (рис. 4) транспортир совмещают центром" с точкой *B* — вершиной угла, а его нулевой диаметр; проходящий через деления 0°—180°, совмещают с одной из сторон угла (на рис. 4, а — с *AB*). Число градусов, соответствующих делению транспортира, расположенному против другой стороны угла (*CB*), укажет искомую величину угла (47°).

Для построения угла заданной величины (47°) на прямой *AB* у данной точки *B* кладут транспортир так, чтобы его центр совпал

Рис. 3 – Проведение линии через заданную точку:
а — параллельно заданной прямой;
б — перпендикулярно к ней



с точкой *B*, а черта полуокружности, означенная 0°, оказалась вдоль данной прямой *BA*. Отметив на бумаге карандашом или иглой у полукруглого края транспортира заданное число градусов (47°), соединяют эту метку с данной точкой *B* — вершиной угла.

Если необходимо построить или измерить на бумаге угол с большей точностью, чем это возможно транспортиром, то прибегают к помощи специальных таблиц (см. стр. 24).

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ НА ПЛАНЕ. В геометрии излагаются способы и приводятся формулы для определения площадей различных правильных фигур. В практике, однако, чаще всего приходится определять площади неправильных фигур. Для этой цели общедоступным средством является *палетка*. Палетка — прозрачная бумага, на которой нанесена сеть одинаковых квадратов, обычно со сторонами от 2 до 10 мм.

При работе палетку укладывают на фигуру, площадь которой нужно определить (рис 4, б), после чего считают число полных квадратов, поместившихся внутри контура (на рис, 4, б их уложилось 6). Далее оценивается на глаз площадь неполных квадратов. При этом удобно мысленно дополнять один неполный квадрат за счет других. Так, например, части неполных квадратов *а*, *б* и *в* (см. рис. 4, *б*) составят один полный квадрат. Площадь, занятую всеми неполными квадратами на рис. 4, *б*, можно приравнять 4,5 квадрата. Общее число квадратов (полных и комбинированных); умноженное на площадь одного квадрата, и даст искомую величину площади. Считая, что в нашем примере сторона квадратов равна 1 см, определим площадь фигуры следующим образом; (6 + 4,5)×1 кв. см. = 10,5 кв. см.

Если данная фигура взята на плане, то возникает вопрос: как использовать численный масштаб плана для вычисления соответствующей площади местности? Масштаб по определению относится к линейным величинам. Площади же выражаются квадратными метрами. Поэтому число, равное отношению площади плана к соответствующей площади местности, равно квадрату численного масштаба плана.

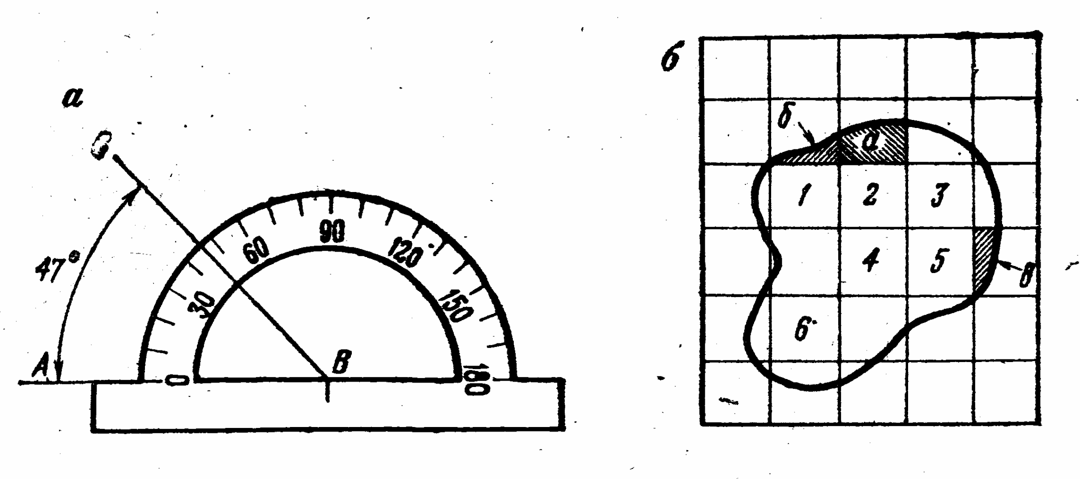


Рис. 4 – Определение на плане:
а — угла транспортиром (угол *ABC* равен 47°);
б — площади фигуры палеткой с квадратами

Следовательно, для перехода от площади плана к площади местности нужно пользоваться масштабом, возведенным в квадрат. Например, при численном масштабе плана 1: 500 одному квадратному сантиметру плана соответствует 250 000 кв. см, или 25 кв. м.

Так, если фигура на рис. 4, *б* изображена в масштабе 1: 500 и сторона квадрата равна 1 см, то площадь на местности равна 25 кв. м × 10,5 = 262,5 кв. м.

Способы, основанные на применении специального прибора — *планиметра,* излагаются в учебниках по геодезии.

СИСТЕМА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ. При построении планов и карт, а также при работе с ними часто используют систему прямоугольных координат. В геодезии и картографии принята система прямоугольных координат (рис. 5, *б);* внешне отличная от системы, используемой в математике (рис. 5, *а*). Однако это различие чисто внешнее (видимое): формулы, связывающие координаты в одной системе, будут верны и для другой системы. Это важное положение обеспечивается тем, что направление счета углов (и четвертей — квадрантов) в обеих системах установлено от положительного направления оси абсцисс по кратчайшему пути в сторону положительного направления оси ординат. Поэтому если в этих системах построить две точки *А* и *В* по их прямоугольным координатам, например: $X_A = 100$, $Y_A = 100$; X_B 200, $Y_B = 300$, и соединить полученные точки прямой *AB,* то проведённая линия пересечет в обеих системах ось абсцисс (или параллельную ей линию) под одним и тем же углом *T* (см. рис. 5).

Угол *T* является *углом ориентирования* и называется *дирекционным углом.* Таким образом, в геодезии дирекционный угол отсчитывают от положительного направления оси

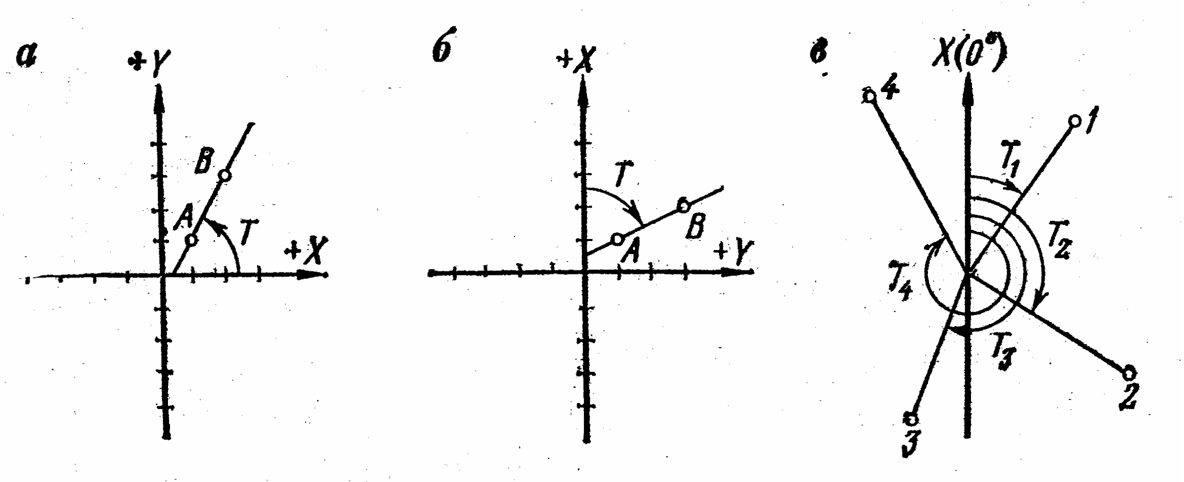


Рис. 5 – Системы прямоугольных координат:
а — принятая в математике;
б — принятая в геодезии и картографии;
в — счет дирекционных углов в геодезии

абсцисс по ходу часовой стрелки до данного направления (от 0 до 360°) (рис. 5, *в*).

Величина дирекционного угла линии, проходящей через две заданные точки *A* и *B*, связана с координатами этих точек формулой

$$\operatorname{tg} T_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}.$$

Так, для приведенного выше примера tg $T_{AB} = 2$ и $T_{AB} = 63°26'$

Расстояние $AB = S$ между заданными точками *A* и *B* определится по координатам

$$S_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin T_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\cos T_{AB}} = \sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2}.$$

Для нашего примера S = 223,61 м.

§ 2. Измерение длин линий (расстояний) на местности

ОБОЗНАЧЕНИЕ ТОЧЕК И ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ. СТВОР. ВЕШЕНИЕ. Обозначить точку и линию на бумаге легко, но как это сделать на местности? На местности точку представляет забитый в землю кол (трубки, штырь, столб и т. п.), а чтобы она была заметна издалека, около нее отвесно устанавливает веху длиною 2-3 м диаметром около 5 см.

Веху желательно снабдить железным наконечником и раскрасить кольцами белой и красной масляной краской. Линия на местности обозначается двумя вешками, отвесно поставленными на ее концах.

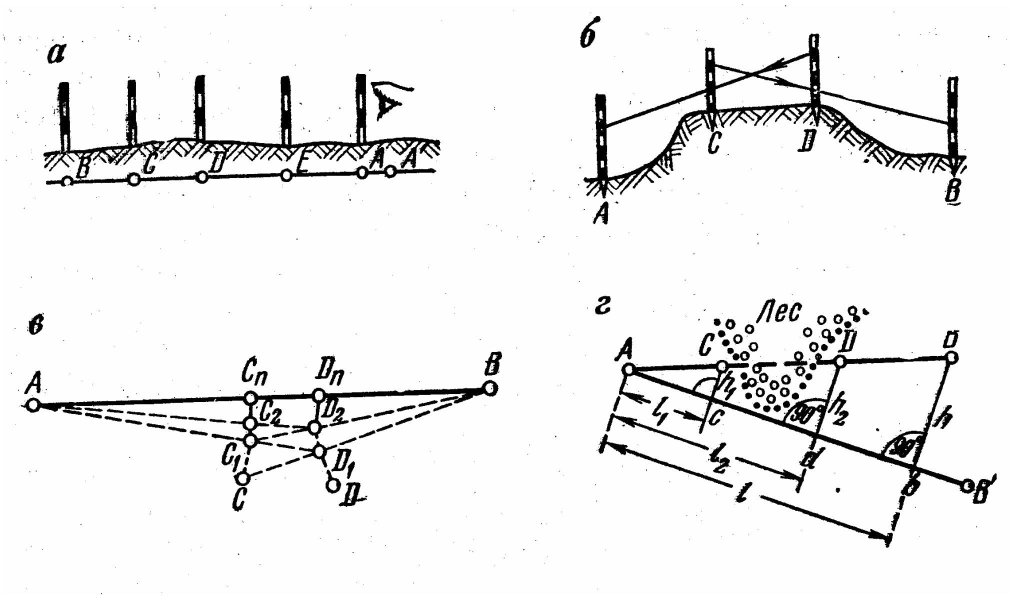


Рис 6. – Способы вешения прямой линии:
а — вешение на себя;
б — вешение из середины (перспектива),
в — вешение из середины (вид в плане);
г — вешение через препятствие

Вертикальная плоскость, проходящая через две точки земной поверхности, называется *створом,* который на местности имеет такое же значение, как и прямая линия на плоскости.

Вешить линию — значит поставить на местности ряд вех, находящихся в одном створе. В практике часто встречаются два случая вешения: во-первых, между двумя вехами намечают промежуточные точки и, во-вторых, по двум поставленным вехам продолжают линию. В первом случае съемщик становится в одной из точек, а помощник по его сигналу отвесно устанавливает дополнительную веху так, чтобы она закрывала собой веху, стоящую во второй точке. Если в створе нужно выставить несколько вех, то удобнее вешение производить *на себя,* т. е. помощник, устанавливая вехи С, *D* и *Е,* должен последовательно приближаться к съемщику (рис. 6, *а).*

Во втором случае съемщик устанавливает веху отвесно в той точке, чтобы дальняя веха из двух, обозначающих собой створ, закрывалась бы ближней.

При съемке зданий, сараев и т. п. вместо вех можно использовать углы строений: вертикальная стена является створом для ее двух углов. Стать в створе со стеной здания — значит стать в таком месте, откуда казалось бы, что стена сливается вместе со своими двумя углами и представляется наблюдателю отвесной линией.

ОСОБЫЕ СЛУЧАИ ВЕШЕНИЯ. Иногда встречается необходимость встать в створе двух недоступных точек *A* и *B*[*]. В этом случае два исполнителя располагаются в точках *C* и *D*, достаточно близких к створу, проходящему через точки *A* и *B,* причем из точки *C* должна быть видна точка *B,* а из точки *D* — точка *A* (рис. 6, *б).* Один из них из *C*, глядя на точку *B*, устанавливает второго — *D* в точке D_1, находящейся в створе *CB.* Затем второй — D_1, глядя на точку *A*, устанавливает первого — *C* в точку C_1, которая лежит в створе D_1A (рис. 6, *в).* Далее работа продолжается в том же порядке и исполнители перемещаются соответственно в точки D_2 и C_2 и т. д. В результате методом последовательных приближений они окажутся в точках D_n и C_n, расположенных в створе данной линии *AB.*

Наконец, укажем еще один случай вешения через отдельное препятствие. Пусть, например, в створе точек *A* и *B* нужно выставить вехи *C* и *D* (рис. 6, *г*). Выбираем линию *AB′*, обходящую препятствие и удобную для производства линейных измерений. Выполняя линейные измерения по линии *AB′,* намечают на ней точки *c* и *d* так, чтобы перпендикуляры, восставленные в этих точках к направлению *AB′*, пересекли заданный створ *AB,* минуя препятствие. Пусть расстояние от точки *A* до c и *d* будут l_1 и l_2. Далее находят точку *b,* которая является основанием перпендикуляра, опущенного из точки *B* на линию *AB′* и измеряют $Ab = l$. Если измерить расстояние $bB = h$, то длины перпендикуляров $cC = h$ и $dD = h_2$ определяется из формул $h_1 = kl_1$ и $h_2 = kl$, где $k = h/l$.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ ЛЕНТОЙ (РУЛЕТКОЙ) И ДВУХМЕТРОВКОЙ. Измерение расстояний на местности производят стальной мерной лентой, длина которой обычно 20 м. Для измерения небольших линий применяют рулетки, длиною 10 или 20 м.

Рулетка разбита штрихами на сантиметры, которые подписывают через дециметр, а лента разделена на дециметры и подписи сделаны через метр.

Измерение расстояния состоит в том, что мерный инструмент (лента, рулетка) последовательно укладывают в створе измеряемой линии, начиная от ее одного конца в сторону другого. При этом концы каждой ленты отмечают специальными стальными Шпильками (колышками): конец предыдущей ленты является началом для

[*] Или не имеющих взаимной видимости (рис. 6, *б*)

последующего отложения ленты. Последний пролет будет неполный, меньше длины ленты, он называется *остатком.*

Длина линии равна длине инструмента, помноженной на число полных пролетов, плюс остаток. Для контроля длина линии измеряется второй раз в обратном направлении. Расхождение между результатами двух измерений одной и той же линии лентой будет

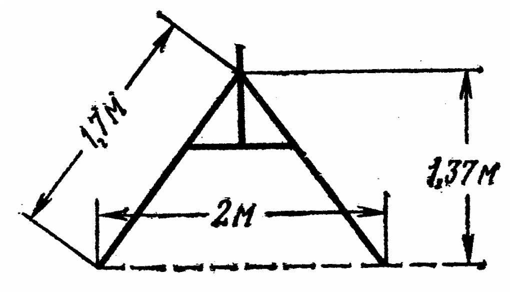


Рис. 7 – «Двухметровка» — простейший прибор для измерения расстояний

порядка 5 — 10 см на каждые 100 м. При измерении рулеткой расхождение может быть получено несколько большее.

Для менее точных измерений в сельском хозяйстве нашла широкое применение «двухметровка» (рис. 7). Ножки двухметровки не должны быть острыми, иначе они будут углубляться в землю. Точность измерения двухметровкой считается порядка 1/100, т. е. возможен 1 м ошибки на каждую сотню метров.

Перед измерением длин линий мерный инструмент (ленту, рулетку, двухметровку) надлежит сверить с точной длиной и в полученный результат измерения надлежит вносить соответствующую поправку, если это расхождение выше точности отсчета.

УГОЛ НАКЛОНА. ЭКЛИМЕТР. ПОПРАВКА ЗА НАКЛОН. При составлении плана нужно знать длину горизонтального проложения линии местности, а не длину самой наклонной линии. Так, вместо непосредственно измеренной наклонной линии *AB* (рис. 8) нужно получить длину горизонтальной линии *AC,* которая будет всегда короче. Разность между длинами этих линий зависит от угла наклона линии *AB* к горизонту.

Угол наклона измеряется специальными приборами — *эклиметрами.* Простейший из них схематично показан на рис. 8. Он состоит из полукруга с градусными делениями, подписанными в обе стороны от его середины, обозначенной нулем. Своим центром полукруг надет на ось, укрепленную в колу, который при работе втыкается в землю. На эту же ось прикрепляют отвес. Диаметр полукруга служит для наводки — *визирования.*

При измерении угла наклона линии *AB* эклиметр устанавливают в точке *A* и наводят его диаметр на точку *D*, лежащую выше точки *B* на такой же высоте, как и центр эклиметра над точкой *A*. Обычно равенство высот *BD* = *AE* (см. рис. 8) выдерживают на глаз, используя предметы с известной высотой. Затем по отвесу делают отсчет угла в градусах. На рис. 8 угол наклона равен 20°.

Зная угол наклона, скажем 4°, и длину линии *AB* = 326,38, находят поправку за наклон по табл. 1.

Длина горизонтального проложения будет 326,38 - 0,79 = 325,59.

Пусть известно превышение *h* точки *B* над точкой *A,* тогда разность

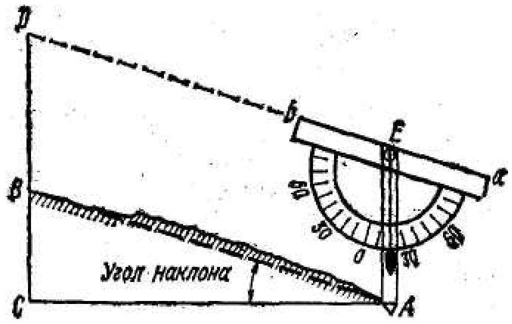


Рис. 8. – Измерение эклиметром угла наклона линии *AB* местности

Таблица 1

Углы	Длина линии в метрах									Углы
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
	Поправки за наклон в метрах									
2°	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,037	0,043	0,049	0,055	2°
3	0,014	0,027	0,041	0,055	0,069	0,082	0,096	0,110	0,123	3
4	0,024	0,049	0,073	0,097	0,122	0,146	0,171	0,195	0,219	4
5	0,038	0,076	0,114	0,152	0,190	0,228	0,266	0,304	0,342	5
6	0,055	0,110	0,164	0,219	0,274	0,329	0,383	0,438	0,493	6
7	0,075	0,149	0,224	0,298	0,373	0,447	0,522	0,596	0,671	7
8	0,097	0,195	0,292	0,389	0,487	0,584	0,681	0,779	0,876	8
9	0,123	0,246	0,369	0,492	0,616	0,739	0,862	0,985	1,108	9
10	0,152	0,304	0,456	0,608	0,760	0,912	1,063	1,215	1,367	10

На 300 м поправка — 0,73 м
На 20 м поправка — 0,05 м
На 6 м поправка — 0,01 м
На 0,38 м поправка — 0,00 м

На 326,38 м поправка — 0,79 м

расстояний: наклонного *AB* и горизонтального *ab* (рис. 9) определится приближенной формулой

$$\Delta = AB - ab = \frac{h^2}{2AB},$$

которая будет тем точнее, чем меньше превышение h по сравнению с расстоянием AB. После определения поправки Δ находят горизонтальное расстояние: $ab = AB - \Delta$.

Конечно, наряду с приближенной можно применять точную формулу $ab = \sqrt{AB^2 - h^2}$,

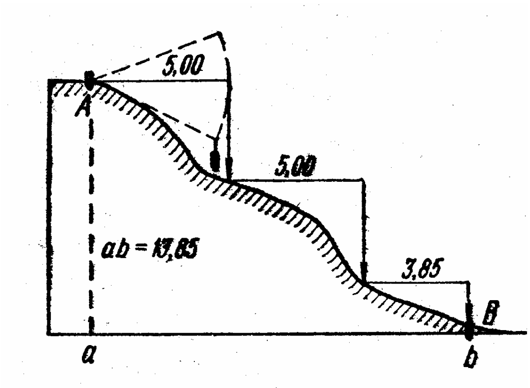


Рис. 9 – Непосредственное измерение горизонтального проложения

но при отсутствии средств вычислений последняя формула потребует более сложных расчетов.

Так, если $h = 2{,}00$ и $AB = 13{,}99$ м, то по приближенной формуле найдем: $\Delta = 4 : 28 = 0{,}14$ и $ab = 13{,}99 - 0{,}14 = 13{,}85$ м. По точной формуле получим то же значение:

$$ab = \sqrt{195{,}72 - 4{,}00} = \sqrt{191{,}72} = 13{,}85.$$

Преимущество вычислений по приближенной формуле заключается в том, что действия над многозначными числами заменяются действиями над числами с меньшим числом значащих цифр: вместо окончательного результата (13,85), содержащего четыре значащие цифры, определяется поправка (0,14), имеющая только две значащие цифры.

Отметим, что использованная выше приближенная формула дает практически точный результат для углов наклона $v < 5°$.

Так, для примера, приведенного на стр. 17, наклонное расстояние $AB = 326{,}58$, а углу наклона $v = 4°$ соответствует превышение $h = 22{,}77$ м; поэтому

$$\Delta = \frac{h^2}{2AB} = 518 : 653 = 0{,}79 \text{ м}$$

и $ab = 326{,}38 - 0{,}79 = 325{,}59$. То же значение будет получено и по точной формуле:

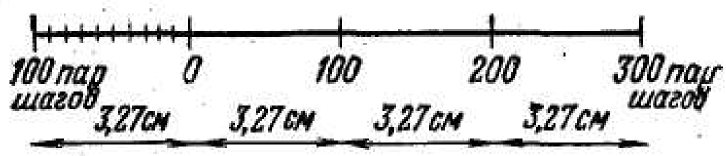
$$ab = \sqrt{106\,524 - 518} = 325{,}58.$$

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ. Если угол наклона линии велик, а ее длина мала, то удобнее измерить горизонтальное проложение непосредственно. Для этого используется не вся лента (рулетка), а лишь ее часть в 2,5 или 10 м.

Эту часть ленты одним концом укрепляют в точке *А* (см. рис. 9), а второй поднимают до горизонтального положения, Опустив отвес с поднятого конца ленты, замечают на земле соответствующую точку, в которую затем и переносят задний конец ленты. Далее продолжают измерения в таком же порядке.

Горизонтальное положение ленты может быть проверено тем,

Рис. 10.
Масштаб шагов



что, опуская и поднимая передний конец ее, описывают им дугу круга, центр которой совпадает с задним, неподвижным концом. При этом горизонтальному положению ленты будет соответствовать наибольшее удаление отвеса от неподвижного конца ленты.

Сумма отложенных горизонтальных отрезков и будет равна горизонтальному проложению линии.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ ШАГАМИ. МАСШТАБ ШАГОВ. Техника измерения длин линий шагами сводится к следующему: идя по линии, съемщик ведет про себя счет шагов. Часто это делают парами, используя то, что двузначные числа в своем большинстве по произношению «двусложные», например: «двадцать девять». Благодаря этому «двадцать» произносится под одну ногу, а «девять» — под другую. Таким образом, два шага — пара шагов будут соответствовать одному числу. К односложным числам можно добавлять букву «и», например: «и сорок». Пройдя сто пар шагов, съемщик делает заметку (черту, крестик) на краю бумаги, после счет начинает снова.

Каждый человек применительно к определенным условиям имеет сравнительно устойчивую длину шага. Длину среднего шага можно принять равной одной четверти роста съемщика плюс 37 см. Так, если рост съемщика 1,68 м, то за среднюю длину его шага можно принять 42 см + 37 см = 79 см, а пара шагов равна 1,58 м. Чтобы получить более точное значение длины пары шагов, съемщик должен выверить их в тех условиях, в которых будут происходить измерения. Так, если измерения линий предстоит производить по грунтовой дороге, то и выверить свой шаг нужно на такой же дороге. С этой целью съемщик не менее двух раз измеряет шагами длину линии (не короче 200 м), предварительно измеренную лентой или имеющую известную величину (расстояние между километровыми столбами и т. п.).

Предположим, что в 1 км оказалось 612 пар шагов, тогда сто пар шагов будут равны 163,4 м. Затем можно составить вспомогательную табл. 2.

Таблица 2

Количество шагов	Длина, м	Количество шагов	Длина, м
100	163	600	980
200	327	700	1144
300	490	800	1307
400	654	900	1471
500	817	1000	1634

Использование табл. 2 поясним примером. Измеренная длина линии — 635 пар шагов. Определяя ее длину в метрах, находим:

600 пар шагов равны 980 м

30 пар шагов равны 49 м

5 пар шагов равны 8 м

Итого: 635 пар шагов равны 1037 м

Известно, что при спуске длина шага человека меньше, чем на ровном месте, а при подъеме меньше, чем при спуске. Можно рекомендовать длину шага выверять на ровном месте, а в полученные результаты измерений наклонных линий вводить поправку за наклон: *поправка в процентах при подъеме равна удвоенному углу в градусах; поправка в процентах при спуске равна углу в градусах.*

Примеры: 1. Если при спуске съемщик насчитал 136 пар шагов и определил угол наклона в 5°, то поправка за наклон составит 5%, или 7 пар шагов, и горизонтальное проложение будет 136 – 7 = 129.

2. Если при подъеме съемщик насчитал 237 пар шагов и определил угол наклона в 6°, то поправка составит 12%, или 28 пар шагов, а горизонтальное проложение будет 237 – 28 = 209.

При крутых спусках лучше прибегать к определению расстояний как неприступных (см. § 4).

Считается, что опытный съемщик при измерении длины линии шагами допускает ошибку порядка 5%.

Для удобства отложения на плане длин линий, измеренных шагами, следует построить специальный линейный масштаб, называемый *масштабом шагов.* Основание его должно соответствовать круглому числу пар шагов. Так, для данных предыдущего примера (100 парам шагов соответствует 163,4 м) и численного масштаба плана 1: 5000 за основание масштаба шагов удобно взять 100 пар шагов, т. е. 163,4 м. Один сантиметр на плане в нашем масштабе соответствует 50 м. Поэтому 100 парам шагов на местности будет соответствовать 3,27 см на плане (163,4:50 = 3,27). Этот отрезок и следует принять за основание масштаба шагов (рис. 10).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛИНЕЙКИ. Линейка с миллиметровыми делениями, удерживаемая на расстоянии вытянутой руки, т. е. примерно в пятидесяти сантиметрах от глаза, позволяет определять расстояние до предмета, если фактическая высота последнего известна, а «видимая высота» будет отсчитана по линейке. Этим же методом может быть определено расстояние и по известной ширине наблюдаемого предмета, если последняя расположена перпендикулярно к лучу зрения. Разделив действительную высоту на удвоенную высоту, измеренную по линейке, найдем расстояние до наблюдаемого предмета. Это расстояние выразится в метрах, если обе высоты (фактическая и видимая) предмета взяты в одинаковых единицах (миллиметрах). Например, телеграфный столб высотой 6,4 м закрывается восемью миллиметрами на линейке. Следовательно, расстояние до столба будет равно 6400:16 = 400 м.

Для использования этого приема следует знать высоты наиболее часто встречающихся предметов (в м): телеграфный столб — 6,4; железнодорожные вагоны — пассажирские 4,3, товарные двухосные 3,5, товарные четырехосные 4; автомобили — легковые 1,5, грузовые 3; жилые дома (один этаж) — в сельской местности 3-4, в городской 3,5-5 м..

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ГЛАЗОМЕРОМ. Определение расстояний на глаз дает малую точность, зато этот прием самый простой и быстрый. Считается, что расстояние в 1 км определяется с ошибкой в 50% и эта ошибка с увеличением расстояний непрерывно возрастает. При определении же малых расстояний ошибка значительно меньше и приближается к 10% для расстояний порядка 100 м. Чтобы развить глазомер, следует возможно чаще упражняться, оценивая на глаз расстояния, длины которых известны. Точность глазомерного определения расстояния в основном зависит от степени натренированности съемщика. Известную помощь окажут следующие общие указания:

— ярко освещенные предметы кажутся ближе, чем слабо освещенные. В туманную погоду расстояния кажутся больше истинных;

— предметы, окрашенные в яркие цвета (белый, желтый, красный), видны яснее и потому кажутся ближе, чем предметы, окрашенные в темные цвета (черный, синий, коричневый);

— чем больше разница в окрасках предмета и фона, на который он проектируется, тем предмет кажется ближе. Так, дом, проектирующийся на небо, кажется ближе дома, проектирующегося на лес и склон горы;

— крупные предметы, например большие дома, группы деревьев или людей, кажутся ближе, чем мелкие предметы: маленькие домики, отдельно стоящее дерево или человек;

— чем меньше промежуточных предметов находится между глазом и наблюдаемым предметом, тем ближе кажется последний Так, противоположный берег реки или озера кажется всегда ближе, чем на самом деле.

Для повышения точности глазомерного определения расстояния может оказаться полезной табл. 3, составленная по многочисленным наблюдениям разных лиц.

Таблица 3

Расстояния, с которых различаются предметы и их детали

Наблюдаемые предметы	Расстояние, км
Колокольни и башни	16-21
Ветряные мельницы	11
Деревни и большие дома	9
Отдельные домики	5
Окна в домах	4
Трубы на крышах	3
Отдельные деревья и одиночные люди	2
Верстовые и другие столбы	1
Движение ног идущего человека	0,70
Переплеты в окнах	0,50
Цвета и части одежды	0,25
Черепицы и шифер на крышах	0,20

ПОНЯТИЕ О РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ ДЛИН. Современные измерения длин основаны на использовании электромагнитных колебаний. Приборы для измерения длины по времени распространения электромагнитных колебаний между двумя конечными точками отрезка линии называют радиофизическими дальномерами. При обработке полученных результатов допускают, что скорость распространения электромагнитных колебаний во время измерений — величина известная и постоянная.

По виду используемых электромагнитных колебаний радиофизические дальномеры делятся на светодальномеры и радиодальномеры.

Светодальномер состоит из собственно дальномера — приемопередатчика, устанавливаемого на одном конце измеряемого отрезка линии, и отражателя, выставляемого на другом его конце.

Пусть время, потребное для прохождения светового сигнала вдоль линии от приемопередатчика до отражателя и обратно, равно τ, а скорость распространения света в воздухе v, тогда искомая длина D отрезка определится формулой

$$D = \frac{v}{2}\tau + \delta,$$

где δ — постоянная поправка дальномера.

Светодальномеры, предназначенные для измерения больших расстояний — порядка 20 – 25 км, обеспечивают результат измерения с относительной ошибкой не больше $^1/_{300\,000}$ – $^1/_{400\,000}$; светодальномеры, применяемые для расстояний 5 – 15 км, определяют длину с относительной ошибкой $^1/_{100\,000}$ – $^1/_{200\,000}$, а расстояния 3 – 5 км измеряются топографическими светодальномерами с относительной ошибкой $^1/_{10\,000}$ – $^1/_{100\,000}$.

Радиодальномеры в настоящее время обеспечивают несколько меньшую точность.

§ 3. Измерение и построение углов на местности

ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ЛЕНТОЙ, ПОСТРОЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНИКА ПО ТРЕМ СТОРОНАМ. Мерную ленту (рулетку) можно использовать и для определения величины угла. Последнее основано на том положении, известном из геометрии, что любой треугольник точно определяется длинами трех его сторон.

Для доказательства этого построим треугольник *ABC* (рис. 11, а) по трем данным сторонам его, измеренным на местности. Отложим на бумаге в выбранном масштабе одну из сторон, например *AC.* Затем из концов этого отрезка опишем циркулем в том же масштабе две дуги: из точки *A* радиусом, равным *AB;* из точки *C* радиусом, равным *CB.* В пересечении этих дуг получим третью вершину — *B*. Соединив точку *B* с точками *A* и *C*, построим на бумаге треугольник, который будет подобен треугольнику *ABC* местности. Длины линий будут уменьшены в одинаковое число раз, а углы будут равны соответствующим углам треугольника местности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЛИНЕЙНЫМИ ПРОМЕРАМИ. Пусть требуется определить величину угла *ABC* (рис. 11, 6). Отложим от вершины *B* по сторонам *BA* и *BC* некоторые отрезки *Ba* и *Bc.* Практически при этом выгодно отложить круглые величины, например *Ba* = *Bc* = 10 м, после чего измеряется отрезок *ac.*

Следует отметить, что при определении тупого угла *DBC* (рис. 1, *б*) лучше «измерять» непосредственно не сам угол, а его дополнение до 180°. Для этого надлежит продолжить одну из его сторон, например сторону *DB* (см. рис. 11, *б*), и поступить далее аналогично предыдущему. По полученным линейным величинам размеры угла можно определить как графически, так и аналитически. Рассмотрим эти оба решения последовательно.

Построив треугольник по трем его сторонам, мы тем самым определим угол *B* графически, и его величина может быть измерена транспортиром.

Если же мы желаем получить величину угла точнее, чем это позволяет чертеж, то надо прибегнуть к вычислениям. Тригонометрия дает общие формулы, позволяющие определить величину угла в треугольнике по известным длинам сторон. Практически удобнее всего воспользоваться *таблицей хорд,* данной в прилож. 1. В этой таблице даны значения стороны *ac,* называемой хордой, для различных углов в предположении, что Ba = Bc = 10 м

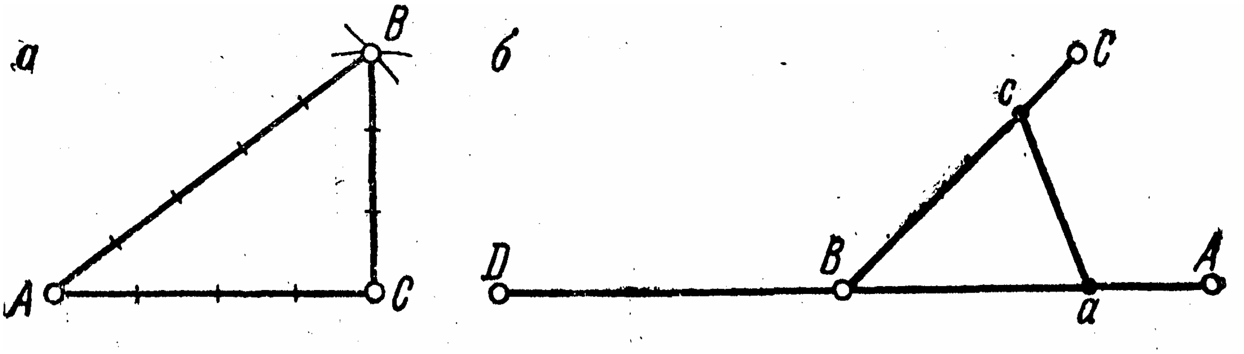


Рис. 11 – Использование длин сторон треугольника:
а – построение треугольника,
б – определение величины угла

Пусть, например, хорда *ac* = 11,04 м. В таблице находим, что соответствующий ей угол равен 67°00'. Равным образом хорде 7,60 м будет соответствовать угол 44°40' и т. д.

ПОСТРОЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ УГЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ЛЕНТЫ. Произведя соответствующие расчеты, можно при помощи ленты решать и обратную задачу — строить на местности углы заданной величины. Пусть требуется построить угол, равный 37°30'. Так как этому углу соответствует хорда 6,43 м, то, построив на местности треугольник со сторонами 10,00; 10,00 и 6,43 м, мы тем самым построим и данный угол. Он будет заключен между десятиметровыми сторонами. Очевидно, вместо десятиметровых сторон можно откладывать другие, например 5 или 20 м, но в этом случае в соответствующее число раз надлежит уменьшать или увеличивать хорду (в данном случае в 2 раза).

Изложенный прием, основанный на использовании таблицы хорд, может быть с успехом применен и при построении (измерении) углов на плане.

При выполнении топографических работ чаще всего встречается необходимость в построении прямого угла (90°) и угла в 45°. Построение этих углов можно выполнять и без таблицы хорд. Ниже дается описание некоторых наиболее простых способов.

На рис. 11, *а* показано построение прямого угла в точке *C* к стороне *AC.* Это построение основано на том, что в треугольнике со сторонами 3, 4 и 5 м угол, лежащий против пятиметровой стороны, — прямой угол (90°). Этим треугольником пользовались древние египтяне при строительстве пирамид, отсюда, он и получил свое название — «египетский». Для получения большей точности стороны этого треугольника могут быть увеличены в любое число раз (например: 6, 8 и 10).

Аналогичным образом может быть построен прямой угол при

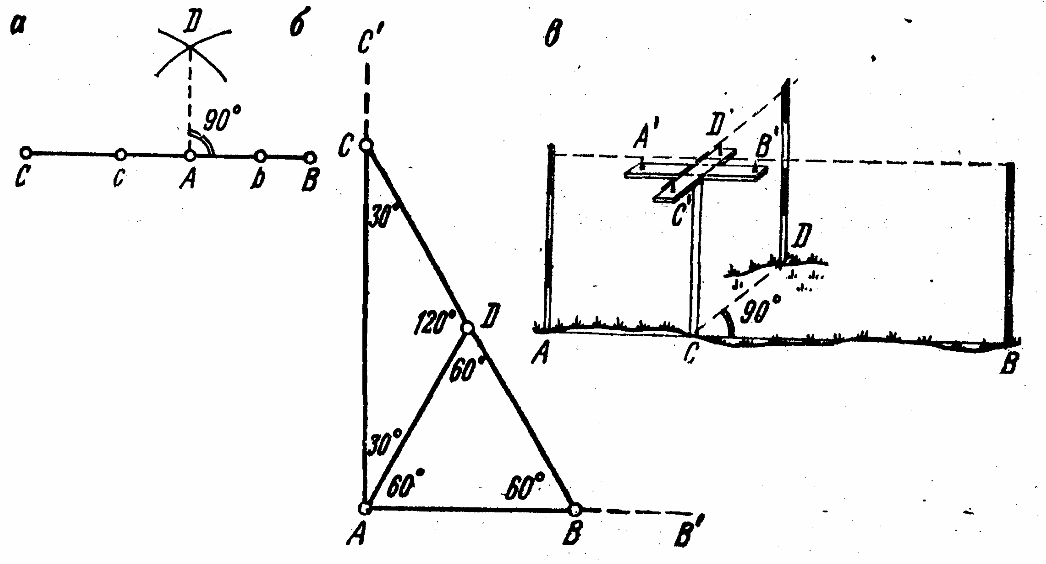


Рис. 12 – Построение перпендикулярных углов:
а – рулеткой,
б – при помощи равностороннего треугольника,
в – экером

помощи треугольника со сторонами 5,00; 7,07 и 5,00 м. На этот раз углы против 5,00 м сторон будут равны 45°, а против 7,07 м – 90°.

Кроме того, для построения угла в 45° можно использовать треугольники со сторонами 7,00; 4,00 и 5,04 ,м или 7,00; 6,00 и 5,06 м, в которых угол в 45° будет лежать опять-таки против пятиметровой стороны. С большой точностью угол в 45° может быть построен по треугольнику 17, 17 и 13 м. Здесь он[*] будет лежать против стороны 13 м (точнее: стороне 13,01 м соответствует угол 44°б9,7').

Дадим еще один способ построения перпендикуляра *AD* в точке *A* к стороне *BC* (рис. 12, а). Отложим от точки *A* в обе стороны равные отрезки: *Ab=Ac* (например, 3, 5 м и т. д.). Из полученных точек *b* и *c* равными радиусами (большими, чем выбранные отрезки) проведем дуги, пересечение которых даст точку *D*. Эта точка может быть найдена и другим путем. Укрепив концы рулетки в точках *b* и *c,* натянем ее за середину, которая и попадет в точку *D*. Последний способ удобен еще и тем, что аналогичным образом может быть решена и обратная задача: проведен через точку *D* перпендикуляр к линии *BC*. При решении этой задачи все действии выполняют в обратном порядке.

[*] Угол 44°57,5'

В отдельных случаях, когда перпендикуляр *AC′* нужно восставить в точке *A* к направлению *AB′*, причем линейные измерения возможны лишь по одну сторону от линии *AC′*, можно рекомендовать следующий прием. От точки *A* по направлению *B′* откладывают некоторый отрезок *AB* (10 м) и строят равносторонний треугольник *ABD* (*AB* = *BD* = *DA*). Далее сторону *BD* вешат и откладывают отрезок *DC* = *BD* (10 м). Конец этого отрезка — точка *C* (будет лежать на направлении перпендикуляра *AC′* (рис. 12, *б).*

ЭКЕР И РАБОТА С НИМ. Построение прямых углов обычно выполняют специальным прибором — экером. Простейший экер — крестообразный; он состоит из кола и двух планок, на каждой из которых вбито отвесно по две иголки. Иголки расположены таким образом, что соединяющие их линии пересекаются под прямым углом.

Для построения прямого угла в точке *C* к линии *AB* нужно установить кол экера отвесно в точке *C*, расположив одну пару иголок в створе *AB* (точка *C* лежит на линии *AB*). Тогда вторая пара иголок будет перпендикулярна к этой линии. Остается в створе с ними выставить веху *D* (рис. 12, в).

Так же решается задача с определением основания перпендикуляра, опущенного на линию *AB* из заданной точки *D*. В этом случае, съемщик, передвигаясь по линии *AB*, останавливается в точке, которая на глаз кажется ему близкой к искомому основанию перпендикуляра. Поставив в этой точке экер, он устанавливает одну пару иголок в створе с линией *AB*. Далее, став позади другой пары иголок, он проверяет, находится или нет заданная точка *D* в створе с этой парой иголок. Если точка *D* окажется в этом створе, то точка установки экера и есть искомое основание. Если же точка *D* окажется в стороне от этого створа, то съемщик передвигается с экером в нужном направлении. Действуя последовательными приближениями, съемщик определит нужную точку.

При работе с самодельным крестообразным экером, имеющим расстояние между створными иголками около 30 см, ошибка построения прямого угла будет около 1/4°[*]. При этом имеется в виду, что экер установлен по отвесной линии над данной точкой.

Перед работой экер надлежит проверить. Для этого в точке *C* экером строится перпендикуляр к линии *AB* и полученное направление закрепляют вехой D_1. Далее, повернув экер на 90°, вновь восставляют то же перпендикуляр, но уже по другой паре иголок. Если в створе с иголками окажется точка D_1, то экер верен. В противном случае рядом с вехой D_1 ставят вторую веху D_2, находящуюся в створе со второй парой иголок. Разделив пополам расстояние D_1D_2, тем самым найдем точку D_1, которая будет лежать на

[*] Такая ошибка в направлении вызывает поперечный сдвиг точки порядка 0,5 м на расстоянии 100 м

перпендикуляре *CD* к направлению *AB*. Для исправления экера остается передвинуть одну иголку так, чтобы вторая иголка этой пары проектировалась бы на веху *D*.

В производстве для определения величины горизонтального угла применяют приборы двух типов: *мензулу* и *теодолит.* Мензулой угол строят на бумаге, а теодолитом измеряют его градусную величину.

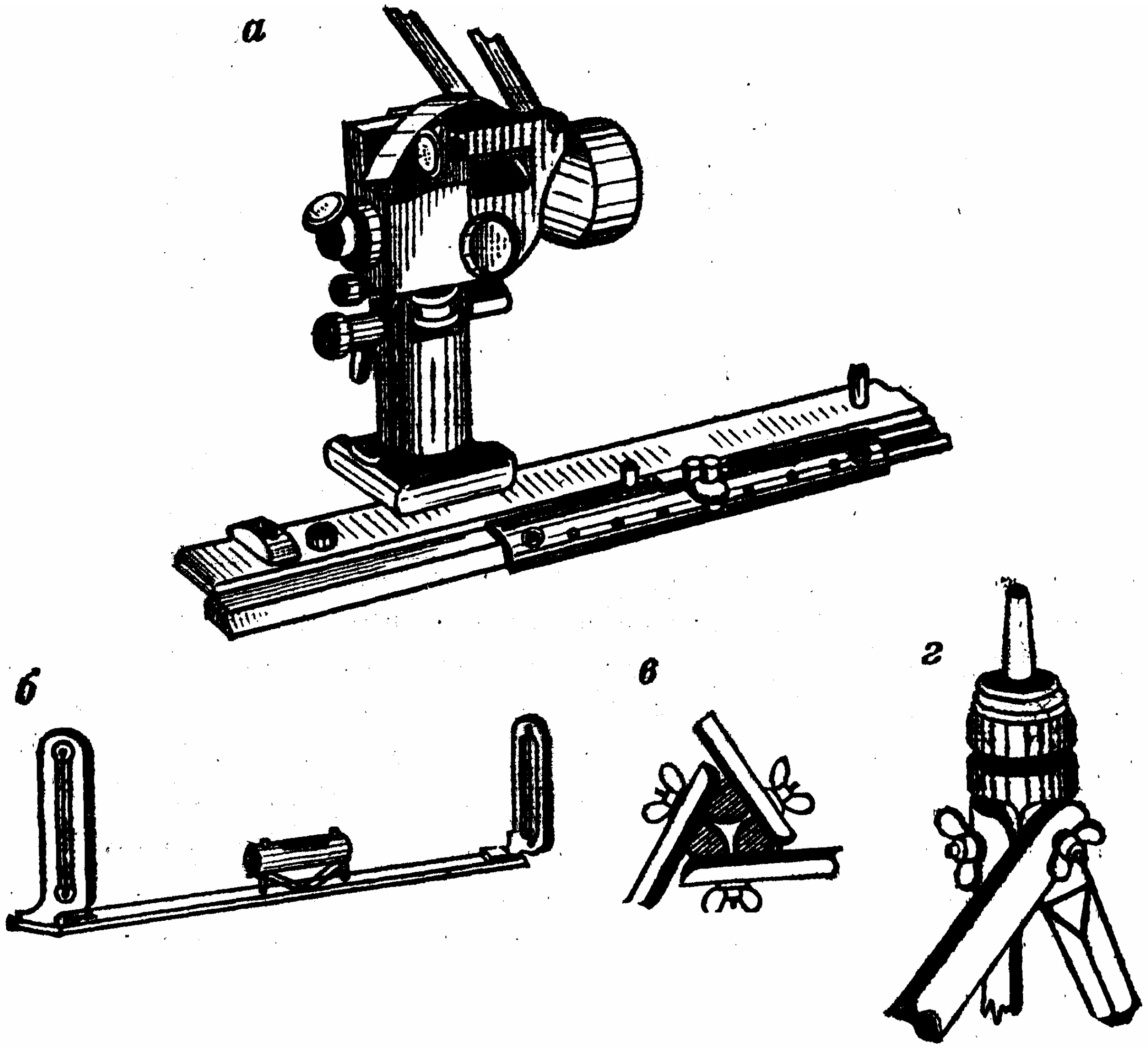


Рис. 13 – Мензула:
а – кипрегель, б – алидада для самодельной мензулы,
в, г – детали самодельного штатива

Ниже излагаются принципы, на которых основаны эти приборы, и указывается, как по их образцу можно изготовить самодельные приборы для измерения углов.

МЕНЗУЛА. Мензула — это переносный столик для черчения плана непосредственно на местности. Она состоит из планшета — квадратной доски, которая скрепляется при помощи подставки со штативом (треногой). Перед работой планшет оклеивается сверху бумагой так, чтобы после составления плана можно было легко снять бумагу с планшета, не повредив чертежа. При мензуле имеется специальный прибор — кипрегель, служащий для наведения на окружающие предметы и прочерчивания на планшете соответствующих направлений (рис. 13, *а*)*. Кипрегель имеет вертикальный круг для измерения углов наклона и дальномерные нити в трубе, позволяющие определять расстояния. Прототипом кипрегеля являлась алидада — простейший прибор, состоящий из линейки и приспособления для наведения, например двух вертикально воткнутых иголок или двух стоек с визирами (рис. 13, *б*).

При помощи кипрегеля можно построить угол с точностью до 3–5', а при помощи линейки, снабженной двумя иголками, эта точность снижается в десять раз ($^1/_2$ - 1°).

Нетрудно изготовить самому мензулу упрощенного типа. Возьмем три одинаковые палки длиною около 140 см. Просверлим их коловоротом на расстоянии 32,5 см от верхнего конца. Пропустим через отверстия шнурок и свяжем им все три палки вместе. Раздвинем их треножником так, чтобы нижние концы, поставленные на землю, были на расстоянии около 70 см друг от друга. Затем верхние концы горизонтально обрежем, чтобы они плотно соприкасались с наложенной на них доской. Остается заострить нижние концы палок, и штатив готов. Особое внимание нужно уделить изготовлению планшета. Квадратная доска размерами около 35×35 см при толщине 1 – 2 см должна иметь гладкую поверхность без трещин и сучков. Нижнюю поверхность для лучшего скрепления со штативом следует снабдить тремя гнездами, в которые помещаются верхние концы ножек штатива. Затем эти концы скрепляются винтами с доской, головки винтов должны быть в палках и винт не должен проходить через верхнюю плоскость доски. Конструкция более совершенного штатива показана на рис. 13, *в* и *г*. В качестве алидады может быть использована обычная линейка, на концах которой на равных расстояниях от края нужно укрепить вертикально две иголки.

Для построения на планшете угла *ВАС* местности мензулу устанавливают над точкой *А*, при помощи уровня (или на глаз) планшет приводят в горизонтальное положение и на бумаге намечают точку *а*, соответствующую точке *А* местности: они должны лежать на одной отвесной линии. К точке *а* плана прикладывают линейку и, направив ее на точку *В* местности, по краю чертят направление *ab*, которое будет лежать в створе точек *А* и *В*. Затем точно так же чертится и направление *ас*. Изображенный на бумаге угол *bac* будет равняться горизонтальному проложению угла *ВАС* местности.

ТЕОДОЛИТ. Для измерения величины угла надо иметь круг с нанесенными на его окружности градусными делениями. Допустим, что такой круг, называемый *лимбом,*

---

* На рис. 13, а и 14, 6 представлены приборы фирмы «МОМ» Венгерской Народной Республики

расположен в горизонтальном положении над точкой *A* местности так, что его центр лежит на одной отвесной линии с этой, точкой.

Допустим далее, что около центра круга вращается линейка — алидада. Причем алидада имеет приспособление для наводки (скажем, пару иголок, расположенных на прямой, проходящей через центр делений круга) и приспособление для отсчета, например индекс — штрих. Сделать отсчет — это значит определить, против какого деления круга остановился штрих алидады. Очевидно, каждому положению алидады (при неподвижном лимбе) будет соответствовать свой отсчет.

Техника измерения угла *BAC* сводится к следующему (рис. 14, *а*). Алидаду сначала наводят на левую точку *B* и делают отсчет, например 16°, далее ее направляют на правую точку *C* и снова производят отсчет, скажем, 63°. Вычитая из правого отсчета левый, получим величину угла: 63° – 16°=47°. Может случиться, что правый отсчет (23°) меньше левого (336°), тогда перед вычитанием к нему надо прибавить 360°. Величина угла будет получена так: 23°+360° – 336°=47°. Очевидно, этот случай соответствует положению нулевого штриха лимба внутри измеряемого угла. Называя точки и стороны угла «правая» или «левая», мы считаем, что наблюдатель расположен лицом внутрь измеряемого угла. Наконец, мы учитываем, что на лимбе подписи делений возрастают по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Таким образом, отсчет следует рассматривать как периодическую функцию, с периодом 360°.

Если с данной точки *A* необходимо определить значения углов между направлениями на точки числом больше двух, например между направлениями на точки *B*, *C*, *D* и *E* (см. рис. 14, *а*), то можно измерять не каждый угол *BAC*, *CAD* и т. д. в отдельности, а все совместно: производя отсчеты последовательно, например по ходу часовой стрелки, на каждую из точек *B*, *C*, *D* и т. д. Такие отсчеты называют *направлениями,* а совокупность измеренных совместно направлений — *рядом направлений*.

Обозначив направления на точки *B*, *C*, *D*,... соответственно (*B*), (*C*), (*D*) и т. д., применительно к рис. 14, *а* будем иметь: (*B*) = 16°, (*C*) = 63°, (*D*) = 139° и (*E*) = 221°. Ряд направлений обладает тем свойством, что ко всем направлениям ряда можно прибавлять (вычитать) произвольное число, не изменяя тем самым значения углов, определяемых этим рядом. Обычно записывают ряд направлений так, что первое направление равно нулю: (*B*) = 0°, (*C*) = 47°, (*D*) = 123° и (*E*) = 205°.

Современные приборы, предназначенные для измерения углов, — теодолиты — имеют довольно сложный вид (рис. 14, *б*), но измерение ими углов производят по изложенному выше принципу.

Подчеркнем, что горизонтальность лимба обусловливает измерение не угла *ВАС* местности, а угла $B_0A_0C_0$ на горизонтальной проекции (рис. 14, *в*).

КОМПАС И РАБОТА С НИМ. Пространство вблизи Земли находится в особом состоянии, которое получило название *магнитное поле.*

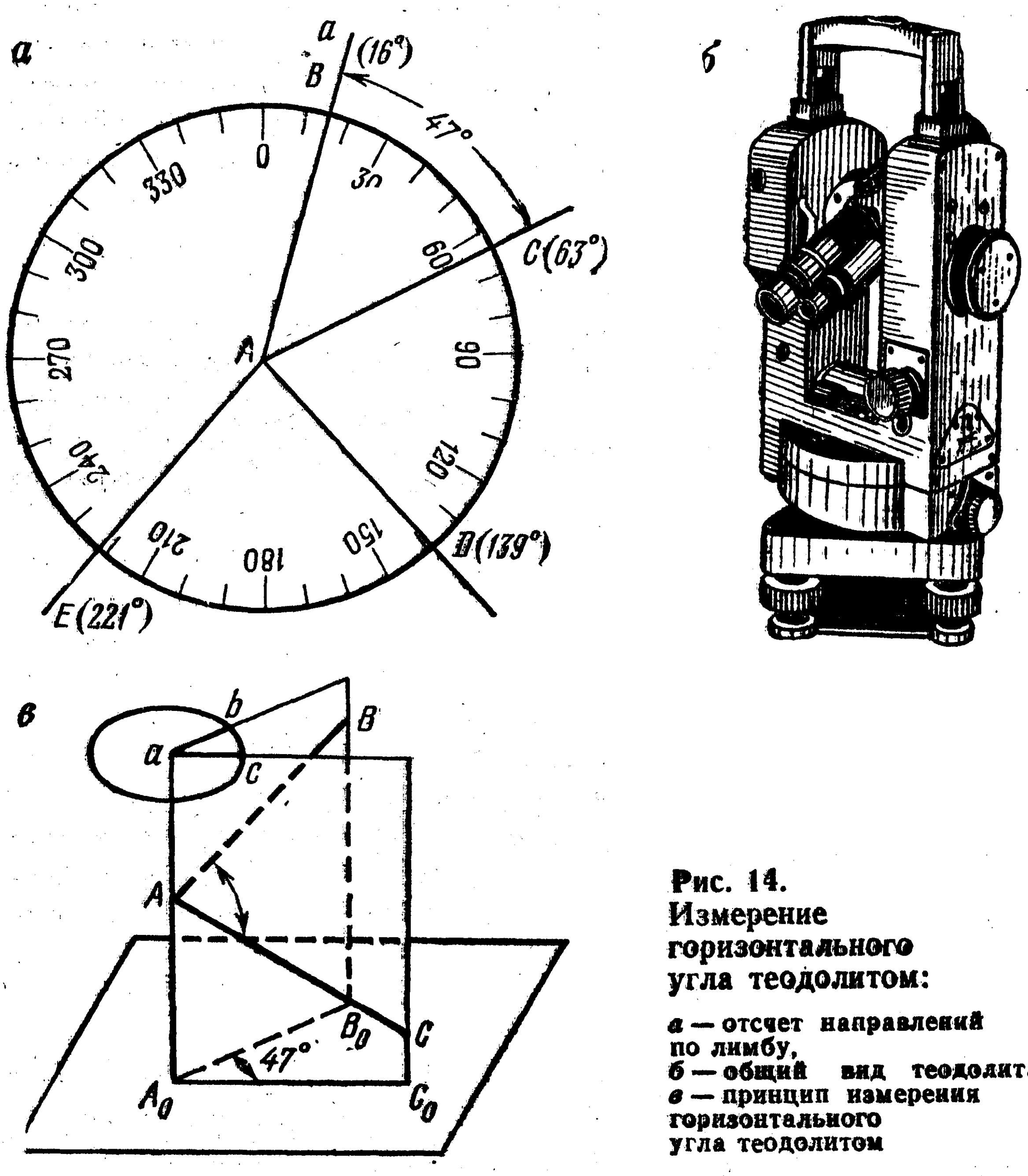


Рис. 14.
Измерение горизонтального угла теодолитом:

а — отсчет направлений по лимбу,
б — общий вид теодолита,
в — принцип измерения горизонтального угла теодолитом

В этом пространстве проявляются силы, действующие на любые магниты, проводники с током и пр. В частности, магнитная стрелка, укрепленная на вертикальной оси, устанавливается в данном месте в определенном направлении.

Вертикальная плоскость, в которой располагается продольная ось магнитной стрелки, называется *плоскостью магнитного меридиана,* а след сечения земной поверхности этой плоскостью — *магнитным меридианом данной точки*.

Конец стрелки, обращенный в сторону Северного полюса Земли, называют северным, а противоположный конец — южным. Магнитный меридиан в данной точке земной поверхности образует с истинным, иначе географическим, меридианом* угол, который называют склонением магнитной стрелки. Если стрелка отклонилась к востоку от истинного меридиана, то *склонение* называют восточным, а если в противоположную сторону — то *западным.* Склонение не только различно в разных точках поверхности Земли, но в одном и том же месте не остается постоянным. Кроме того, на направление магнитной стрелки влияют находящиеся поблизости железные (стальные) предметы, а также линии высоковольтных передач. Однако с точностью порядка 1–3° считают направление магнитной стрелки неизменным. Для всех точек небольшого участка местности. Для определения этого направления служит *компас.*

Компас представляет собой круглую коробку, в центре которой укреплен шпиль. На острие шпиля надевается магнитная стрелка, концы которой почти касаются кольца с градусными делениями. Коробка закрывается сверху крышкой со стеклом, к которому стрелка может прижиматься специальным рычагом. Это предохраняет стрелку от порчи при переносе.

Наиболее распространен компас Андрианова (рис. 15). Крышка этого компаса может свободно вращаться, она имеет приспособление — прицел для визирования. Компас позволяет измерить *магнитный азимут* направления (линии) местности, т. е. горизонтальный угол, который образует это направление с северным концом магнитной стрелки. Азимут отсчитывается от направления на север, через восток, юг и запад от 0 до 360° (по ходу часовой стрелки).

Для измерения магнитного азимута съемщик держит компас так, чтобы северный конец освобожденной стрелки указывал точно на деление 0°. Далее, вращая крышку, он наводит прицел на предмет, азимут направления на который определяется, после чего остается сделать отсчет по специальному указателю, расположенному под прицелом в плоскости кольца с делениями (см. рис. 15).

Если измерить азимуты двух сторон угла, то их разность даст его величину. При аккуратных измерениях ошибка угла будет порядка 5° (*цена* одного деления компаса Андрианова равна 3°).

Большие компасы называются буссолями, они позволяют измерить углы с точностью до $^1/_2$°.

---

* Географический меридиан — след сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли.

Перед использованием компас (буссоль) надлежит *поверить.* Поверками в. геодезии называют установление правильного взаимного расположения частей прибора. Основные поверки компаса сводятся к следующему. Во-первых, поверяется чувствительность стрелки. Для этого компас располагают горизонтально на устойчивом основании (на столе). Дав стрелке успокоиться, делают отсчет по ее концам, затем выводят стрелку из состояния покоя, поднося к компасу железный или стальной предмет. В исправном компасе после удаления предмета, возмущающего покой стрелки, она должна вернуться в свое первоначальное положение. Эту поверку проделывают несколько

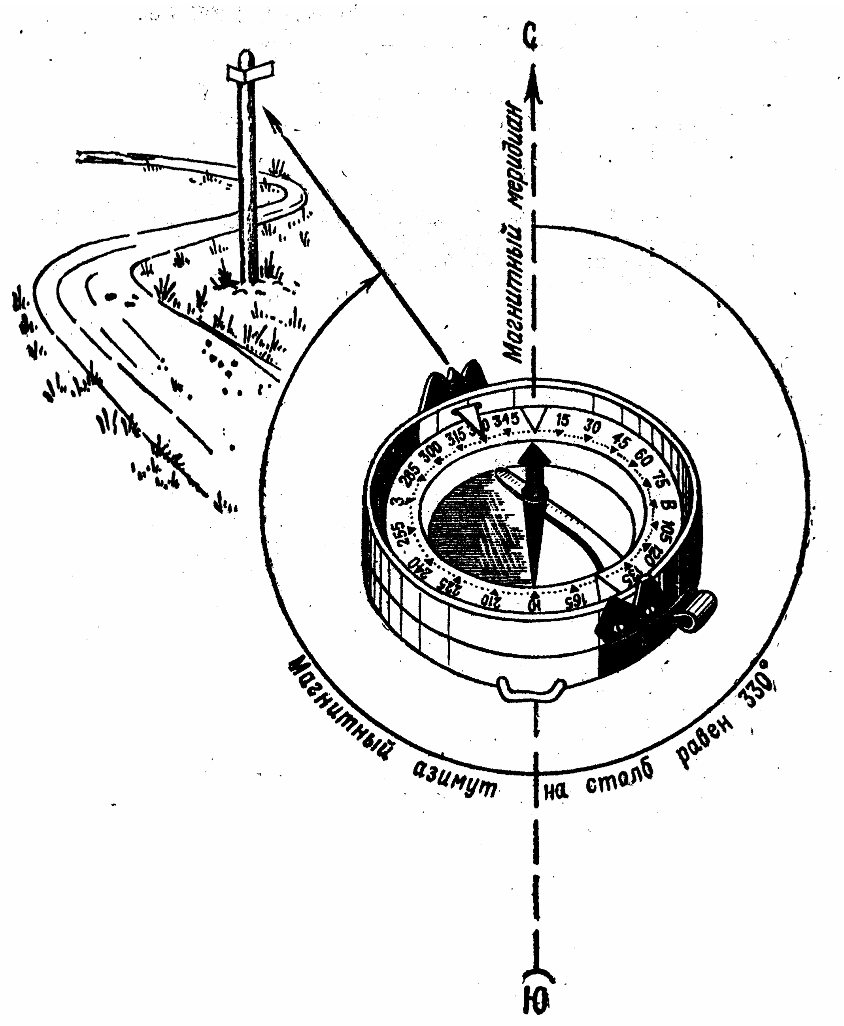


Рис. 15 – Определение магнитного азимута по компасу

несколько раз и на различных частях лимба. Во-вторых, поверяют уравновешенность стрелки. Компас приводят опять в горизонтальное положение и, вращая его вокруг центра, следят за положением концов стрелки относительно плоскости лимба: оба конца должны быть на одной высоте относительно лимба или дна коробки корпуса (при отсутствии лимба). Если один конец стрелки оказывается выше другого, то на него капают сургучом или надевают хомутик из фольги.

§ 4. Определение недоступных расстояний

В практике часто встречается необходимость определения длины x отрезка AB, величину которого непосредственно измерить нельзя. При этом могут встретиться довольно разнообразные условия, допускающие различные решения, которые в зависимости от их теоретического обоснования и практических приемов выполнения мы будем разделять на способы и их варианты.

СПОСОБ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ AB ПОСТРОЕНИЕМ ТРЕУГОЛЬНИКА. Вариант 1. При доступной точке A строится перпендикуляр AC' к направлению AB. На полученном направлении AC' отыскивается такая точка C, из которой точка B видна под углом 45° (рис. 16, а). При этом может быть использован экер (рис. 16, *б*). Очевидно, искомое расстояние $x = AB = AC$, т. е. остается лишь измерить отрезок AC. Простота этого варианта решения очевидна, но имеются и определенные недостатки: определение точки C, вообще говоря, выполняется методом последовательных приближений, что создает известные практические неудобства. Кроме того, сторона AC не должна быть менее длины определяемого расстояния, а это условие не всегда выполняется.

Вариант 2. Направление AC' получается, как и в предыдущем варианте (построением прямого угла), но точка C берется произвольная — лишь бы из нее была видна точка B. При точке C угол $ACB = \gamma$ измеряется непосредственно (угломерным прибором) или косвенно: отложением одинаковой длины отрезков $Cd = Cb = l$ (рис. 16, *в*) и измерением хорды ab, соединяющей концы этих отрезков. В последнем случае величину угла y определяют по таблице хорд (прилож. 1). Длину x стороны AB определяют по формуле

$$x = b\ tg\ \gamma \tag{4.1}$$

где b — длина базиса AC.

Вариант 3. Выбирают точку C таким образом, чтобы из нее была видна точка B и отрезок $AC = b$ линии был удобен для измерения. В точках A и C измеряют углы α и γ (рис. 16, *г*), после чего искомое расстояние $x = AB$ определяют по формуле

$$x = \frac{b}{\sin(\alpha + \gamma)} \sin\gamma. \tag{4.2}$$

Вариант 4. Допустим, что между точками A и B видимости нет, но каждая из них доступна. Выбираем третью точку C, с которой видны точки A и B, а стороны $AC = b$ и $BC = a$ удобны для линейных измерений. Получив значения этих длин: b и a, а также измерив угол $ACB = y$ (рис. 16, *д*), найдем искомую величину

$$x = \sqrt{a^2 + b^2}, \text{ если } \gamma = 90°, \tag{4.3}$$

$$x = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma}, \text{ если } \gamma \neq 90° \tag{4.4}$$

Практические указания: В геодезии принято все результаты получать с контролем (два раза). Так, применительно к варианту 3 расстояние *AB* определяют не из одного треугольника, а из двух: ABC_1 и ABC_2 (рис. 16, *е)*. Если такое построение

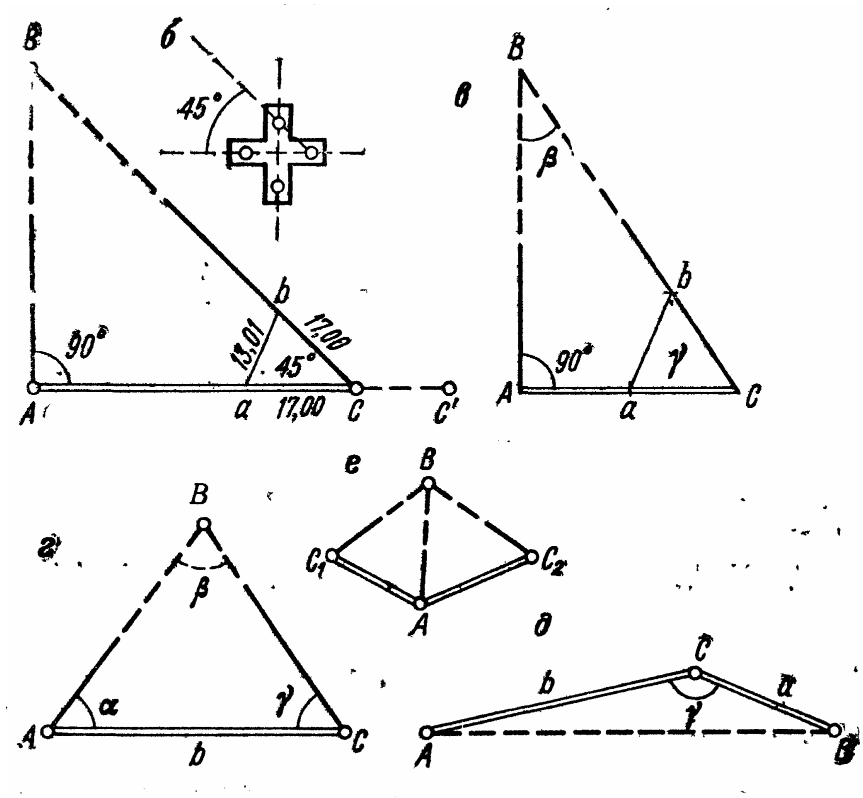


Рис. 16 – Определение недоступного расстояния:
а – построение прямоугольного равнобедренного треугольника,
б – построение экером угла 45°,
в – построение прямоугольного треугольника,
г – построение треугольника по стороне и прилежащим к ней углам,
д – построение треугольника по двум сторонам и углу, заключенному между ними,
е – определение недоступного расстояния с контролем (от двух базисов)

выполнить нельзя и приходится обходиться одним треугольником, то в нем надлежит измерить не два угла, а все три (α, β, γ), чтобы проконтролировать результаты измерений по формуле

$$\alpha + \beta + \gamma = 180°. \tag{4.4}$$

При реализации вариантов 2, 3 и 4 точность результата зависит от величин углов треугольника. В вариантах 2 и 3 нельзя допускать, чтобы угол β при точке *B* был менее 30° и больше 120°. В варианте 4 желательно, чтобы точка *C* располагалась как можно ближе к стороне *AB*. Ошибка последней, обусловленная неточностью измерения угла γ пропорциональна площади треугольника *ABC* (см. рис. 16, *д*).

СПОСОБ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕДОСТУПНОГО РАССТОЯНИЯ *AB* ПОСТРОЕНИЕМ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКА. Вариант 1. При точке *A* к направлению *AB* строят перпендикуляр *AC′* на котором выбирают точку *C*. Она должна удовлетворять

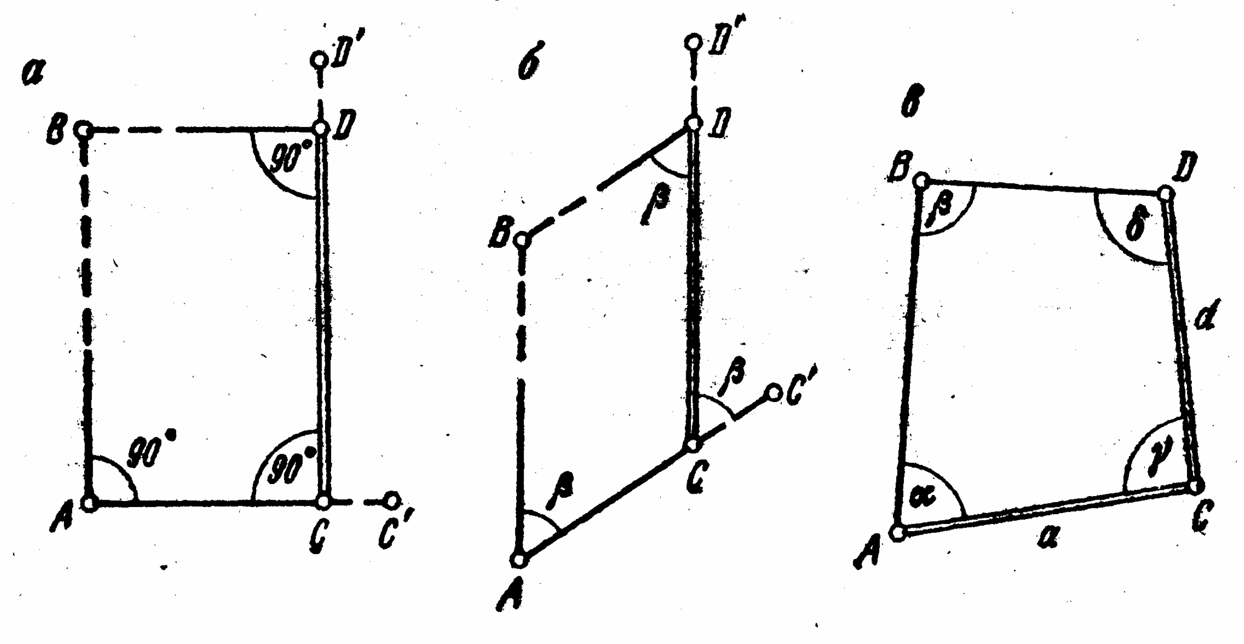


Рис. 17 – Определение недоступного расстояния:
а – построением прямоугольника, б – построением параллелограмма,
в – построение четырехугольника по двум сторонам и углам

условию, что по перпендикулярному к *AC′* направлению *CD′* удобно производить линейные измерения. На этой последней линии находят точку *D*, являющуюся основанием перпендикуляра, опущенного из точки *B* на линию *CD′* (рис. 17, *а*). Измеренное расстояние *CD* по построению равно искомому *AB*.

Для повышения точности результата желательно вспомогательные стороны *AC* = *DB* брать наименьшей величины.

Вариант 2. Рассматриваемое построение (рис. 17,. *б*) отличается от предыдущего только тем, что в точках *A*, *C* и *D* строят не прямые углы, а углы, равные некоторой произвольной величине β. При построении этих углов можно использовать как угломерные приборы, так и указанные ранее (§ 3) приборы для измерения линий. Подчеркнем, что числовое значение угла β знать не обязательно.

Вариант 3. Если на местности нельзя построить прямоугольник (см. рис. 17, *а*) или параллелограмм (см. рис. 17, *б*), то для определения недоступного расстояния *AB* можно выбрать произвольно расположенные точки *C* и *D*. Затем измерить стороны *AC* = *a* и DC = d, а также углы α, β, δ четырехугольника (рис. 17, *в*), после чего длину стороны *AB* определяют по формуле

$$x = \frac{d \sin \delta + a \sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta}. \qquad (4.6)$$

Наиболее точный результат по этой формуле будет получен для случая, когда углы четырехугольника близки к 90°. В этом случае значение стороны $AC = a$ нужно знать лишь приближенно.

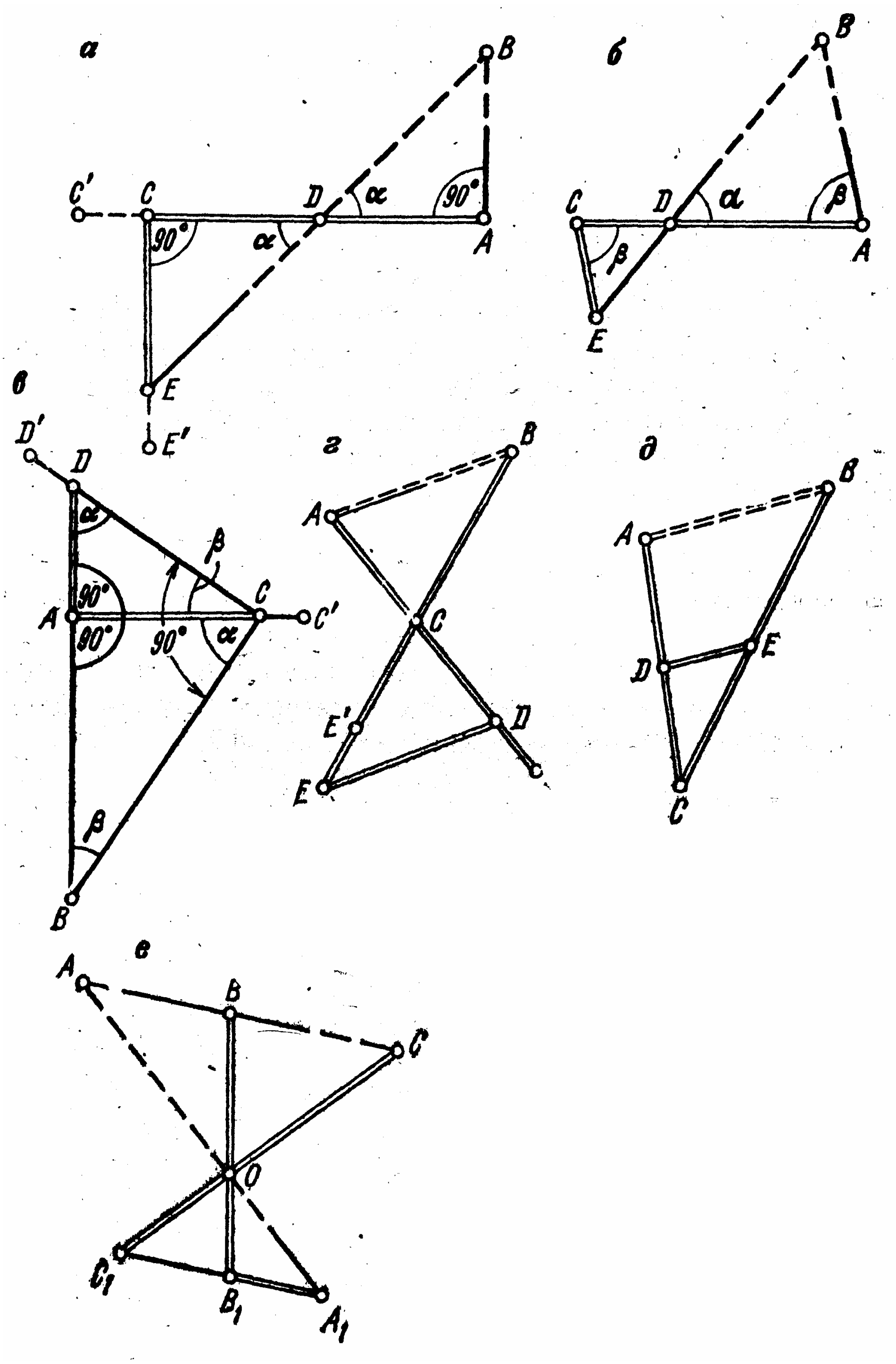


Рис. 18 – определение недоступного расстояния построением подобных (равных) треугольников

В четырехугольниках, представленных на рис. 17, желательно для контроля измерять (строить) все четыре угла.

СПОСОБ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕДОСТУПНОГО РАССТОЯНИЯ *AB* ПОСТРОЕНИЕМ ПОДОБНЫХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ. Вариант 1. В точке *A* к направлению *AB* строят перпендикуляр *AC′* (точку *C′* закрепляют вехой). Затем в направлении *AC* откладывают равные отрезки: $AD = l$, $DC = l$, причем их длина 1 не должна быть меньше половины определяемого расстояния $AB = x$. Дело в том, что ошибка в определений этого расстояния, обусловленная неточностью построения прямого угла, пропорциональна квадрату тангенса угла α, (рис. 18, *а).* Из точки *C* строят перпендикуляр *CE′*, на котором находят точку *E*, лежащую в створе линии *BD.* Искомое расстояние $AB = x$ будет равно длине стороны *EC,* т. е. $x = EC$.

Изложенное решение можно обобщить. Во-первых, вместо построения прямого угла в точках *A* и *C* можно построить некоторый угол β (рис. 18, *б*). Во-вторых, сторону *DC* можно отложить равной величине $AD : К$, где *К* — произвольное число. Однако практически удобнее принять *К* равным ½, $^1/_3$, 2, 3 и т. д. В этом случае $x = К \times CE$, но и здесь нельзя допускать, чтобы угол α был острее 30°.

Вариант 2. Построение пары подобных треугольников может быть выполнено и по другому плану. При точке *A* строят прямой угол *BAC′* (рис. 18, *в*). На перпендикуляре выбирают точку *C*, в которой также строят прямой угол *BCD′* к направлению *CB.* Затем определяют точку *D*, которая лежит в створе двух линий: *CD′* и *AB.* Для этого по створу *CD′* в районе искомой точки *D* натягивают ленту (рулетку) и на ней находят точку пересечения со вторым створом. Обозначив ее на местности, измеряют стороны (катеты) $AC = c$ и $AD = d$. Остается вычислить расстояние *AB:*

$$x = \frac{c^2}{d}$$

Вариант 3. Пусть между точками *A* и *B* нет взаимной видимости. Выбираем точку *C*, из которой видны обе данные точки и линии *AC* и *BC* удобны для измерения расстояний. Вешат линии *AC* и *BC* за точку C, закрепляя на местности эти направления вешками *D′* и *E′*. Измеряют расстояния $AC = a$ и $BC = b$. Затем по направлению *AC* в сторону точки *D′* откладывают отрезок *CD*, равный *a*, а по направлению *BC* в сторону точки *E′* — отрезок *CE*, равный величине *b.* Остается измерить расстояние между точками *D* и *E*, которое по построению равно искомой величине $x = AB$ (рис. 18, *г*).

В целях контроля следует вешку *D′* установить на линии *AD* так, чтобы расстояние *CD* равнялось бы величине $b = CB$; равным образом следует переставить и точку *E*, добиваясь выполнения условия $CE' = AC = a$.. Очевидно, расстояние $D'E' = DE = AB = x$.

Изложенное решение можно обобщить на случай использования (построения) не равных, а подобных треугольников. В этом случае по направлению *AC* следует отложить отрезок $CD = AC : K$, а по направлению *BC* — отрезок $CE = BC : K$, где — некоторое число, например 1,5; 2; 3 и т. д. (можно выбирать и значения *К* меньше единицы). Причем для значений *К*, больших единицы, отрезки *CD* и *CE* можно откладывать от точки *C* как в направлении данных точек *A* и *B* (рис. 18, *д*), так и в противоположных. В последнем случае построение будет сходным с рис. 18, *г*. Измерив расстояние между точками *D* и *E* и умножив полученную величину на коэффициент *К,* мы тем самым определим неизвестное расстояние $x = AB = K \times DE$.

Следует иметь в виду, что чем больше коэффициент пропорциональности *К,* тем больше будут сказываться ошибки построения и измерений на окончательный результат.

Вариант 4. Если точка *A* недоступная, но между точками *B* и *A* имеется видимость, то можно использовать следующее построение (рис. 18, *е).* В створе *AB* намечают точку *C* и выбирают вспомогательную точку *O*, из которой видны все три точки *A*, *B* и *C*. Далее измеряют; отрезки *BO* и *CO* и на продолжении этих линий, которые предварительно вешат, откладывают соответственно расстояния $OB_1 = OB : K$ и $OC_1 = OC : K$, где *К* — коэффициент пропорциональности, играющий; ту же роль, что и ранее.

Через полученные точки C_1 и B_1 вешат прямую линию и находят на ней точку A_1, находящуюся в створе линии *AO*, т. е. искомая точка A_1 определяется пересечением двух створов — *AO* и C_1B_1. Измерив отрезок A_1B_1 найдем искомое расстояние $AB = x$ по формуле

$$x = K \times A_1B_1.$$

§ 5. Вычисление координат пунктов геодезической сети

Геодезической сетью называют систему (совокупность) пунктов, надежно закрепленных на местности и связанных между собой линейными и угловыми измерениями таким образом, что оказывается возможным вычислить координаты этих пунктов в единой системе. Пункты геодезической сети называют, геодезическими пунктами, а отрезок линии, соединяющей смежные пункты сети, — стороной сети.

По характеру построения геодезическую сеть называют триангуляцией, трилатерацией и полигонометрией.

Триангуляцией называют геодезическую сеть, состоящую из треугольников (рис. 19, *а*), причем каждый последующий треугольник имеет с предшествующими хотя бы одну общую сторону (рис. 19, *б*). В триангуляции измеряют, как правило, все три угла каждого треугольника и длину одной стороны — базиса (второй базис может быть измерен для контроля). Трилатерация отличается от триангуляции тем, что в ней в каждом треугольнике измеряют не углы, а длины всех его сторон. Сеть полигонометрии состоит из отдельных ходов (рис. 19, *в*) и многоугольников — полигонов, имеющих друг с другом

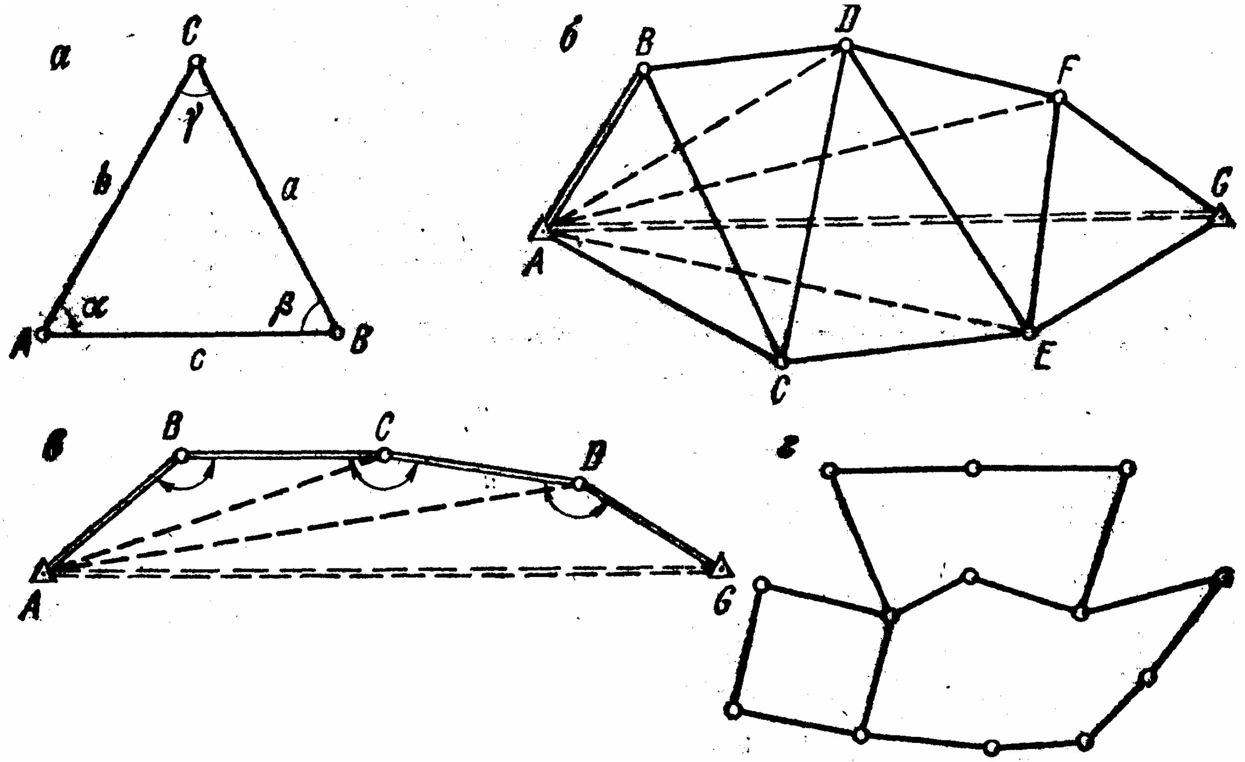


Рис. 19 – Геодезические сети:
а – элементы треугольника, б – цепь треугольников,
в – полигонометрический ход, г – полигонометрическая сеть

общие стороны (рис. 19, *г*) или общие пункты. В полигонометрии на каждом ее пункте измеряют углы, а также длины всех ее сторон (рис. 19, *в*).

Для ориентирования геодезической сети на одну из ее сторон передают значение дирекционного угла или определяют азимут (стр. 99) какой-либо стороны сети.

Перед тем как изложить методику вычисления координат пунктов геодезической сети, напомним наиболее важные случаи решения плоского треугольника. Элементы плоского треугольника — углы и длины сторон — обозначим так, как это показано на рис. 19, *а*.

Известно, что плоский треугольник определен любыми его тремя элементами, за исключением трех углов. Ниже приводятся формулы, необходимые для последующего изложения.

1. Решение треугольника по двум углам — α, γ и стороне b, лежащей между ними.

Формулы:

$$\beta = 180° - (\alpha + \gamma) \tag{5.1}$$

$$a = \frac{b}{\sin\beta}\sin\alpha; \quad c = \frac{b}{\sin\beta}\sin\gamma. \tag{5.2}$$

2. Решение треугольника по двум сторонам — *a*, *c* и углу β, заключенному между ними. Формулы:

$$\operatorname{ctg}\alpha = \left(\frac{c}{a} - \cos\beta\right)\operatorname{cosec}\beta; \tag{5.3}$$

$$\operatorname{ctg}\gamma = \left(\frac{a}{c} - \cos\beta\right)\operatorname{cosec}\beta; \tag{5.4}$$

контроль:

$$\alpha + \beta + \gamma = 180°. \tag{5.5}$$

Сторону *b* определяют по формуле (5.2) или вычисляют непосредственно через данные величины

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\cos\beta. \tag{5.6}$$

3. Решение треугольника по трем сторонам — *a*, *b*, *c*.

Формулы:

$$\cos\alpha = \frac{\sigma^2 - a^2}{bc}; \quad \cos\beta = \frac{\sigma^2 - b^2}{ac}; \quad \cos\gamma = \frac{\sigma^2 - c^2}{ab}, \tag{5.7}$$

где

$$\sigma^2 = \frac{1}{2}(a^2 + b^2 + c^2).$$

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИН И ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ СТОРОН ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ. Длины сторон триангуляции находятся последовательным применением формулы (5.1), при этом в первом треугольнике *b* — базис, а в последующих треугольниках *b* — сторона предыдущего треугольника.

Углы в треугольниках трилатерации вычисляют по формуле (5.6) и контролируют по (5.7).

В результате указанных вычислений все элементы треугольников триангуляции и трилатерации оказываются определенными. Затем приступают к вычислению дирекционных углов всех сторон геодезической сети: триангуляции, трилатерации, полигонометрии.

Дирекционный угол стороны с пункта *A* на пункт *B* обозначим T_{AB}, а обратный ему дирекционный угол с *B* на *A* — через T_{BA}. Так как противоположные направления одной и той же линии отличны на 180°, то $T_{BA} = T_{AB} \pm 180°$, при этом подразумевается, что дирекционный угол — периодическая функция с периодом, равным 360°, т. е. $T_{AB} = T_{AB} = \pm 360°$ и $T_{AB} + 180° = T_{AB} - 180°$.

Основой для вычисления дирекционных углов сторон некоторого полигона, а в частности, треугольника (рис. 19, *а*) служит формула, выражающая значение угла, например, (β через дирекционные углы его сторон: $\beta = T_{BC} - T_{AB}$, где T_{BC} — дирекционный угол правой стороны угла, а T_{AB} — его левой стороны. Из этого соотношения следует:

$$T_{BC} = T_{BA} + \beta; \quad T_{BA} = T_{BC} - \beta.$$

Вводя в правые части написанных уравнений обратные дирекционные углы, окончательно получим

$$T_{BC} = T_{AB} \pm 180^\circ + \beta; \quad T_{BA} = T_{CB} \pm 180^\circ - \beta.$$

Первая из этих формул соответствует обходу полигона (треугольника) против хода часовой стрелки и последовательности вершин *А—В*—С, когда угол β является левым по ходу, а вторая отвечает обходу полигона по ходу часовой стрелки и последовательности вершин С—В—А, при котором угол β будет правым по ходу углом.

Написанные формулы позволяют вычислить дирекционный угол последующей стороны полигона (треугольника) по дирекционному углу предыдущей его стороны и углу (левому, правому), заключенному между этими сторонами. Таким образом, начиная от исходной стороны сети, дирекционный угол которой известен, последовательно вычисляют дирекционные углы всех сторон геодезической сети.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТ ПУНКТОВ СЕТИ. Под полярными координатами некоторого пункта сети подразумевают длину и дирекционный угол отрезка линии, соединяющего этот пункт с пунктом, принятым за начальный.

Так, приняв в триангуляционной (трилатерационной) сети пункт *A* за начало координат и считая дирекционный угол направления стороны *AB* равным нулю (см. рис. 19, *б*), можно последовательным решением треугольников *ABD*, *ADF*, *AFG*, *ACE* вычислить по формулам, (5.2) – (5.5) полярные координаты пунктов *D*, *F*, *G*, *E*. Аналогичным образом вычисляются полярные координаты пунктов *B*, *C*, *D*, *G* в сети полигонометрии (см. рис. 19, *в*).

Если геодезическая сеть строилась с целью определения длины и дирекционного угла между конечными ее пунктами, например, *A* и *G* (см. рис. 19, *б* и *в*), то применение системы полярных координат является целесообразным.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ. В случаях когда геодезическая сеть строится для обоснования последующих съемок (см. § 7), то считается целесообразным применить систему прямоугольных координат (см. стр. 12).

Вычисление прямоугольных координат пунктов основано на решении так называемой прямой задачи на координаты. Пусть даны координаты X_A, Y_A пункта *A*, а также длина *S* и дирекционный угол *T* стороны *AB*, соединяющей пункт *A* с некоторым пунктом *B* сети; требуется определить координаты X_B, последнего пункта.

Из рассмотрения прямоугольного треугольника, в котором ($X_B - X_A$) и ($Y_B - Y_A$) являются катетами, S — гипотенузой, а T — углом, противолежащим катету ($Y_B - Y_A$), найдем

$$X_B = X_A + S\cos T; \qquad Y_B = Y_A + S\sin T.$$

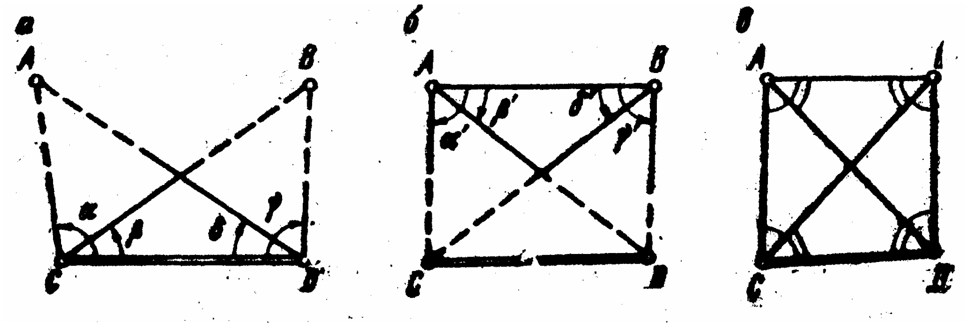


Рис. 20 – Совместное определение двух точек:
а – прямыми угловыми засечками,
б – по задаче Ганзена,
в – геодезическим четырехугольником

В результате последовательного многократного решения этой задачи будут найдены прямоугольные координаты всех пунктов сети.

Для облегчения работы с прямоугольными координатами (определения координат точек, построения точек по их координатам) на листах карт проводятся две системы равноудаленных друг от друга линий, которые взаимно перпендикулярны и параллельны соответственно осям абсцисс и ординат. Они образуют систему квадратов — километровую сетку. Это название обусловлено тем, что сторона квадрата сетки на листах карт масштабов $^1/_{10\,000}$, $^1/_{25\,000}$, $^1/_{50\,000}$ принята равной 1 км.

В системе прямоугольных координат решаются многие геодезические задачи, некоторые из них рассмотрим ниже.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА НА КООРДИНАТЫ. По отношению к «прямой задаче на координаты» обратной является следующая: даны координаты X_A, Y_A и X_B Y_B точек A и B, требуется определить длину S и дирекционный угол T отрезка AB линии, соединяющей эти точки.

Соответствующие формулы для S и T приведены на стр. 13, они имеют большое применение при решении разных вопросов, связанных с координатами точек поверхности земли.

ПРЯМАЯ УГЛОВАЯ ЗАСЕЧКА. Пусть с пунктов C и D концов стороны CD геодезической сети измерены соответственно углы α и δ на определяемый пункт A (рис. 20, *а*).

Тогда, решая треугольник *ADC* по стороне и двум углам, мы определим длины сторон *AC* и *AD*, затем, вычислив дирекционные углы этих сторон, найдем прямоугольные координаты точки *A*. Про такое решение говорят, что пункт *A* определен прямой угловой засечкой.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИНЫ И ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА СТОРОНЫ, КОНЕЧНЫЕ ТОЧКИ КОТОРОЙ ОПРЕДЕЛЕНЫ ПРЯМОЙ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКОЙ. Если с точек *C* и *D* произведена одновременная; угловая прямая засечка пунктов *A* и *B* (см. рис, 20, *а)*, то можно определить расстояние *AB* = *S* и дирекционный угол (*AB*) = *T*, непосредственно по значениям углов α, β, γ, δ, длине стороны $CD = \sigma$ и дирекционному углу τ этой стороны, минуя вычисление прямоугольных координат пунктов *A* и *B*.

Для этой цели служат формулы

$$S = \sigma \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}; \qquad \operatorname{tg}(T + \tau) = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

где

$$\Delta y = (p_1 - p_2); \qquad \Delta x = (1 - p_1 \operatorname{ctg} \alpha - p_2 \operatorname{ctg} \gamma);$$
$$p_1 = 1 : (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \delta); \qquad p_2 = 1 : (\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{ctg} \gamma).$$

Пример. Значения углов α, β, γ, δ и длины стороны *CD* помещены в табл. 4. Там же приведены вычисленные значения вспомогательных величин p_1, p_2, Δy и Δx, а также значения искомых величин *S* и *T* ($\tau = 0°$).

Таблица 4

Углы		Значения котангенсов	Элементы формул	Числовые значения	Элементы формул	Числовые значения
названия	значения					
α	60°	0,57735	p_1	0,633974	σ	100,000
β	30°	1,73205	p_2	0,57735	S	63,650
γ	90°	0,00000	Δy	0,056624	$tg\ T$	0,089316
Δ	45°	1,00000	Δx	0,633975	T	5°06′14′′

СОВМЕСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУХ ПУНКТОВ ОБРАТНОЙ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКОЙ. Если углы засечки α', β' и γ', δ' измерены при определяемых точках *A* и *B* на пункты *C* и *D* геодезии ческой сети (рис. 20, *б*), то такую систему (построение) точек называют обратной угловой засечкой.

В силу того, что данное построение получается из предыдущего перестановкой сторон AB и CD, то можно сразу написать решение:

$$S = \sigma : \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}; \quad \operatorname{tg}(T + \tau) = \frac{\Delta y}{\Delta x};$$

$$\Delta y = \left(p_1' - p_2'\right); \quad \Delta x = \left(1 - p_1' \operatorname{ctg} \alpha - p_2' \operatorname{ctg} \gamma\right);$$

$$p_1' = 1 : \left(\operatorname{ctg} \alpha' + \operatorname{ctg} \delta'\right); \quad p_2' = 1 : \left(\operatorname{ctg} \beta' + \operatorname{ctg} \gamma'\right).$$

Эта задача, именуемая «задачей Ганзена», имеет и другие решения.

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. Положение точки на плоскости определяется двумя координатами. Соответственно этому каждый новый пункт сети, начиная со второго, определяется относительно предшествующих пунктов Двумя элементами — параметрами (угол, длина), связывающими этот пункт с предшествующими. Если на пункте измерены не углы, а ряд направлений (см. стр. 29), то число измеренных элементов (углов) нужно считать на единицу меньшим числа измеренных направлений, так как значение одного направления — величина произвольная.

Нетрудно сделать обобщение: для нахождения координат группы пунктов сети, определяемых совместно относительно ее исходных пунктов, требуется измерить по два параметра, связывающих каждый определяемый пункт с остальными. Действительно, любой параметр можно выразить уравнением через координаты определяемых и исходных пунктов сети. Таким образом, будет составлена система уравнений, в которой число уравнений равно числу неизвестных — удвоенному числу определяемых пунктов. Решение такой системы уравнений возможно, если ее определитель отличен от нуля.

Изложенное позволяет рассматривать параметры, определяющие положение пунктов, как обобщенные координаты этих пунктов.

В целях повышения точности и надежности определения положения геодезических пунктов, как правило измеряют больше параметров, чем это необходимо. Так, при совместном определении двух пунктов A и B относительно исходных C и D часто измеряют углы на всех четырех пунктах (рис. 20, *в*), т. е. вместо необходимых четырех углов измеряют восемь. Такое построение называют *геодезическим четырехугольником.* Измерения, выполненные сверх необходимого их числа, называют *дополнительными.* Так, в геодезическом четырехугольнике четыре дополнительных изменения.

ОБРАТНАЯ УГЛОВАЯ ЗАСЕЧКА. На определяемом пункте P измерены направления (стр. 29) на три исходных пункта сети P_1, P_2 и P_3, прямоугольные координаты которых X_i, Y_i ($i = 1, 2, 3$) даны. Считая вычисленными значения углов A, B, C

треугольника, образованного исходными пунктами (рис. 21), определить координаты *X*, *Y* пункта *P*.

Измеренные направления позволяют вычислить два независимых угла, например, β_3 и β_1. Значение же третьего угла β_2 найдется как дополнение их суммы до 360°. Таким образом, в данном случае дополнительных измерений нет.

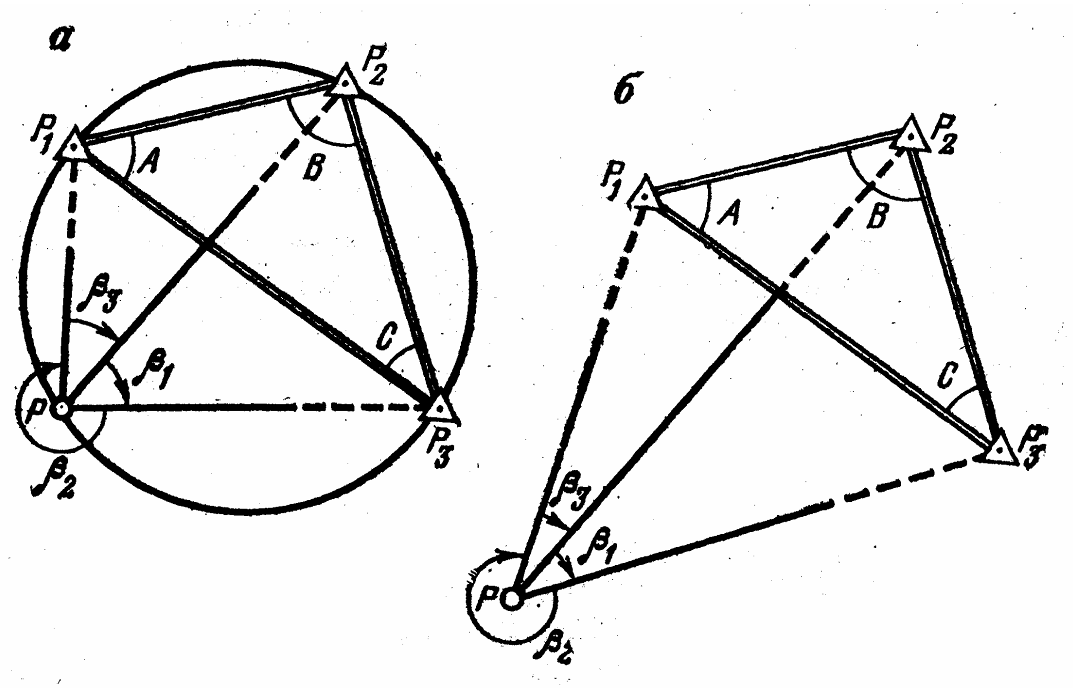


Рис. 21 – Определение точки обратной угловой засечкой:
а – определяемая точка находится на «опасной окружности»
б – общий случай

Устанавливая связь между измеренными, углами, прямоугольными координатами пунктов и углами треугольника *ABC*, найдем

$$X = \frac{p_1X_1 + p_2X_2 + p_3X_3}{p_1 + p_2 + p_3}; \quad Y = \frac{p_1Y_1 + p_2Y_2 + p_3Y_3}{p_1 + p_2 + p_3},$$

где

$$p_1 = \frac{1}{\operatorname{ctg} A - \operatorname{ctg} \beta_1}; \quad p_2 = \frac{1}{\operatorname{ctg} B - \operatorname{ctg} \beta_2};$$

$$p_3 = \frac{1}{\operatorname{ctg} C - \operatorname{ctg} \beta_3}$$

На примере этой задачи удобно показать, что два измерения необходимы для определения пункта на плоскости, но не всякая пара измерений достаточна для решения этой задачи. По геометрическим соображениям определяемый пункт находится на пересечении двух окружностей, каждая из которых проходит через два определяемых и исходный пункты. Однако если определяемый пункт расположен на окружности, проведенной через три исходных пункта, то обе окружности совпадут — решение невозможно: обоим измеренным углам будет отвечать любая точка этой окружности. Невозможность решения отвечает условию

$$p_1 + p_2 + p_3 = 0.$$

ПОНЯТИЕ ОБ УРАВНИВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ. Дополнительные измерения используются для контроля, а также для повышения точности результатов измерений. Последнее достигается специальными вычислениями, которые называются *уравниванием.*

Дополнительные измерения приводят к нарушению геометрических условий сети. Так, в плоском треугольнике *ABC* (см. рис. 19, *а*) измеренные значения α', β', γ' углов приведут к уравнению

$$\alpha' + \beta' + \gamma' - 180^\circ = \Delta,$$

где Δ — невязка.

Уравнивание в данном случае будет заключаться в том, что в каждое значение измеренных углов вводится поправка, равная $^1/_3$ невязки, взятой с обратным знаком. Таким образом, уравненные углы α, β, γ принимают соответственно значения:

$$\alpha' - \frac{1}{3}\Delta, \quad \beta' - \frac{1}{3}\Delta, \quad \gamma' - \frac{1}{3}\Delta.$$

Аналогичным образом уравнивают углы каждого треугольника триангуляционной сети (см. рис 19, *б*), что позволит вычислить все стороны сети и координаты ее пунктов без всяких противоречий.

В соответствии с теорией вероятностей в геодезии разработаны способы уравнивания сетей общего вида. Они позволяют определить такие поправки v_1, v_2, …, v_n в значения измеренных величин, после введения которых элементы геодезической сети получат одни и те же значения, независимо от порядка (последовательности) их вычисления.

Чтобы задача уравнивания имела единственное и притом оптимальное решение, указанные выше поправки для равноточных и однородных результатов измерений должны отвечать условию

$$v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2 = \min,$$

т. е. сумма квадратов поправок в равноточно измеренные однородные параметры (длины, углы) должна быть минимальной.

Нужно заметить: поправки $v_1 = v_2 = v_3 = -⅓\Delta$ введенные выше в углы треугольника, отвечают условию минимума. Действительно, $v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 = ⅓\Delta^2$, а всякое иное распределение невязки между углами приведет к большему значению этой суммы. Например, если положить $v_1 = v_2 = 0$ и $v_3 = -\Delta$, то мы получим сумму квадратов поправок в три раза большую.

Указанный принцип минимума согласуется с положением об оптимальности среднего значения. Если $X_1, X_2, ..., X_n$ — значения одной и той же физической величины, полученные из равноточных измерений, то, за уравненное их значение следует принять.

$$X_0 = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \cdots + X_n).$$

Во-первых, это решение представляется естественным, а во-вторых, сумма квадратов поправок

$$(X_1 - X_0)^2 + (X_2 - X_0)^2 + \cdots + (X_n - X_0)^2 = S_0$$

будет иметь, наименьшее значение по сравнению с любой другой суммой, полученной путем замены X_o на какое угодно другое число X.

Для повышения точности координат пункта, определяемого обратной угловой засечкой (стр. 44), измеряют с него направления не на три исходных пункта, а на четыре.

Из полученных четырех значений направлений можно образовать четыре тройки последовательным вычеркиванием одного из направлений. По каждой такой тройке можно найти значения координат определяемого пункта (стр. 45), их мы обозначим соответственно X_I, Y_I; X_{II}, Y_{II}; X_{III}, Y_{III} и X_{IV}, $Y_{IV.}$ Каждому такому решению будут соответствовать свои значения величин p_1, p_2 и p_3. Обозначим их сумму соответственно P_I, P_{II}, P_{III} и P_{IV}.

Уравненные значения X, Y координат определяемого пункта найдутся по формулам

$$X = \frac{P_I X_I + P_{II} X_{II} + P_{III} X_{III} + P_{IV} X_{IV}}{P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV}};$$

$$Y = \frac{P_I Y_I + P_{II} Y_{II} + P_{III} Y_{III} + P_{IV} Y_{IV}}{P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV}}.$$

Это решение соответствует минимуму суммы поправок в четыре измеренных направления.

Вообще все современные способы уравнивания геодезических построений основаны на методе наименьших квадратов, в основе которого лежит изложенный выше принцип наименьшей суммы квадратов поправок в измеренные величины.

НАЗНАЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Исторически сложилось так, что первые сети триангуляции предназначались для определения больших расстояний на поверхности земли, которые располагались вдоль меридиана. На конечных точках сети (например *А* и *С* на рис. 19, *б*) производились астрономические наблюдения, в частности, определялась широта. В результате совместной обработки астрономических и геодезических данных вычислялась длина одного градуса дуги меридиана, а следовательно, и радиус земного шара. Более точные градусные измерения, выполненные на различных широтах, позволили установить сплюснутость земного шара у полюсов. Оказалось, что Земля — не шар, а эллипсоид вращения.

С тех пор главная геодезическая основа государства всегда использовалась в научных целях и в первую очередь в целях определения размеров и фигуры Земли, а также и в других, связанных с изучением твердой поверхности земного шара.

Геодезические сети нашли повсеместное применение как обоснование топографических съемок, выполняемых в картографических целях, т. е. для составления карт.

В настоящее время на территории Союза построена методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями Государственная геодезическая сеть, которая подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов. Сторона сети триангуляции 1 класса, как правило, имеет длину порядка 20–25 км, а сторона сети 4 класса — порядка 2–2,5 км.

Крупномасштабные съемки (1/5000–1/500) для своего обеспечения требуют сгущения Государственной геодезической сети так называемыми сетями сгущения, на базе которых создаются геодезические сети с меньшей точностью и с более короткими сторонами, их называют геодезическим съемочным обоснованием.

Такова иерархия построения геодезических сетей: от сети 1 класса со стороной не менее 20 км до сети съемочного обоснования со стороной до 20 м. Не менее широк диапазон изменения точностных характеристик: в сетях 1 класса длины измеряются с относительной ошибкой до 1/1 000 000 и углы — до 1″, а в съемочном обосновании соответственно 1/1000 и 1′.

Обработка Государственной геодезической сети выполняется по сложной программе, учитывающей не только шарообразность, но и «эллипсоидальность» Земли, а съемочное обоснование вычисляют по законам плоскостной геометрии (тригонометрии).

В § 7 и 9 мы расскажем о применении съемочного обоснования при производстве простейших съемок, имеющих целью составление плана небольшого участка местности.

§ 6. Методы и приборы для определения высот точек

Работа по определению высот точек или их разностей — превышений называется *нивелированием*.

Нивелирование выполняют несколькими методами, из которых мы остановимся на четырех: геометрическом нивелировании, тригонометрическом нивелировании, гидростатическом нивелировании и барометрическом нивелировании.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ВАТЕРПАСОМ. Простейший прибор для геометрического нивелирования — ватерпас. Он представляет собой деревянный гладко выструганный снизу брус *AB* (рис. 22, *а*) длиною 2–5 м со стойкой и отвесом.

У основания стойки нанесена метка (черта) *D* таким образом, что когда против нее висит острие отвеса, укрепленного на стойке в точке *C*, то нижняя плоскость бруса *AB* горизонтальна. Другими словами, линия *CD* перпендикулярна к линии *AB*.

Для проверки этого условия ватерпас ставят на торцы двух кольев, забитых так, чтобы брус *AB* ватерпаса оказался примерно в горизонтальном положении. Выждав, когда отвес успокоится, по его острию замечают точку D_1. Затем, повернув ватерпас на 180°, снова кладут его на те же колья и точно так же отмечают точку D_2. Точка *D,* удовлетворяющая условию, что линия *CD* перпендикулярна к линии. *AB*, будет лежать посередине между точками D_1 и D_2.

Пусть расстояние между двумя точками поверхности земли, разность высот которых желают определить, меньше длины бруса. Тогда в нижнюю точку забивают кол на такую глубину, пока отвес ватерпаса, положенного на этот кол и на верхнюю точку, не будет указывать на метку *D.* Разность высот точек равна высоте забитого кола над нижней точкой, т. е. части кола от его вершины до поверхности земли. Такое нивелирование называют простым. Если расстояние между двумя точками *M* и *N* (рис. 22, *б)* больше длины бруса, то производят сложное нивелирование. Для этого прямую *MN* вешат и разбивают на части, горизонтальные проложения которых равны длине бруса ватерпаса (или несколько меньше ее). Затем в полученные точки 1, 2, 3... забивают колья так, чтобы на каждом участке ватерпас укладывался горизонтально. А именно (см. рис. 22, *б*): в точке 1 кол забивают до тех пор, пока отвес ватерпаса, положенного на начальную точку *M* и на кол 1, не окажется против метки *D*; в точке 2 кол забивают, пока ватерпас, положенный на точку 1 и кол точки 2, не будет горизонтальным, и т. д.

При этом в точке, где спуск меняется на подъем или, наоборот, подъем меняется на спуск, придется забить не один, а два кола (см. точку 3 на рис. 22, *б*).

Наконец, надлежит для каждого пролета (участка) измерить рулеткой высоту кола над поверхностью земли с точностью до 1 см или до 1 мм (в зависимости от требуемой точности). Если при этом измеряют высоту кола, забитого в задней точке, то передняя точка выше, и мы имеем «повышение». Если, наоборот, измеряют кол, забитый в переднюю точку, то будет «понижение». Числа, характеризующие

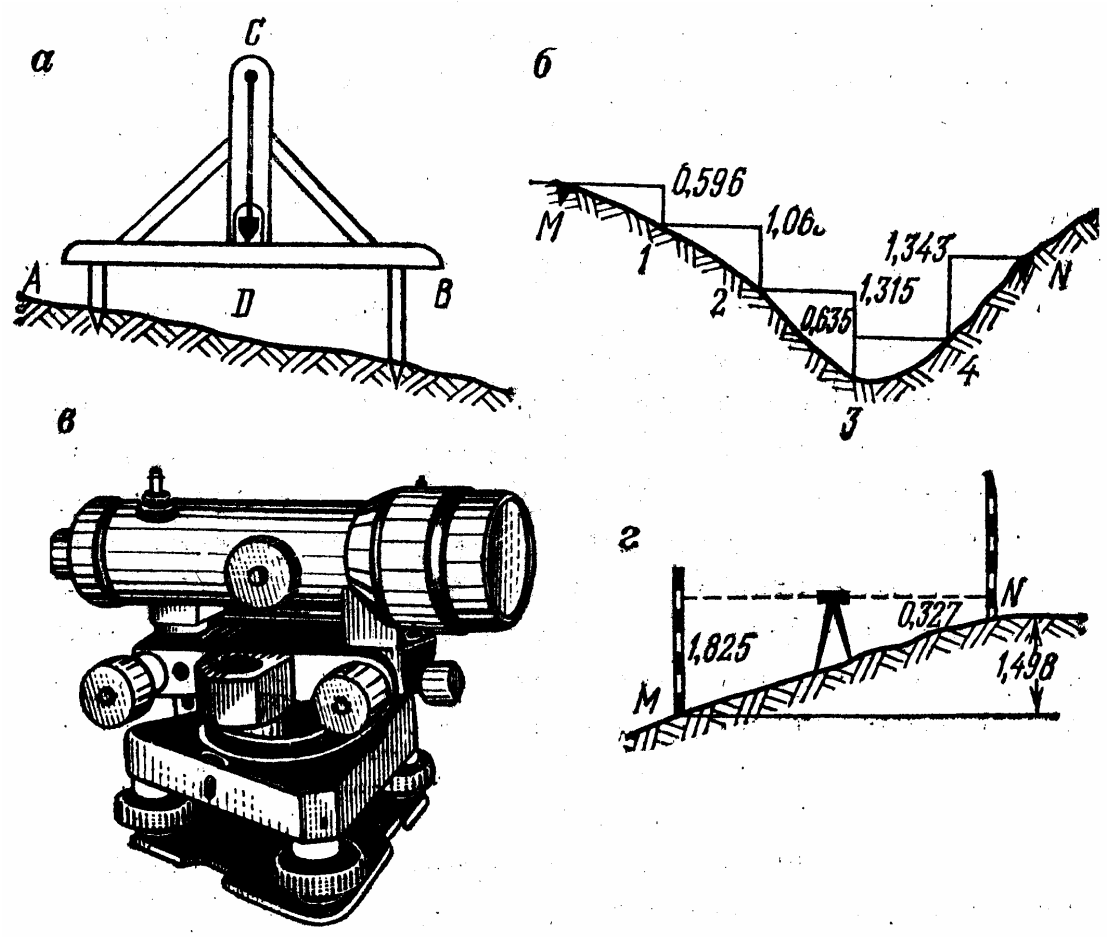


Рис. 22 – Геометрическое нивелирование:
а – ватерпас, б – схема ватерпасовки,
в – общий вид современного технического нивелира,
г – определение превышений нивелиром и реками

повышения, берут со знаком плюс (+), а понижения — со знаком минус (—).

Так, для рис. 22, *б* первые три участка имеют разность высот со знаком минус, причем общая их сумма будет 0,596+1,063+1,315 = 2,974 м, а последние два — знак плюс, причем 0,635+1,343 = 1,978 м. Отсюда следует, что точка *N* ниже точки *M* на величину 2,974 – 1,978 = 0,996 м.

Можно избежать забивки кольев и значительно ускорить работу, если один конец ватерпаса положить на землю, а другой прижать к вертикально поставленной рейке, разбитой на сантиметры. Разность высот определим непосредственно по рейке в момент, когда ватерпас будет горизонтален.

Считают, что пятиметровый ватерпас может дать ошибку в разности высот порядка 1: 500 горизонтального расстояния между конечными точками, т. е. 1 метр ошибки на каждые 500 м горизонтального проложения.

Ватерпас выгодно использовать на небольших расстояниях и при весьма крутых подъемах и спусках.

НИВЕЛИР. В настоящее время для точного определения разностей высот точек геометрическим методом применяют нивелир.

Главные части нивелира — это зрительная труба и уровень; они скрепляются между собой и соединяются при помощи подставки со штативом. Нивелир, подобно ватерпасу, позволяет получить горизонтальную линию. Если у ватерпаса таковой является нижний срез бруса, то у нивелира, после приведения пузырька уровня на середину, горизонтальной будет визирная ось трубы. Общий вид нивелира конструкции НВ-1 показан на рис. 22, *в*.

Определение разности высот двух точек при помощи нивелира производят весьма просто. Пусть, например, нужно определить превышение точки *N* над точкой *M* (рис. 22, г). Поставим в точках *M* и *N* отвесно рейки, разделенные на сантиметры, а между ними по возможности на середине — нивелир. Зрительная труба нивелира имеет значительное увеличение, что позволяет делать отсчеты с точностью до миллиметров (расстояние от нивелира до рейки — до 75 м). Направив горизонтальную визирную ось трубы {луч зрения) последовательно на обе рейки, делаем по ним отсчеты, например: 1,825 и 0,327 (м). Отсчет по рейке — расстояние от визирной оси прибора до нуля рейки. Нуль рейки совпадает с ее нижним концом, установленным на данной точке.

Из рассмотрения рис. 22, *г* следует, что искомое превышение определяется как разность отсчетов: 1,825 – 0,327 = 1,498.

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ. Это нивелирование в самом общем виде сводится к следующему (рис. 23, *а*). В точке *A* устанавливают угломерный прибор и измеряют его высоту i над точкой *A*. В точке *B* устанавливают веху (рейку), на точку *C* которой наводят визирную ось угломерного прибора (теодолит, эклиметр). Пусть отрезок $BC = v$. Измеряют угол $CMB_0 = \alpha$, т. е. угол, который составляет визирная ось прибора с горизонтом. Далее измеряют непосредственно или косвенно (как недоступное расстояние) горизонтальное расстояние $AD = d$. Искомое превышение h точки *B* над точкой *A* определяют по формуле

$$h = d\, tg\, \alpha + I - v \tag{6.1}$$

Высотомер лесовода. Вместо самодельного эклиметра (рис. 23, *б*) можно изготовить высотомера лесовода. Он представляет собой планшет (доску) размерами

25×40 см, на котором построены два взаимно перпендикулярных отрезка *om* и *mn*, причем линия *mn* параллельна визирной плоскости *MN* планшета (рис. 23, *в)*.

Часто делают отрезок *om* равным 200 мм, тогда отрезок *mn* (длиною 300 – 350 мм) делят штрихами по 2 мм деления и подписывают их так, как это показано на рис. 23, *в* (деление 1,0 удалено от начала на 200 мм).

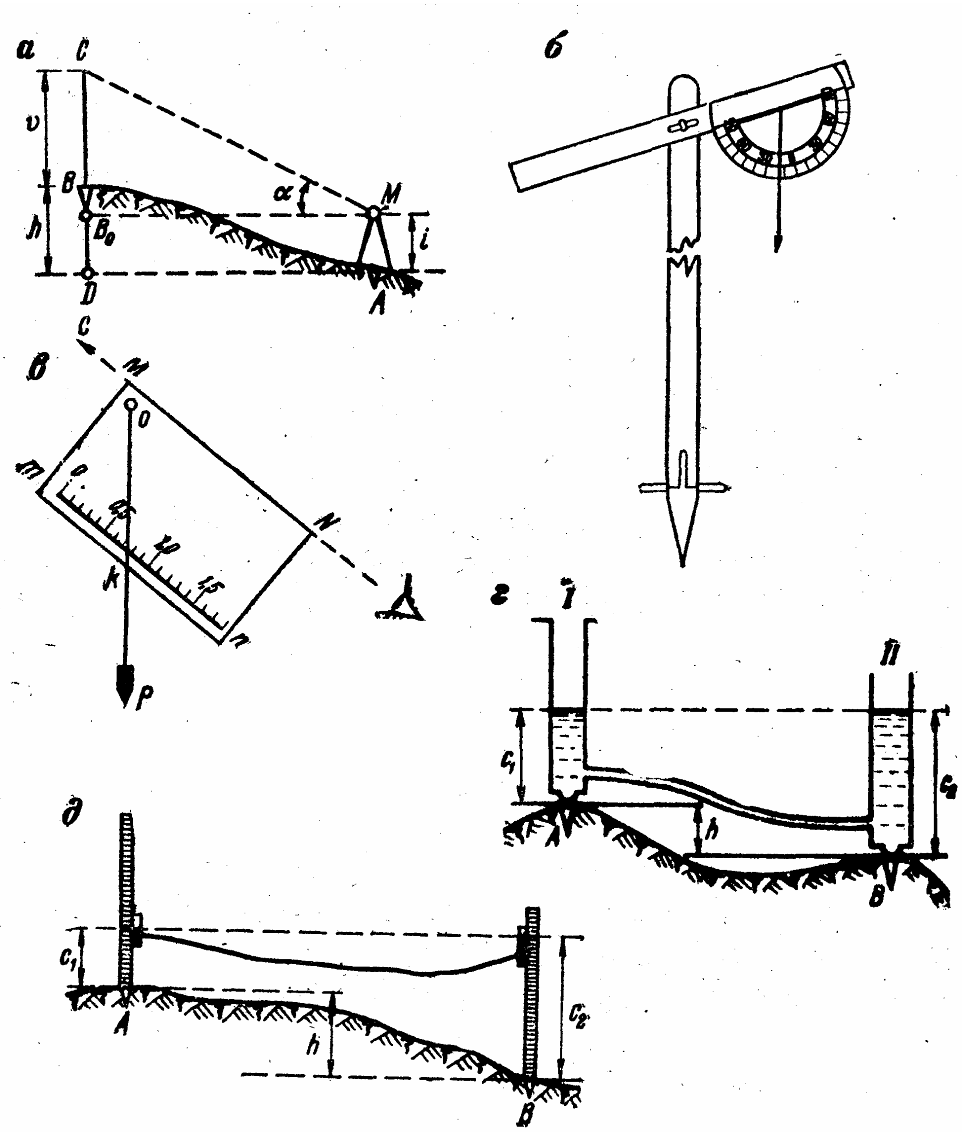


Рис. 23 – Геодезическое и гидростатистическое нивелирование:
а – принцип геодезического нивелирования,
б – самодельный эклиметр, в – высотомер лесовода,
г – гидростатический нивелир,
д – определение разности высот при помощи гидростатического нивелира и реек

В точке *O* укрепляют нить отвеса *P*. При измерении угла, вернее тангенса угла, планшет располагают в вертикальной плоскости и его визирную ось *MN* наводят на точку *C* (см. рис. 23, *в*). В этот момент нить отвеса пересечет шкалу *mn* в точке *k*, соответствующей отрезку *mk* (в точке *m* расположен нуль шкалы).

Очевидно, угол α местности (см. рис. 23, *а*) будет равняться углу *moP* (см. рис. 23, в) и его тангенс, равный отношению $\frac{mk}{mo} = \operatorname{tg} \alpha,$ непосредственно будет отсчитан по шкале *тп.* Так, на рис. 23, *в* будет отсчет $ok = 0{,}75$.

Если расстояние до точки наводки было 60 м, то превышение $h = 60 \times 0{,}75 = 45$ м.

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ. Это нивелирование основано на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах: *свободная поверхность жидкости всегда находится на одном уровне, независимо от поперечного сечения сосудов и массы жидкости.*

Соответствующий прибор — гидростатический нивелир (рис. 23, *г*) — представляет собой две одинаковые стеклянные трубки (сосуда) с градуированными делениями, одинаковыми на обеих трубках. Эти трубки соединены шлангом, и в них налита жидкость.

Разность высот *h* точек *А* и *Б,* в которых установлены трубки гидростатического нивелира, определяют как разность отсчетов c_1 и c_2, сделанных по поверхности (уровню) жидкости.

Гидростатический нивелир нетрудно изготовить самому, причем для работ, проводимых на местности с большим перепадом высот, трубки гидростатического нивелира можно соединять с рейками. В этом случае отсчет делают по рейкам на уровне поверхности жидкости, налитой в трубках нивелира (рис.23, *д).*

Следует иметь в виду, что шланг может иметь длину от 5 до 50 м. Количество жидкости, налитой в нивелир, должно быть таким, чтобы при расположении трубок на одной высоте уровень жидкости был близок к середине трубок.

Для приближенного определения высот точек пользуются иногда уровенной поверхностью воды, налитой в подходящий сосуд. Например, горизонтальный луч визирования можно получить по касательной к уровню воды, налитой в прозрачную бутылку или тарелку,

БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ. В экспедиционных условиях и при некоторых изысканиях (например, трассы дороги в горной местности) высоты точек земной поверхности могут быть определены с достаточной для этой цели точностью (порядка 2 м) при помощи барометрического нивелирования.

Определение разности высот точек барометрическим нивелированием основано на зависимости, существующей между величиной атмосферного давления и высотой точки над уровнем моря. Эта зависимость выражается при помощи барометрических формул. Наиболее простая из них связана *с понятием барометрическая ступень высоты.*

Известно, что чем выше точка над уровнем моря, тем меньше становится атмосферное давление, и наоборот, чем точка ниже — ближе к поверхности земли, тем больше давление, так как увеличивается слой воздуха над этой точкой. Здесь и везде ниже предполагается, что состояние атмосферы остается неизменным во время наблюдений.

Барометрической ступенью высоты называют ту высоту h_0 в м, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось бы на 1 мм. Эту величину приближенно можно принять равной 11 м.

Таким образом, если при помощи барометра установлено давление в точках *A* и *B*, например 747,8 и 730,3 мм, то разность высот этих точек (*B* выше, чем *A*) получим следующим образом.

Определяем разность давления в мм: 747,8 – 730,3 = 17,5. Умножаем ее на 11 и получаем искомую разность высот: h = 17,5×11 = 192 м.

Если мы хотим получить разность высот точнее, то нужно учесть среднюю температуру $t°$ воздуха, при которой измерялось давление, например 10°, и найти барометрическую ступень высоты по формуле

$$h_0 = 11{,}46 + (750 - P_0) \times 0{,}16 - (20° - t) \times 0{,}04 \qquad (6.2)$$

где P_0 — среднее давление. В примере $P_0 = \frac{1}{2}(730{,}3 + 747{,}8) = 739$, откуда $h_0 = 11{,}46 + 11 \times 0{,}016 - 10 \times 0{,}04 = 11{,}24$, после чего h = 197 м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ НЕДОСТУПНОГО ПРЕДМЕТА ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. Пусть требуется определить высоту предмета *CD* (рис. 24, *а*), расстояние до которого неизвестно (неудобно для измерения). Выбрав точки *A* и *B*, лежащие в одном створе с точкой *C*, измеряют между ними расстояние *d.* Далее на этих точках измеряют по два вертикальных угла: α —на основание предмета (точку *C*) и β — на его вершину (точку *D*). Если эти углы расположены выше горизонта, то они снабжаются знаком плюс, а если ниже — знаком минус. Так, на рис. 24, *а* углы α_1, β_1 и β_2 — положительные, а угол α_2 — отрицательный.

Искомую высоту *H* предмета *CD* определяют по формуле

$$H = d\,\frac{(\operatorname{tg}\beta_1 - \operatorname{tg}\alpha_1)(\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\alpha_2)}{(\operatorname{tg}\beta_1 - \operatorname{tg}\alpha_1) - (\operatorname{tg}\beta_2 - \operatorname{tg}\alpha_2)}\,. \qquad (6.3)$$

Частный случай. Если предмет *CD* (рис. 24, *б)* расположен на равнинной местности, то определение *H* можно упростить. На двух створных точках *A* и *B* измеряют только по одному вертикальному углу на вершину предмета: p_1 и p_2. Если высота *i* прибора в обеих точках одинаковая, то формула для вычисления *H* будет иметь следующий вид:

$$H = d\frac{\operatorname{tg}\beta_1 \cdot \operatorname{tg}\beta_2}{\operatorname{tg}\beta_1 - \operatorname{tg}\beta_2} + i. \qquad (6.4)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ПРЕДМЕТА С ПОМОЩЬЮ ЕГО ВЫСОТЫ. В ряде случаев знание высоты предмета используется для определения расстояния. На это обстоятельство было обращено внимание в § 2, здесь же рассмотрим два специальных примера.

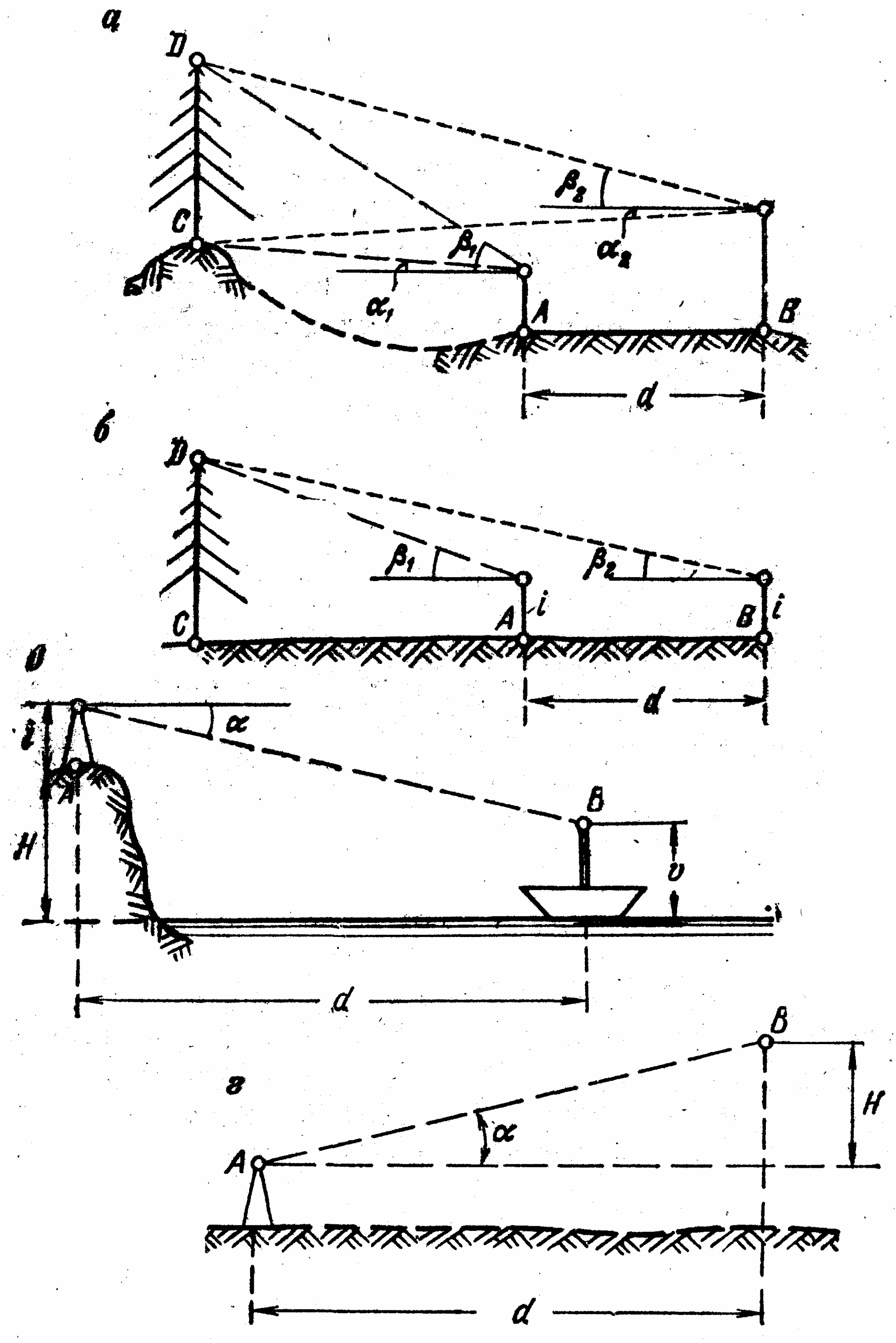


Рис. 24 – Тригонометрический способ:
а, б – определение высоты недоступного предмета,
в, г – определение расстояния до недоступного предмета по известной его высоте

Пример 1. При помощи теодолита (высотомера лесовода) требуется определить расстояние от точки A, расположенной на крутом берегу озера, до точки B, намеченной на лодке (рис. 24, *в*). Для этого определяют высоты H и v точек A и B над уровнем воды, а также высоту i прибора над точкой A. Измеренный вертикальный угол α (см. рис. 24, *в*) позволит определить расстояние по формуле

$$d = (H + i - v)\ ctg\ \alpha \tag{6.5}$$

Пример 2. Для определения направления и скорости ветра запускают специальные шары. Положение шара B относительно исходной точки A (рис. 24, *г)* определяется измерением двух углов: горизонтального угла, ориентирующего направление ветра относительно стран света, и вертикального α, служащего для определения расстояния. Необходимая для этой цели высота шара H находится по времени, прошедшему с момента запуска шара (из точки A) до наблюдения угла α. Зная α и H, определяют d по формуле

$$d = H\ ctg\ \alpha \tag{6.6}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА ПРОСТЕЙШИМИ СРЕДСТВАМИ. В обиходе и в учебных (методических) целях встречается необходимость определения высоты предмета без наличия специальных инструментов. Ниже описываются некоторые способы такого определения высоты.

СПОСОБ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА С ПОМОЩЬЮ ПРЯМОУГОЛЬНОГО РАВНОБЕДРЕННОГО ТРЕУГОЛЬНИКА. Прикрепив отвес к вершине e равнобедренного прямоугольного треугольника (рис.25, *а*), выбирают на местности такую точку B, из которой вершина E предмета была бы видна на продолжении гипотенузы C_e треугольника, расположенного в вертикальной плоскости (катет ed совпадает с направлением отвеса). Наметив по продолжению другого катета Cd на предмете точку D, определим высоту H предмета как сумму двух отрезков:

$$H = d + v \tag{6.7}$$

где d — горизонтальное расстояние от точки A до точки B и v — отрезок высоты предмета от точки D до его основания A.

Если местность равнинная, то $H = d + i$, где i — высота основания треугольника над поверхностью земли.

СПОСОБ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА ПРИ ПОМОЩИ ЕГО ТЕНИ. Пусть некоторый предмет, например дерево, отбрасывает тень длиною D, а вертикально забитый шест высотою h в тот же момент времени имеет тень длиною d (рис. 25, *б)*. Тогда искомая высота H дерева определится из подобия двух треугольников:

$$H = \frac{hD}{d}. \tag{6.8}$$

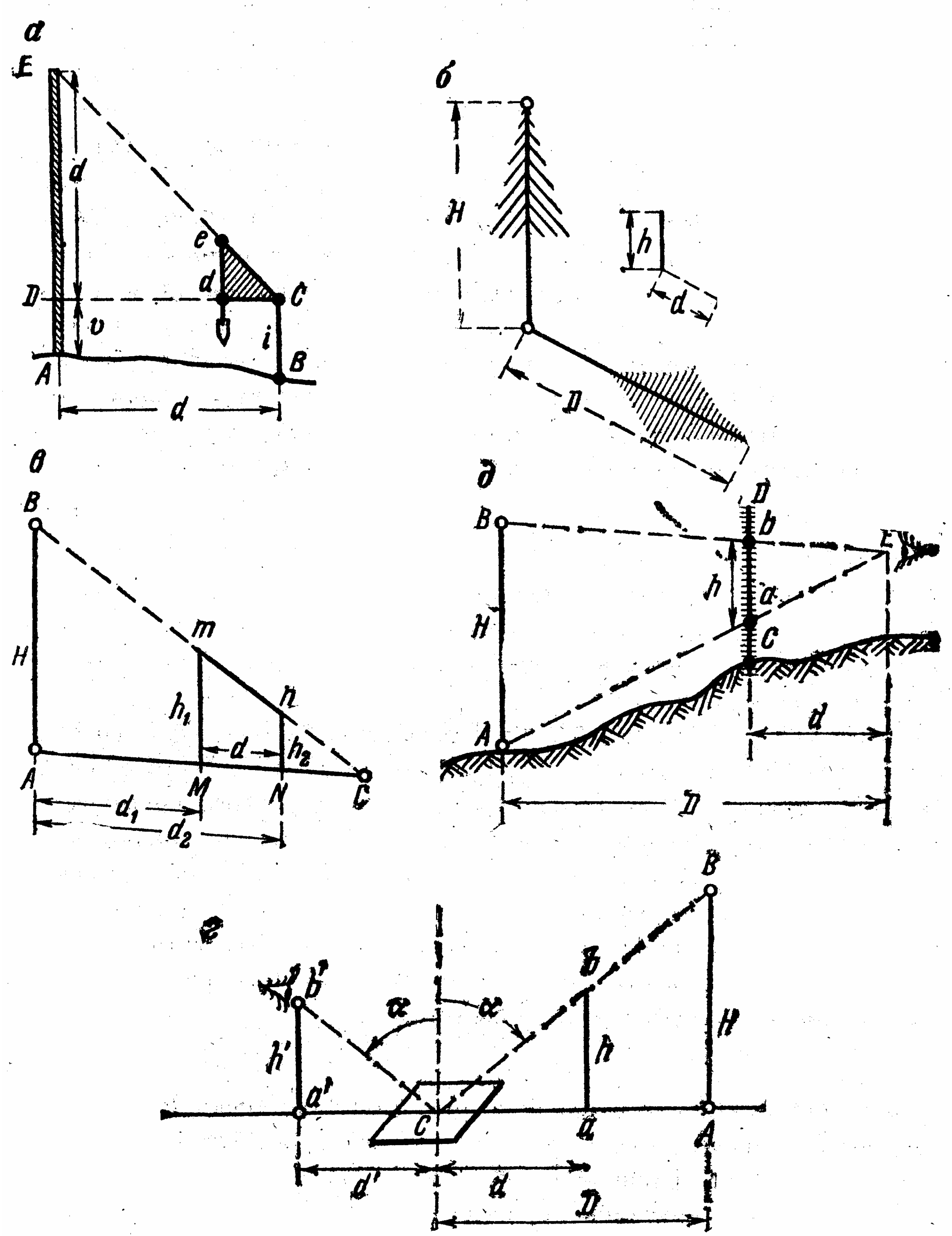


Рис. 25 – Определение высоты предмета простейшими средствами:
а – равнобедренным прямоугольным треугольником,
б – с помощью тени,
в – откосником,
г – с помощью зеркала,
д – рейкой с делениями

Следует отметить, что отрезки линий D и d не обязательно должны быть горизонтальными, но они должны иметь один и тот же уклон (угол наклона к горизонту).

СПОСОБ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА ПРИ ПОМОЩИ ОТКОСНИКА. Откосником называют сооружение для фиксации (обозначения) уклона откоса насыпи (выемки). Напомним, что уклон линии равен тангенсу ее угла наклона к горизонту. Откосник состоит из двух отвесно забитых кольев и перекладины, прибитой к их торцам (рис. 25, *в*). Высота кольев h_1 и h_2 откосника над поверхностью земли рассчитаны так, что перекладина *mn* откосника имеет заданный уклон.

В случае определения с помощью откосника высоты H предмета уклон перекладины должен быть таким, чтобы на продолжении перекладины *mn* оказалась бы вершина предмета B (колья откосника должны быть в одном створе с предметами AB).

Измерив высоты h_1 и h_2 кольев откосника, а также два расстояния: $AM = d_1$ и $AN = d_2$, вычисляют искомую высоту по формуле

$$H = \frac{h_1 d_2 - h_2 d_1}{d_2 - d_1} . \quad (6.9)$$

Пример. Получены значений: $h_1 = 1{,}75$, $h_2 = 1{,}05$, $d_1 = 16$ и $d_2 =18$ м. Из вычислений находим $H = 7{,}35$ м.

СПОСОБ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА С ПОМОЩЬЮ ЗЕРКАЛА. При наличии зеркала определить высоту H предмета AB можно двумя способами. Во-первых, можно забить вспомогательный кол ab высотой h и в створе линии Aa отыскать такую точку C, в которой на горизонтально расположенном зеркале совпадут изображения точек B и b (рис. 25, *г*). Измерив отрезки $C = d$ и $CA = D$, определим H по формуле

$$H = h \frac{D}{d} . \quad (6.9)$$

Во-вторых, можно, не забивая кола ab, положить зеркало горизонтально в такой точке C, чтобы наблюдатель видел в нем изображение вершины предмета — точку B. Зная высоту h' глаза наблюдателя над поверхностью земли и горизонтальное расстояние d' от него до точки C (изображения вершины B), определяют H по аналогичной формуле

$$H = h' \frac{D}{d'} .$$

Второй вариант существенно проще, однако он менее точен.

СПОСОБ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПРЕДМЕТА С ПОМОЩЬЮ РЕЙКИ, РАЗДЕЛЕННОЙ НА САНТИМЕТРЫ. Установив на некотором расстоянии от предмета

AB рейку *CD* в отвесном положении (рис. 25, *д*), наблюдатель становится в их створе и, не меняя положения глаза, проектирует последовательно вершину *B* предмета и его основание *A* на рейку соответственно в точки *b* и *a*. Измерив расстояния *d* и *D* до рейки и до предмета и зная величину *h* отрезка *ab,* вычисляют высоту *H* по формуле (6.10).

§ 7. Горизонтальная съемка небольшого участка земной поверхности

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ. Топографической съемкой называются все те действия, которые выполняют на местности с целью составления плана. Снять некоторые точки местности — это значит определить их положение на плане.

Основные законы съемок: непрерывный контроль всех действий и производство работ от общего к частному. Сначала определяют с большей точностью положение небольшого числа вспомогательных — геодезических точек, а потом уже снимают все остальные точки которые должны быть нанесены на плане.

На местности можно выделить пашни, луга, выгоны, степи, кустарники**,** леса, болота, ручьи и реки, пруды и озера, всевозможные дороги и границы, постройки и сооружения и т. д.

Съемке подлежат не все эти подробности, а только те, которые необходимы для данных целей. Чем больше подробностей надо изобразить на плане и чем точнее он должен быть, тем крупнее, следует взять для него масштаб (напомним, что масштаб 1: 500 крупнее масштаба 1: 1000 и т. д.).

Съемка любого угодья или сооружения сводится к съемке его границ. Эти границы чаще бывают кривыми линиями, нежели прямыми. Как же заснять кривую линию?

Каждую кривую линию можно заменить некоторой ломаной линией. Причем, чем больше изломов будет содержать последняя, тем ближе она будет к данной кривой.

Каждый отрезок ломаной линии определяется положением двух его конечных точек. Следовательно, съемка местности всегда сводится к определению положения некоторого числа отдельных точек каждого контура. Соединив последовательно эти точки, мы тем самым изобразим на плане соответствующие контуры в уменьшенном и подобном виде.

Неопытным съемщикам всегда кажется, что для верности изображения необходимо определить как можно больше характерных точек. Это не совсем верно. Имея перед глазами контур и несколько удачно выбранных точек, верно изображенных на плане, можно при известном навыке нарисовать снимаемый контур с ошибкой, не выходящей за пределы точности съемки.

Некоторые предметы, расположенные на поверхности земли, имеют правильные границы, очертания которых подчинены известным геометрическим условиям. Например, горизонтальные проложения строений — прямоугольники, клумбы и цветники — правильные многоугольники, стороны дорог — параллельные линии, звенья телефонных и осветительных линий — прямые линии и т. д. Все эти закономерности нужно учитывать при съемке.

Для того чтобы положение любого предмета было определено на горизонтальной плоскости относительно опорных геодезических точек, достаточно определить относительно них положение двух точек этого предмета. При этом мы предполагаем, что имеем все данные, необходимые для построения плана предмета, и определяем лишь то место плоскости, где его расположить. Изложенное выше используется на практике при съемке предметов с правильной формой его границ. Например, при съемке в саду клумбы, имеющей форму правильного многоугольника, т. е. многоугольника, в котором все стороны и углы равны между собой, достаточно определить положение лишь двух его вершин относительно границ сада, а остальные, можно будет легко построить, зная длину и число сторон многоугольника (контура клумбы).

Таким же образом нужно поступить и при съемке отдельного строения; построив два угла его, можно нанести остальные углы по соответствующим промерам (углы считаем прямыми).

При съемке дороги надо снимать не обе ее стороны, а только одну из них, и замерять ширину дороги, а при съемке столбов, расположенных по ломаной линии, достаточно снять столбы, стоящие на поворотах. Остальные наносят между ними на известном расстоянии друг от друга.

Если снимаемая граница имеет неправильную форму, то все ее характерные точки определяют независимо друг от друга (привязывают к опорным точкам).

Образно можно сказать, что геодезические (опорные) точки при съемке имеют такое же значение, как канва при вышивке.

Система (совокупность) геодезических точек, обеспечивающих съемку на некотором участке поверхности земли, называется съемочным обоснованием.

Простейшая сеть состоит из одной стороны, далее по степени сложности следует сеть из одного треугольника, затем — из одного многоугольника (полигона) и, наконец, сети, состоящие из нескольких треугольников или многоугольников (см. рис. 19).

При съемке точек могут применяться различные способы, важнейшие из них следующие:

— триангуляции (треугольников);

— полигонометрии (обхода);

— створов;

— прямоугольных координат (перпендикуляров);

— полярных координат (кругового визирования);

— засечек (линейных и угловых).

Первые два обычно применяют для съемки основных — геодезических точек, а последние четыре — чаще для съемки подробностей (ситуации). Их сущность будет изложена при описании простейших съемок.

АБРИС. Съемку местности и составление плана чаще выполняют не одновременно. Это позволяет ускорить производство полевых работ (работ на местности) и создать лучшие условия для выполнения камеральных (чертежных, вычислительных и т. п.) работ в помещении.

Для того чтобы съемщик не ошибся в произведенных им промерах и чтобы он сумел правильно соединить на плане снятые точки, он ведет схематическую зарисовку местности с указанием измеренных величин. Такой чертеж-схема называется *абрисом.* Его составляют или на отдельные участки снимаемой местности, или на всю территорию сразу. На абрисе надо стараться изображать местность подробно, все числа надо подписывать так, чтобы было понятно, к каким величинам они относятся. С этой целью, например, можно рекомендовать подписывать числа перпендикулярно к направлениям линий, по которым производились измерения длин.

Хорошее ведение абриса требует навыка и аккуратности. Абрис нужно вести настолько отчетливо, чтобы он был понятен всякому другому лицу, знакомому со съемками.

СЪЕМКА МЕРНОЙ ЛЕНТОЙ ВЫТЯНУТОГО УЧАСТКА. Имея только прибор для измерения расстояний, можно уже производить съемку небольшого участка земной поверхности. Пусть, например, требуется построить план вытянутого участка местности, на котором стоят два дома и посажен ряд деревьев (рис. 26). На рисунке кружками по линии *ЛМ* обозначены отдельные деревья, а прямоугольниками — дома. Надписи внутри — 2 *кж* и *дн* обозначают, что первый дом — двухэтажный, каменный, жилой, а второй дом — одноэтажный, деревянный, нежилой.

Каждый из этих предметов, независимо друг от друга, легко изобразить на плане. Для съемки ряда деревьев достаточно измерить лентой расстояние от одного крайнего дерева *Л* до другого крайнего дерева *М.* Если при этом требуется обозначить на плане положение каждого дерева, то попутно надо отметить, на каком удалении от начальной точки (совпадающей с центром первого дерева *Л*) расположены все промежуточные деревья (их центры, середины). Так, на рис. 26 показано, что эти расстояния последовательно будут *0,00; 4,25; 8,05; 11,85; 16,11 и 20,20* м. Следует заметить, что делать все отсчеты от начальной точки до всех остальных выгоднее, чем измерять последовательно расстояния между смежными точками.

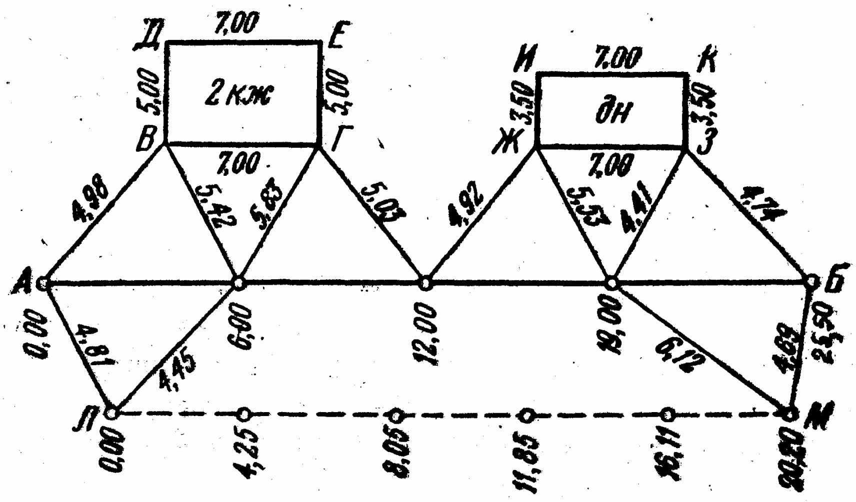


Рис. 26 – Абрис съемки по линии

В последнем случае ошибки могут накапливаться как при измерении, так и при построении длин отрезков линий.

Для составления плана дома *ВГДЕ* достаточно измерить его длину *ВГ = ДЕ = 7,00* и ширину *ВД = ГЕ = 5,00* м (углы дома — прямые). Так же следует поступить с обмером другого дома: длина *ЖЗ = ИК = 7,00* и ширина *ЖИ = ЗК = 3,50* м.

Теперь возникает вопрос, как построить план всего участка, на котором оба дома и деревья располагались бы подобно тому, как они располагаются на местности.

Для этой цели и служат опорные геодезические точки и сети, о которых говорилось выше. Применительно к условиям, показанным на рис. 26, достаточно выбрать две вспомогательные опорные точки *А* и *Б* так, чтобы соединяющая их линия — сторона геодезической сети — проходила близ предметов, подлежащих съемке (дома, деревья), и была удобна для измерения расстояний. К выбранным точкам *А* и *Б* надо привязывать отдельные предметы.

На нашем абрисе (см. рис. 26) показано три предмета (два дома и ряд деревьев), и каждый из этих предметов привязан двумя точками к опорной линии *АБ:* первый дом — точками *В* и *Г*, второй — точками *Ж* и *З*, а ряд деревьев — точками *Л* и *М.* Каждая из этих шести точек определяется относительно стороны *АБ* совершенно одинаково — методом линейных засечек. Так, например, для определения точки *Ж* на прямой *АБ* выбраны две вспомогательные створные точки, намеченные при измерении этой линии соответственно в двенадцати и девятнадцати метрах от точки *А* в сторону точки *Б*, Далее измеряют расстояния *4,92* и *5,53* м от этих створных точек до определяемой точки *Ж*.

Все линейные промеры, необходимые для построения плана, показаны на рис. 26, который является *абрисом.* Составление плана по этим данным не представляет большого труда.

На листе бумаги строят линейный масштаб, соответствующий избранному численному масштабу. Проводят прямую линию и на ней намечают точку *А* (при этом руководствуются сделанным абрисом). Далее, путем отложения отрезков — *6,00; 12,00; 19,00* и *25,50* наносят все выбранные створные точки и точку *Б*. Затем строят точки *В, Г, Ж, 3, Л* и *М* (определяющие положение отдельных предметов) методом линейных засечек.

Например, для построения точки *Ж* из створных точек *12,00* и *19,00* проводят дуги окружностей радиусами, соответственно равными *4,92* и *5,53* м. В пересечении этих дуг получится точка *Ж*.

После того как перечисленные выше шесть точек построены, их попарно соединяют и контролируют сделанными промерами: *ВГ = 7,00; ЖЗ = 7,00* и *ЛМ = 20,20* м. При этом необходимо считаться с неизбежными случайными ошибками: измерения линий лентой (рулеткой) — 0,02:0,05 м для расстояния до 100 м и построения отрезков на плане — 0,3:0,8 мм.

При получении допустимых расхождений (в пределах точности съемки и построения) приступают к нанесению остальных точек. Когда все точки построены и снимаемые границы предметов и угодий четко обведены (лучше тушью), то вспомогательные линии можно удалить — стереть, чтобы они не затемняли чертеж.

СПОСОБ ЛИНЕЙНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ (СПОСОБ ТРЕУГОЛЬНИКОВ). Использование только одной опорной линии в качестве геодезической сети удобно только для съемки небольшого вытянутого участка. Если участок имеет такую ширину, что все предметы не могут быть сняты с одной линии, то нужно построить более сложную геодезическую сеть.

Так, для сравнительно небольшого участка надо попытаться наметить не две, а три геодезические точки, образующие треугольник, с примерно равными сторонами. Стороны эти должны быть удобными для измерения расстояний и удачно расположенными для съемки с них всех интересующих нас предметов. Измерив стороны треугольника, мы определим относительное положение его вершин.

Съемку участка следует производить в той же последовательности и в том же порядке, только точки привязывать не к одной, а к трем линиям.

Составить абрис на весь участок здесь будет сложнее. Можно рекомендовать вести его для каждой стороны отдельно.

Построение плана всегда следует начинать с нанесения опорных геодезических точек. В данном случае надлежит построить треугольник по трем его сторонам, который не должен содержать слишком острых (менее 30°) углов. Относительно каждой стороны треугольника совершают все те действия, которые были описаны выше при съемке с одной линии. Сперва наносят вспомогательные створные точки, далее линейными засечками строят точки, определяющие положение отдельных предметов. Наконец, опираясь на них, строят остальные характерные точки, необходимые для изображения границ предметов и контуров угодий.

При этом надо стараться использовать закономерности, имеющиеся в очертаниях этих границ: прямые углы для строений, параллельные стороны для дорог, нахождение точек в общем створе для деревьев одного ряда и т. п.

Как же поступить в том случае, если весь участок нельзя охватить тремя точками — одним треугольником? В этом случае на местности нужно построить более сложную сеть, состоящую из многоугольника (см. далее способ полигонометрии) или нескольких треугольников, намеченных так, чтобы каждый последующий треугольник имел с предшествующими по крайней мере одну общую сторону (см. рис. 19, *б*). Измерив все стороны треугольников, можно, начиная с одного из них, построить все остальные треугольники на бумаге в выбранном масштабе.

В остальном съемку производят так же, как и для малого участка, снимаемого на основе одного треугольника. Очевидно, абрис в данном случае будет еще сложнее.

На рис. 27 приведен абрис участка местности, снятого мерной лентой на основе геодезической сети, состоящей из трех треугольников. Рассмотрим на этом примере последовательно весь процесс съемки.

Опорные геодезические точки *А, Б, В* и *Г* определены методом линейной триангуляции. Ниже приводятся значения всех измеренных сторон: *АБ = 110,82;ВБ = 174,01; АВ = 193,05; АГ = 163,50* и *ВГ = 183,52.* Эти промеры позволяют построить два треугольника по их трем сторонам и таким образом определить взаимное расположение точек *А, Б, В* и Г.

Что касается точки *Д*, то она входит в третий треугольник, в котором измерены (косвенно), все три угла, т. е. она определяется методом угловой триангуляции. В геодезии линейную триангуляцию называют трилатерацией, а угловую — просто *триангуляцией.*

Долгое время для создания опорных сетей в геодезии применяли преимущественно метод триангуляции. В последнее время, с развитием методов измерения расстояний, основанных на использовании электромагнитных волн, широкое применение нашел метод трилатерации и полигонометрии (стр. 38 и 39).

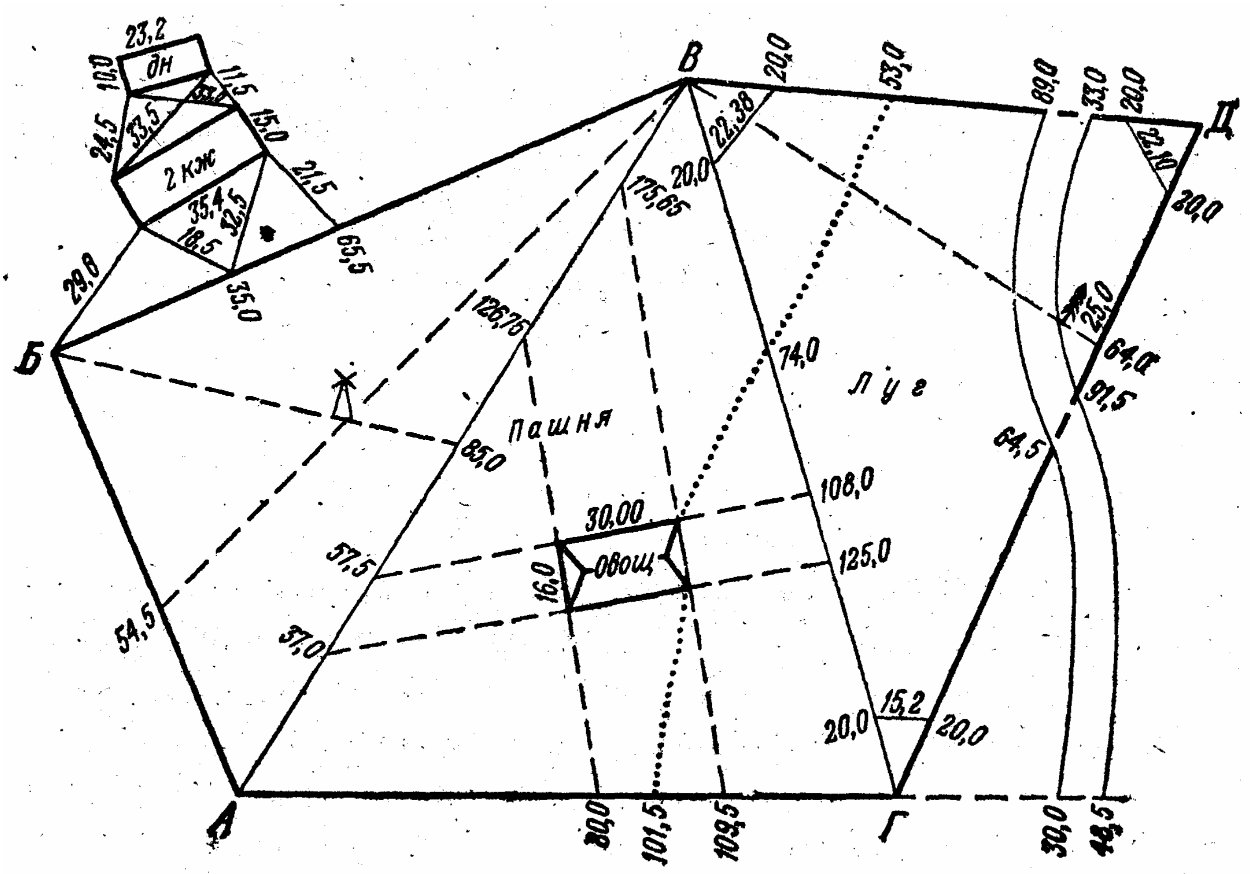


Рис. 27 – Абрис съемки участка лентой

СПОСОБ ТРИАНГУЛЯЦИИ (УГЛОВЫХ ЗАСЕЧЕК). Способ триангуляции (см. рис. 19, *б*) можно эффективно применять лишь при наличии прибора, позволяющего просто и точно измерять углы. Он может быть использован и для определения положения отдельных точек, но в этом случае его чаще называют *способом угловых засечек.*

При отсутствии удобного угломерного прибора способ триангуляции (угловых засечек) можно применять лишь в исключительных случаях, когда для целей съемки необходимо определить положение такой точки, расстояния до которой от других точек непосредственно измерить нельзя.

Так, на рис. 27 стороны *ВД* и *ГД* непригодны для непосредственных измерений: точка *Д* расположена за рекой. В этом случае треугольник можно определить длиной одной стороны *ВГ* и двумя углами при точках *В* и *Г*. Если представляется возможным, то для контроля желательно измерить и третий угол (сумма трех углов должна равняться 180°).

При наличии только ленты углы следует определять линейными промерами (стр. 23). В данном случае от вершин по сторонам углов отложено по 20 м и между полученными точками сделаны промеры: *22,38* м для угла *В* и *15,20* м для угла *Г*. В целях контроля измерен и третий угол треугольника (см. рис. 27) — хорда оказалась равной *22,10*. Используя таблицу хорд (прилож. 1), получим следующие значения углов: <*В* = 68°05; <*Г* = 44°40' и <*Д* = 67°05. Сумма углов равна 179°50′, т. е. при измерении трех углов допущена ошибка в 10′. В данном случае такую ошибку можно признать удовлетворительной.

После нанесения на план точки *Д* геодезическая сеть будет построена.

СПОСОБ ЛИНЕЙНЫХ ЗАСЕЧЕК. После того как намеченные на местности точки геодезической опоры определены, приступают к съемке подробностей (ситуации). Описание применяемых на практике приемов начнем с уже известного нам способа линейных засечек.

На рис. 27 показано, как произведена съемка двухэтажного каменного жилого дома (условное обозначение на плане — 2 *кж).* От двух углов этого дома сделано по два промера до точек, расположенных на стороне *БВ* геодезической сети. Эти створные точки определены соответственно промерами *35,0* и *65,5* м от точки *Б.* Тем самым определено положение углов здания относительно геодезической сети.

На план эти углы здания будут нанесены построением треугольника по трем сторонам. Используя измеренную ширину — *15,0* м и считая углы здания прямыми, построим и сам дом на плане, причем размер *35,4* м — длина дома — будет использован для контроля.

Расположенный вблизи этого дома сарай *(дн* — деревянный, нежилой) снимают тем же методом, но уже от углов дома.

Легко понять, что определяемую методом линейных засечек точку нельзя наметить точно на плане, если дуги пересекаются под очень острыми (до 30°) или тупыми (более 150°) углами. Точнее всего определяют точки при угле пересечения, близком к прямому (90°). Это обстоятельство нужно учитывать при выборе створных вспомогательных точек.

Кроме того, нужно учесть, что этот метод будет практически удобен в случае, если размеры линейных засечек не будут превышать длины применяемого мерного инструмента (ленты, рулетки).

В заключение отметим, что методы линейной засечки и трилатерации в принципе совпадают. Оба метода основаны на возможности построения треугольника по трем его сторонам.

СПОСОБ СТВОРОВ. Мы уже отмечали, что створу для двух точек местности соответствует на плане прямая линия, проходящая через изображения этих точек.

Створ находит широкое применение при производстве съемок. Рассмотрим различные случаи использования створов при съемке на примере рис. 27.

1. Пусть некоторый контур (граница) пересекает сторону геодезической сети. Тогда промер до точки пересечения определит ее положение. Поэтому попутно с промером всех опорных линий производят отсчеты по ленте (рулетке) в точках встречи с контурами. Так, границы луга и пашни определяют следующими отсчетами: *53,0* по линии *ВД; 74,0* по линии *ВГ* и *101,5* м по линии *АГ*. Причем все отсчеты производят в нарастающем порядке от начальной точки к конечной. Так, цифры *80,0; 101,5* и *109,5*, расположенные по линии *АГ*, указывают расстояния от соответствующих точек до точки *А*. Как правило, по линиям все промеры следует давать в одном направлении. Исключение представляют линии *БД* и *ГД*, недоступные для сквозного промера из-за реки. Поэтому по линии *ВД* промеры *20,0; 53,0* и *89,0* м даны от *В* к *Д*, а промеры *20,0* и *33,0* м — от *Д* к *В*. Равным образом промеры *20,0* и *64,5* даны от *Г* к *Д*, а промеры *20,0; 64,0* и *91,5* м, наоборот, от *Д* к *Г*.

2. В отдельных случаях можно продолжить (вешить) опорную линию до ее пересечения с контуром. Так, например, линия *АГ* продолжена до встречи ее с берегами реки соответственно в точках *30,0* и *48,5* м (от точки *Г*).

3. Производя измерения по линии *ДГ*, съемщик заметил, что в точке *64,0* стороны сети створ на точку *В* проходит как раз через отдельно стоящее дерево — елку, растущую на изломе реки. Записав в абрисе этот отсчет и произведя дополнительный промер *25,0* м от этой точки до дерева, съемщик определил положение елки и излома реки.

4. При измерении линии *АВ* съемщик отметил, что в точке *85,0* створ на точку *Б* проходит через ветряную мельницу. Кроме того, линию *АБ* створ, проведенный через мельницу и точку *В*, пересекает в точке *54,5* (считая от *А* и *Б).* Эти два створа, построенные на плане, своим пересечением определяют положение мельницы.

В случае если предмет имеет значительную ширину и съемщик наблюдает, что он закрывает собой веху на некотором отрезке линии, например на участке ленты от *14,10* до *16,70*, то за точку пересечения створа с линией можно принять средний отсчет

$$\frac{1}{2}(14{,}10 + 16{,}70) = 15{,}40 \text{ м.}$$

5. Съемку отдельного строения или контура, обозначенного вехами, можно произвести, отмечая на окружающих опорных линиях (сторонах геодезической сети) створы его стен. Каждая стена должна быть отмечена двумя промерами. Например, овощехранилище, обозначенное на рис. 27 соответствующим условным знаком, определено следующими промерами: *108,0* и *125,0* по линии *ВГ*, *80,0* и *109,5* по линии *АГ* и *37,0; 57,5; 126,75* и *175,65* по линии *АВ.* Соединяя попарно эти точки в соответствии с абрисом, мы получим на плане контур овощехранилища.

В отдельных случаях этим методом может быть получена вспомогательная опорная линия для съемки с нее предметов и ситуации, значительно удаленных от сторон геодезической сети.

Метод створов весьма удобен при съемке одной лентой, поэтому этим методом и сняты почти все подробности участка, изображенного на рис. 27.

СПОСОБ ПОЛИГОНОМЕТРИИ (СПОСОБ ОБХОДА). Пусть участок, подлежащий съемке, неудобен для построения геодезической сети методом триангуляции. Это бывает в тех случаях, когда промеры внутри участка затруднены и видимость имеется лишь по отдельным направлениям. Тогда рекомендуется строить геодезическое обоснование (сеть) способом *полигонометрии,* который при малоточных работах называют *способом обхода.*

Он состоит в том, что на местности назначают вершины многоугольника, охватывающего весь снимаемый участок. Если участок велик, то строят геодезическую сеть, состоящую из нескольких многоугольников (см. рис. 19, г).

При выборе вершин нужно следить за тем, чтобы с каждой точки были видны две соседние и чтобы стороны были удобны для линейных промеров. Одновременно с измерением сторон многоугольника измеряют и его углы.

При наличии только ленты углы измеряют так, как это описано на стр. 23. Например, угол *А* (рис. 28, а) определяют промерами *Аб*, *Аг* и *бг.* Точно так же следует определять и остальные углы многоугольника.

Изображение многоугольника на плане сводят к последовательному построению его вершин и сторон. Так, наметив на плане положение одной из вершин, например *А*, проводят направление, соответствующее стороне *АБ* (выбор его произведен). Откладывают на проведенном направлении отрезок, соответствующий измеренной длине стороны *АБ.* Тем самым мы определим положение *Б′* второй вершины. Построив при ней второй угол, по данным промеров, сделанных вблизи точки *Б*, получим направление стороны *БВ*, на котором откладывают измеренное значение стороны *БВ* и тем определяют положение точки *В′*. Действуя аналогичным образом, мы определим положение *Г′* последней точки на плане. Однако работа на этом еще не заканчивается: нужно и при последней точке построить угол и на полученном направлении отложить в масштабе длину последней стороны. Ее конец, вообще говоря, не попадет в начальную точку *А*, а ляжет около нее в некоторой точке *А'* (рис. 28, *б).* Построенная фигура не будет замкнутым многоугольником.

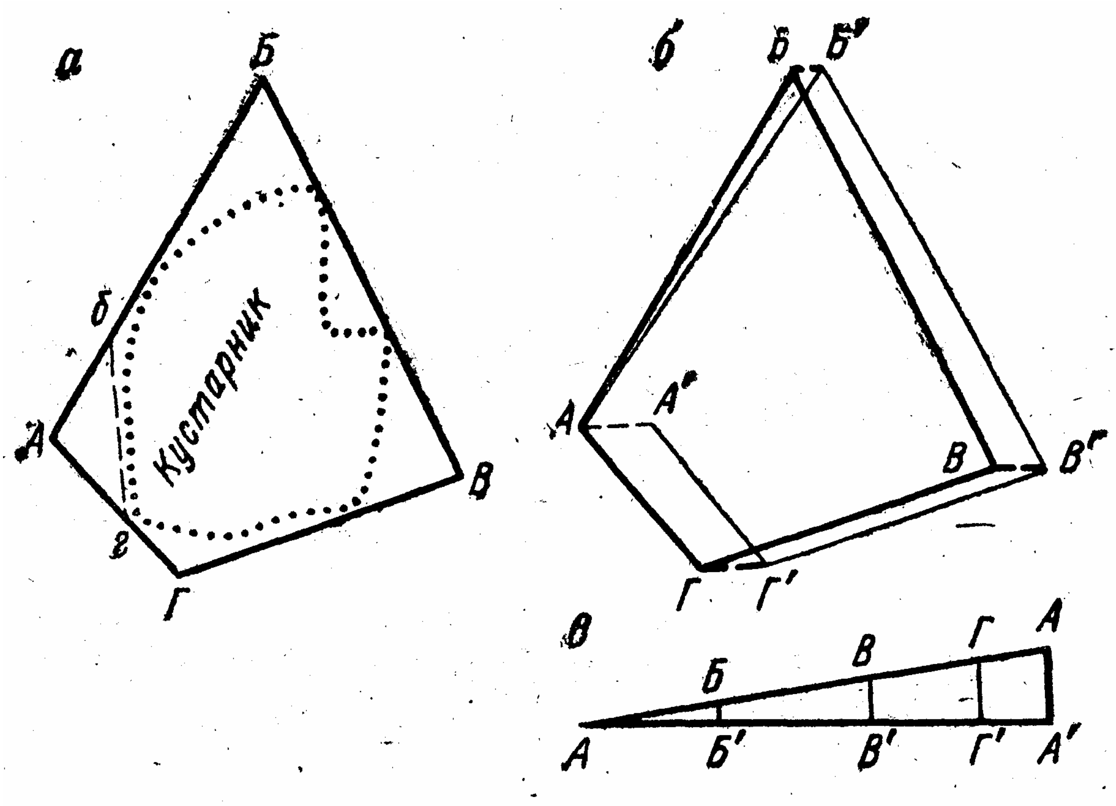


Рис. 28 – Составление плана замкнутого многоугольника (полигона):
а – многоугольник на местности,
б – план многоугольника,
в – схема распределения невязки

Отрезок *АА'* называется линейной невязкой. Эта величина зависит от точности измерения линий и углов на местности и от точности их построения на плане. Приблизительно к указанной нами технике (съемка одной лентой) эта невязка может достигать 1 м на каждые 500 м периметра, т. е. суммы длин сторон многоугольника. Если невязка будет существенно больше указанной величины, то построение нужно выполнить еще раз. Полученная второй раз недопустимая невязка при фигуре, близкой к первой, указывает на наличие грубой ошибки в измерениях. Для ее устранения измерения на местности нужно повторить.

Предварительно следует установить, где содержится грубая ошибка: в углах или сторонах. Контролем правильности измерения углов служит их сумма. Для замкнутого многоугольника сумма S углов зависит от числа *n* его сторон (углов):

$$S = 180°(n – 2). \tag{7.1}$$

Вычисленные по этой формуле значения суммы углов для разных чисел приведены в табл. 5.

Таблица 5

Число вершин	Сумма углов	Число вершин	Сумма углов	Число вершин	Сумма углов
3	180°	7	900°	11	1620°
4	360	8	1080	12	1800
5	540	9	1260	13	1980
6	720	10	1440	14	2160

Сумму углов можно получить графически. Для этого все углы следует строить последовательно при одной общей вершине и откладывать их в одном направлении (скажем, по ходу часовой стрелки) так, чтобы вторая сторона предшествующего угла была бы исходной для последующего угла. В результате такого построения мы придем (теоретически) к начальному направлению для многоугольников с четным числом углов и к отличному от него на 180° для многоугольников с нечетным числом углов (сторон). Отклонение конечной (второй) стороны последнего угла от начальной линии (первой стороны первого угла) представляет собой ошибку в сумме измеренных углов данного многоугольника.

Допустим, что после повторных измерений получена допустимая линейная невязка *AA′* (см. рис. 28, *б*). Каким образом ее следует устранить? Первоначально может возникнуть мысль, что надлежит просто соединить последнюю точку $Г^1$ с первой *А*. Однако, поступив так, мы значительно изменим направление и длину последней стороны, оставив все остальные без изменения. Правильнее будет распределить невязку на все стороны многоугольника. С этой целью отложим последовательно все измеренные длины сторон на одной прямой в некотором произвольном (мелком) масштабе. При этом построении конец предшествующей линии служит началом для последующей.

Затем в конечной точке последней линии, т. е. в точке *А′*, под прямым углом к нашей линии отложим полученную невязку *АА′* (в масштабе плана). Соединив начальную точку *А* с полученной конечной точкой *А* прямой (рис. 28, *в),* проведем через все точки *Б′*, *В′*, *Г′* перпендикуляры до пересечения их в точках *Б*, *В*, *Г с* этой прямой. Отрезки *ББ′*, *ВВ′*, *ГГ′* указывают, на какие величины надлежит передвинуть эти точки. Так как точку *А′* следует переместить на плане в точку *А*, то и остальные точки надлежит переместить в том же направлении. Иначе говоря, все вершины смещают по линиям, параллельным отрезку *АА´* на величины, указываемые графиком (см. рис. 28, *в*). Полученные точки остается соединить четкими линиями и получить замкнутый многоугольник *АБВГА* вместо разомкнутого *АБ´В´Г´А´* (см. рис. 28, *б).*

Увеличивая длину отрезков *Аб*, *Аг*, *бг* и т. д., определяющих величину углов, мы будем повышать точность съемки и в пределе при

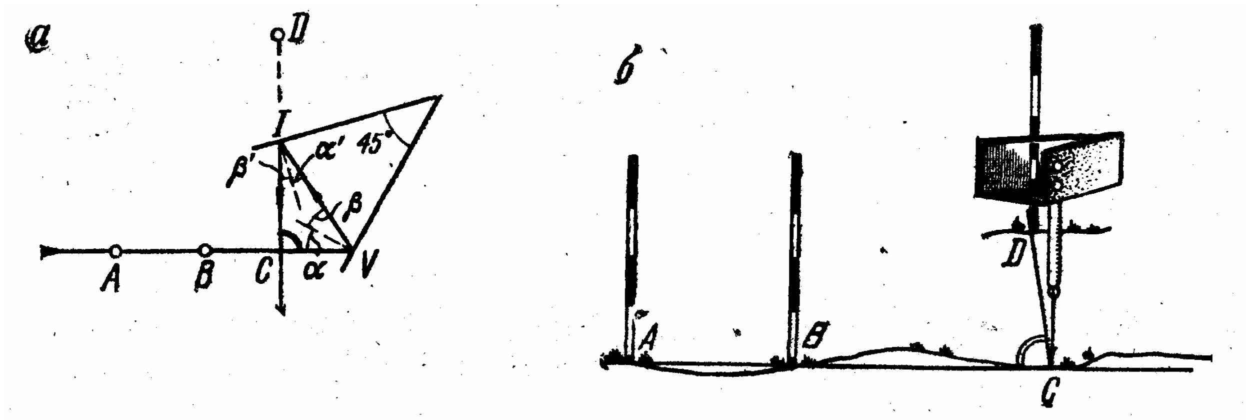


Рис. 29 – Двухзеркальный экер:
а – ход лучей,
б – построение прямого угла

Аб = АВ, Аг = АГ, *бг = БГ* и т. д. придем к известному нам методу линейной триангуляции (трилатерации). Поэтому можно сделать вывод, что при измерении углов лентой метод обхода следует применять лишь в исключительных случаях и для многоугольников с малым числом вершин (4 – 6).

Метод полигонометрии имеет большое производственное значение в наши дни при создании геодезических сетей. При этом углы измеряют портативными приборами с точностью до секунды, а длины линий — инварными проволоками и светодальномерами с точностью до 1: 100 000.

СЪЕМКА ЭКЕРОМ И ЛЕНТОЙ. СПОСОБ ПЕРПЕНДИКУЛЯРОВ. Если кроме мерного инструмента (ленты, рулетки) имеется еще и прибор — экер, позволяющий удобно и быстро строить прямые углы на местности, то при съемке можно применять особые приемы, делающие ее более гибкой, более приспособленной к условиям местности.

В производстве распространен двухзеркальный экер. Теория его основана на том, что луч *АВ* (рис. 29, *а*), дважды отраженный от зеркал *V* и *I*, расположенных под углом 45° друг к другу, пересекает свое начальное направление под углом 90°. Практика же сводится к тому, что перпендикуляр в точке *С* (в которой стоит съемщик с экером) к линии *АВ* пройдет через точку *D*, в которой установленная веха будет казаться съемщику совпадающей с изображением вех *А* и *В* в зеркале экера (рис. 29, *б*).

Вытянутый участок, доступный внутри для линейных измерений, удобнее всего снять способом перпендикуляров. При этом способе вешат вспомогательную (опорную) линию *АБ* так, чтобы она шла по направлению наибольшего протяжения снимаемого участка и делила его приблизительно пополам. Затем выбирают точки, подлежащие съемке; если они непосредственно не видны с провешенной линии *АБ*,

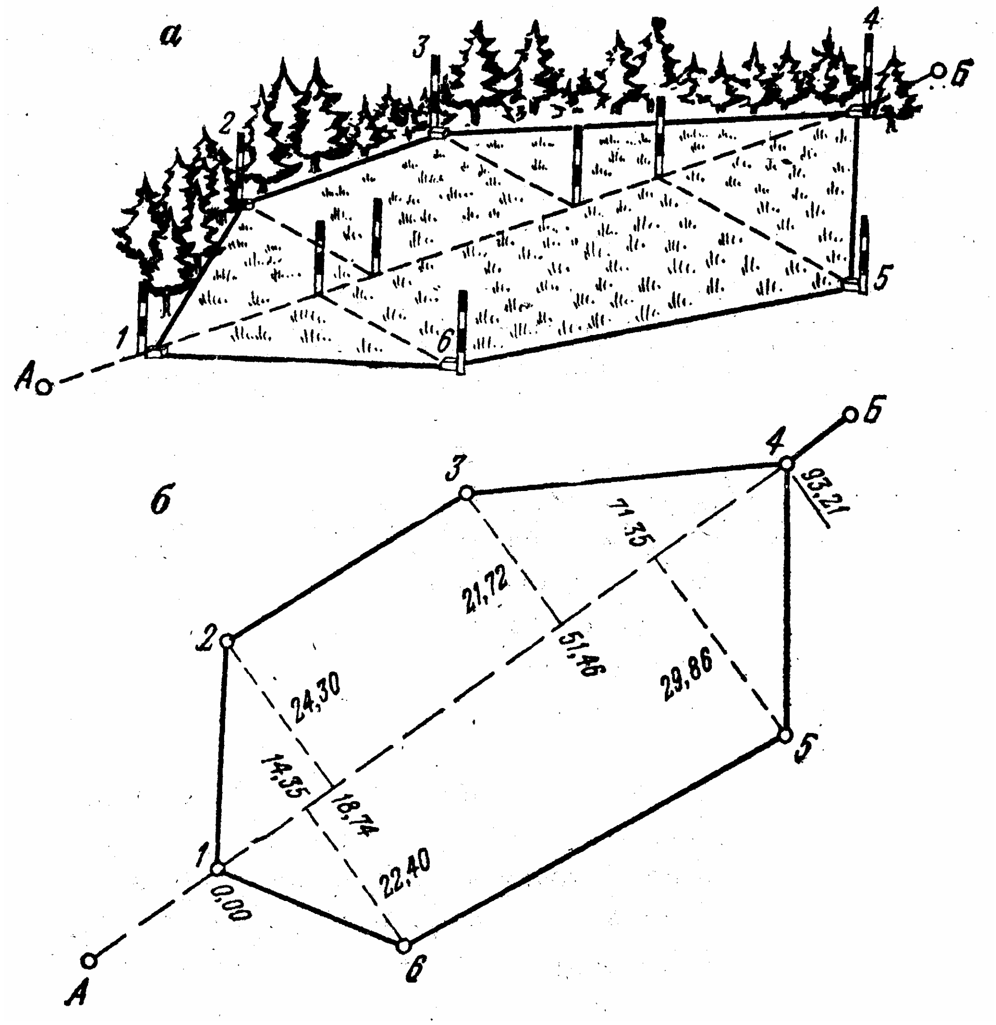


Рис. 30 – Съемка способом перпендикуляров:
а – снимаемый контур на местности,
б – план (вспомогательные линии, использованные при съемке, показаны пунктиром)

то в них устанавливают вехи. На рис. 30, *а* эти точки обозначены цифрами, *1*, *2*, *3*, *4*, *5* и *6*. Причем с целью упрощения съемки опорные точки *А* и *Б* могут быть совмещены с характерными точками *1* и *4* снимаемого участка. Работу начинают с измерения опорной линии *АБ* (*1–4*). В процессе этого измерения попутно определяют при помощи экера основания перпендикуляров, опущенных из снимаемых точек (*2*, *3*, *5* и *6*), на эту линию. Расстояния от начальной точки *А* (*1*) до оснований записывают в абрис. Кроме того, измеряют длины самих перпендикуляров, которые также записывают в абрис. Наконец, желательно для контроля измерить расстояния *1* – 2 – 3 – *4* – *5* – *6* – *1* между точками (рис. 30, *б*).

Таким образом, положение каждой точки определяют двумя промерами: величиной перпендикуляра и расстоянием от его основания до начальной точки. Попутно отметим, что для измерения длин перпендикуляров желательно иметь второй мерный инструмент (рулетку).

Для нанесения на план снятого контура проводят прямую линию *АБ,* на которой намечают точку *1*, и откладывают (пользуясь линейным масштабом) расстояния от нее до всех оснований перпендикуляров. В полученных точках, руководствуясь абрисом, восставляют перпендикуляры (вправо или влево по ходу) и откладывают их длины. Далее выполняют построение в соответствии с абрисом. Если, например, сняты вершины углов поворота границы, то их соединяют прямыми линиями.

В отдельных случаях, при съемке более сложного (крупного) участка и основной линии *АБ*, на определенном расстоянии от *А* можно вешить под прямым углом одну или несколько вспомогательных линий. С этих вспомогательных линий съемку производят тем же способом, как и с основной (перпендикулярами).

Если внутри снимаемого контура нельзя производить линейных измерений (посев, вода и т. п.) и даже подход к границам затруднен (например, заболоченные берега), то около него следует наметить две взаимно перпендикулярные линии, удобные для производства промеров {рис. 31, *а).*

Для каждой снимаемой точки на этих линиях определяют экером основания перпендикуляров. Так, например, точку *4* определяют промером 46,3 м по линии *АБ* и промером 33,6 м по линии *АВ*.

Для составления плана нужно построить, на бумаге прямой угол, на сторонах которого и откладывают в определенном масштабе расстояния до оснований соответствующих перпендикуляров.

В определенных таким образом точках восставляют перпендикуляры. Каждые два перпендикуляра, относящиеся к одной и той же точке, своим пересечением дадут на плане изображение этой точки. При изложенном способе выполняют очень мало линейных измерений: измеряют лишь две линии.

К недостатку способа надо отнести то, что восставленные перпендикуляры могут достигать значительной длины и вызывать большую ошибку в положении определяемой точки. Затрудняется и ведение абриса. Дело в том, что расстояния, определяющие положение данной точки, измеряют в разное время. Поэтому при составлении Плана сравнительно сложного участка легко допустить ошибку, наметив пересечение перпендикуляров, относящихся к разным точкам.

Наконец, укажем, что способ этот можно применить и для участка, доступного внутри для измерений. В этом случае вспомогательные линии должны пересекаться под прямым углом в точке *А*, расположенной по возможности посередине снимаемого участка.

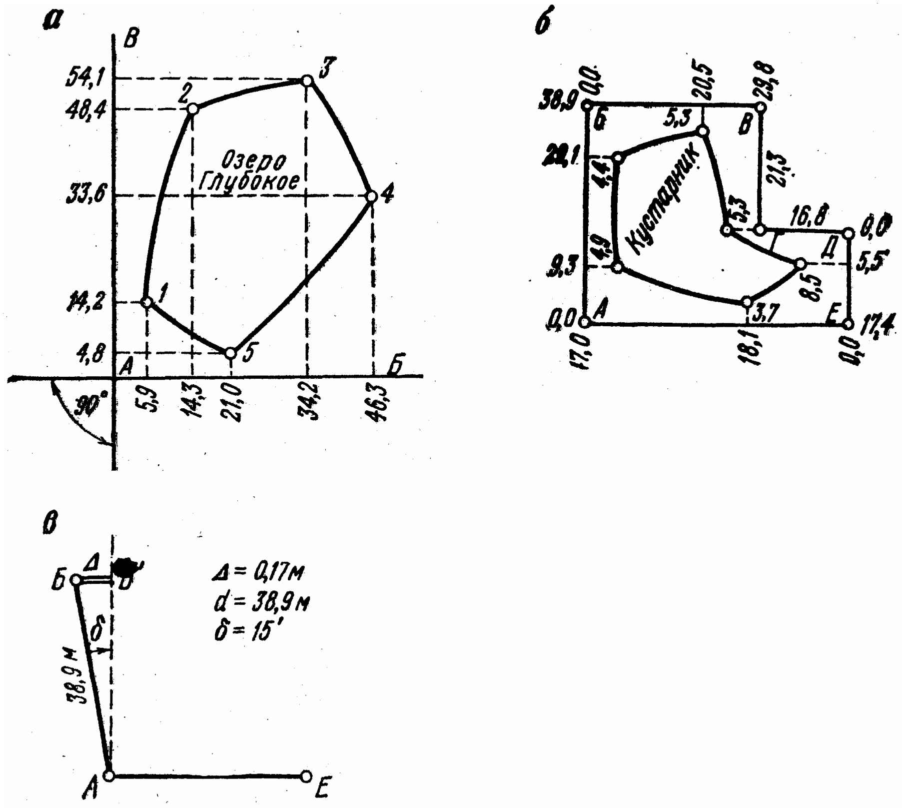


Рис. 31 – Съемка экером и лентой:
а – съемка с двух взаимно перпендикулярных сторон,
б – съемка методом обхода,
в – оценка ошибки угла

СПОСОБ ОБХОДА (ПОЛИГОНОМЕТРИИ) ПРИ ЭКЕРНОЙ СЪЕМКЕ. Может случиться, что указанные выше способы, основанные на использовании одной или двух вспомогательных опорных сторон, окажутся недостаточными (непригодными) для съемки некоторого участка. В этом случае для определения опорных точек следует применить способ полигонометрии (способ обхода). При помощи экера и ленты разбивают на местности один илы несколько соприкасающихся многоугольников, все углы которых прямые (90°). Стороны многоугольников (полигонов) должны быть удобными для измерений и идти по возможности вдоль главных контуров (рис. 31, *б*).

Особое внимание при определении опорных точек следует обратить на контроль измерений, который отсутствовал в предыдущем способе, где взаимное расположение вспомогательных опорных сторон не контролировалось.

Длины сторон замкнутого прямоугольного полигона (многоугольника) должны удовлетворять двум условиям: суммы параллельных сторон для противоположных линий теоретически попарно равны. Применительно к рис. 31, *б* мы имеем *АБ* = *ВГ* + *ДЕ* (38,9 ≈ 21,3 + 17,4) и *АЕ* = *БВ* + *ГД* (47,0 ≈ 29,8 + 16,8 м). Полученное расхождение (в данном случае 0,2 и 0,4 м) будет обусловлено не только ошибками, допущенными при измерении линий, но и ошибками в построении прямых углов.

Контроль построения на местности углов сводится к определению величины угла, замыкающего полигон. Поясним это. Выбрав на местности точку *А* и произведя вешение направления *АБ*, съемщик переходит в точку *Б*. В точке *Б* он строит перпендикуляр *БВ* к стороне *БА* и переходит затем в точку *В*. Продолжая таким образом, т. е. строя перпендикуляры к предыдущим сторонам и намечая на них очередные точки, съемщик дойдет до предпоследней точки *Д*. Построив в ней к стороне *ДГ* перпендикуляр, съемщик найдет на этом направлении .такую точку *Е*, из которой точка *А* (начальная) была бы видна под прямым углом. Теперь все точки определены, но для контроля надо перейти в точку *А* и проверить в ней величину угла. Построив перпендикуляр *АБ′* к стороне *АЕ* и определив величину *ББ′* = Δ отклонения его от точки *Б* (рис. 31, *в*), вычисляют величину угловой ошибки $\delta \approx \llcorner БАБ'$ в минутах по формуле

$$34{,}4' \frac{\Delta_{\text{см}}}{d_{\text{м}}} = \delta', \tag{7.2}$$

где *d* — длина стороны *АБ*.

После построения опорной геодезической сети приступают к съемке подробностей методом перпендикуляров. Построение плана и уничтожение невязки выполняют методами, описанными ранее.

В заключение параграфа отметим, что при наличии мерной ленты и экера определение опорных геодезических точек наиболее точно можно выполнить методом линейной триангуляции. Для съемки ответственных предметов (строений, осей дорог и т. п.) надо применять способ линейных засечек и способ створов. Экером же следует снимать второстепенной важности предметы и нечеткие контуры (кустарник, берега рек и т. п.). При этом, с целью уменьшения длин перпендикуляров, надо рекомендовать проведение вспомогательных линий, близко проходящих от контуров. Положение этих вспомогательных линий относительно опорных точек определяется створами. К построению опорных точек с помощью экера следует прибегать лишь в крайнем случае. В основном же он используется как подсобный прибор при съемке подробностей.

§ 8. Вертикальная съемка небольшого участка местности

В этом параграфе мы познакомим читателя с простейшим способом производства вертикальной съемки небольшого участка местности и с составлением топографического плана, т. е. плана, на котором изображен рельеф.

РЕЛЬЕФ. ОТМЕТКА. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ. ПРОФИЛЬ. Неровности земной поверхности называются *рельефом*. Точнее, *под рельефом следует понимать форму физической (видимой) земной поверхности, рассматриваемой по отношению к уровенной ее поверхности.* Рельеф имеет большое значение в сельском хозяйстве, особого внимания он заслуживает при выборе места под сады, виноградники и поливные участки. Мелиорация сельскохозяйственных земель проводится только на основе материалов, точно освещающих рельеф местности. Не меньшее значение имеет рельеф и в промышленности. Строительство всевозможных сооружений на первом этапе включает в себя производство земляных работ, связанных с вертикальной планировкой. Правильная организация этих работ требует знания рельефа участка. Особое значение приобретает изучение рельефа при прокладке всевозможных дорог и каналов. Не менее важен рельеф и в военном деле. Умение приспособиться к рельефу местности и учесть его особенности приравнивается к умению владеть оружием.

Представление (сведения) о рельефе, в зависимости от целей, вызвавших его исследование, может быть дано по-разному. В некоторых случаях достаточно получить отметки двух или нескольких точек (отметка — числовое выражение высоты). Например, если мы желаем осушить болото, прокопав канаву к реке, то для предварительных соображений достаточно получить отметки урезов (уровней) воды в реке и в болоте. Этого достаточно, чтобы сказать, куда потечет вода.

Работы на местности здесь сводятся к определению разности высот h двух точек, что можно сделать разными методами (§ 6). Если расстояние между нивелируемыми точками A и B большое, то между ними намечают промежуточные точки 1, 2, 3,… и определяют последовательно превышения h_1, h_2, h_3,… между точками $A – 1$, $1 – 2$, $2 – 3$,…, после чего искомое превышение h определится как алгебраическая сумма всех этих превышений, из которых первое относится к разности высот первой промежуточной точки и начальной точки A, а последнее — к разности высот конечной точки B и последней промежуточной точки:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots \qquad (8.1)$$

Часто, например при прокладке дороги, канавы и т. д., нужно знать не только отметки характерных точек, но надо иметь представление об относительном положении всех точек, расположенных на некоторой линии (прямой, ломаной или кривой), называемой *трассой.* Вдоль данной линии (трассы) намечают точки, подлежащие съемке. Часть из них нужна для характеристики ситуации, а остальные — для характеристики рельефа. В последнем случае две последовательные точки, идущие одна за другой, должны отвечать тому условию, что прямая линия, соединяющая их на местности, должна практически совпадать с поверхностью земли. Иначе говоря, при съемке рельефа кривая поверхность заменяется некоторой многогранной поверхностью, а кривая линия этой кривой поверхности заменяется некоторой ломаной линией. Изломы последней линии и подлежат съемке.

При съемке определяют превышения между всеми намеченными точками и измеряют между ними горизонтальное расстояние. Затем вычисляют отметки всех точек, последовательно применяя формулу

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h, \tag{8.2}$$

где $H_{\text{посл}}$ и $H_{\text{пред}}$ — отметки соответственно последующей и предыдущей точек, а h — превышение между ними. Это превышение имеет знак плюс или знак минус.

Для наглядного представления трассы строится специальный чертеж, на котором в уменьшенном виде изображается вертикальный разрез земной поверхности вдоль данной линии. Чертеж этот называется *профилем*.

Для построения профиля на бумаге проводят горизонтальную линию на которой в определенном масштабе откладывают горизонтальные отрезки, измеренные по данной линии между снимаемыми точками. В полученных точках строят перпендикуляры и на них откладывают в некотором масштабе высоты соответствующих точек. При этом проведенной горизонтальной линии можно присвоить любую высоту, которую называют *условным горизонтом профиля*.

Например, пусть требуется построить профиль трассы по данным, представленным в табл. 6.

Для построения профиля выбирают масштабы: горизонтальный 1: 1000 и вертикальный 1: 100. Проводят горизонтальную линию, условный горизонт которой принимают за 18,0 м. При этом выборе самая низкая точка G будет расположена над условным горизонтом на 2,76 см, а самая высокая C — на 4,61 см.

Построение профиля удобно выполнять на «миллиметровке» или бумаге в клеточку. Построенные точки соединяют, и полученная линия (ломаная) представит собой изображение вертикального разреза земной поверхности вдоль трассы.

Таблица 6

№ точек	Расстояния, мм	Высоты, м
A		21,35
	20,0	
B		22,08
	10,0	
C		22,61
	10,0	
D		21,88
	20,0	
E		21,40
	20,0	
F		21,05
	20,0	
G		20,76

Данные, послужившие основанием для построения профиля, приводят не в отдельной таблице, а размещают на самом профиле ниже условного горизонта (рис. 32).

Нужно подчеркнуть, что профиль не дает представления о положении точек на горизонтальной плоскости, так как на нем трасса выпрямлена. Профиль имеет и еще одно отличие от плана: он является не подобным, а искаженным изображением, причем масштаб для высот обычно берется крупнее, чем для горизонтальных проложений.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ. ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН. В самом общем случае может возникнуть необходимость иметь полное представление о положении всех точек некоторого участка местности как в плане, так и по высоте. В этом случае нужно составить топографический план местности, по которому можно определять высоты любых точек.

Нивелирование небольшого участка земли со спокойным рельефом можно выполнить следующим образом. На местности съемщик разбивает сеть треугольников или квадратов, используя только ленту или ленту и экер.

По сторонам построенной сети производят нивелирование в том порядке, как и при нивелировании трассы, и определяют превышения

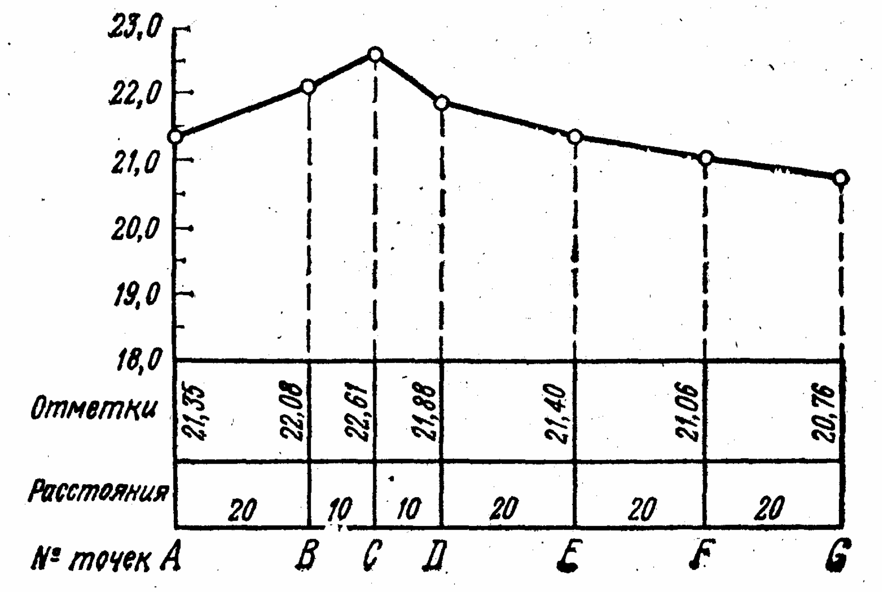


Рис. 32 – Профиль трассы AG; масштабы:
горизонтальный 1: 1 000, вертикальный 1: 100

последовательных точек сторон сети. Отметки можно вычислить условные, приняв, например, высоту одной из точек сети за 100,00 м. Укажем, что принимать эту высоту за 0,00 неудобно, так как некоторые точки могут получить отрицательные высоты.

Построив сеть треугольников (квадратов) в определенном масштабе на бумаге, наносят по их сторонам те точки, отметки которых получены нивелировкой. Каким же образом использовать эти точки и их отметку для изображения рельефа участка?

Самый простои и естественный способ указания высот точек, на плане или карте состоит в приписке к каждой определенной точке ее высоты (отметки). Составленный таким образом план был бы весь испещрен цифрами, и пользование им затруднительно.

Рельеф представится гораздо выразительнее, если на плане соединить непрерывными линиями точки, имеющие равные высоты. Кривые линии, все точки которых имеют равные высоты называют *горизонталями.* Их проводят через равные промежутки по высоте, например через 1 м, через 5 м и т. п. (через круглое число метров или сантиметров). При этом если горизонтали проведены через 5 м, то их высоты могут быть лишь кратными пяти, т. е. отметки должны делиться на пять. Иначе говоря, в этом случае отметки горизонталей могут быть 0, 5, 10, 15, ..., 135, 140, 145, …

Наглядное представление о горизонтали дает линия соприкосновения поверхности стоящей воды с сушей. Если допустить, что уровень воды скачкообразно поднимается каждый раз на одну и ту же определенную высоту (скажем, на 5 м) и постепенно затопляет сушу, то кривые линии, соответствующие различным уровням воды, будут представлять горизонтали на местности.

Изобразив эти горизонтали на плане, мы тем самым охарактеризуем высоты точек участка. Это будет сделано тем точнее, чем меньше разность высот двух последовательных (соседних, но разных по высоте) горизонталей, т. е. чем чаще они проведены. Эта разность высот называется *высотой сечения* рельефа горизонталями.

Однако в результате съемки на плане окажутся нанесенными не точки, расположенные на нужных горизонталях и имеющие определенные круглые высоты, а характерные точки рельефа участка с произвольными высотами. Эти точки при правильной постановке съемки должны быть намечены так, чтобы плоскости, проведенные через каждую тройку смежных точек, практически совпадали бы с поверхностью земли в пределах площади, ограниченной линиями, соединяющими эти точки. При этом условии легко построить модель поверхности местности в виде соответствующего многогранника. Действительно, составив план сети и построив в каждой вершине перпендикуляры к плоскости плана, мы отложим на них высоты, соответствующие данным точкам, и проведем через полученные в пространстве точки плоскости, образующие треугольники в соответствии с абрисом участка (рис. 33, *а*).

Построенная таким образом по результатам съемки модель представляет собой местность. Нашей ближайшей задачей является изображение указанной модели местности на плане при помощи горизонталей.

Для этого на плане по всем сторонам сети, обозначенным на абрисе (см. рис. 33, *а*), мы наметим точки, отметки которых кратны принятой для данного плана высоте сечения рельефа горизонталями, например 0,5 м. Иначе говоря, на плане находят точки, в которых горизонтали пересекают стороны сетки. Работа эта называется интерполированием горизонталей, и основана она на том допущении, что вдоль сторон сети, обозначенных на абрисе, между двумя соседними точками, отметки которых определены, рельеф имеет равномерную покатость — один общий уклон. В этом случае горизонтали должны проходить на равном расстоянии друг от друга (в пределах одной стороны). Таким образом, задача сводится к делению данной стороны на пропорциональные части, что может быть выполнено различными способами: аналитически, с помощью палетки и графика, на глаз. Мы остановимся лишь на этом последнем способе.

При интерполировании горизонталей на глаз вся трудность заключается в проведении двух крайних горизонталей — ближайших к заданным точкам (концам стороны). Действительно, проведение последующих горизонталей сводятся к делению отрезка между крайними горизонталями на определенное число равных частей.

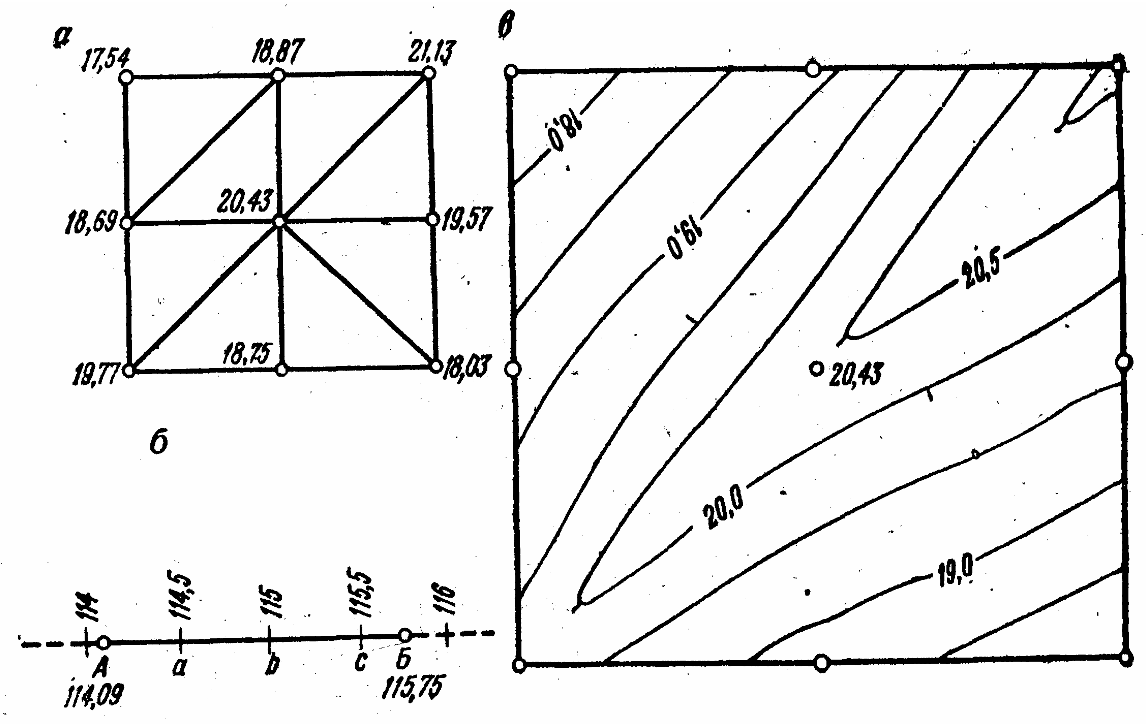


Рис. 33 – Нивелирование площади:
а – абрис участка,
б – пометки горизонталей,
в – топографический план участка

Для проведения крайних горизонталей надо оценить то расстояние, на котором они должны проходить от соответствующих точек. Расстояние от точки до ближайшей горизонтали должно составлять такую же часть от всей линии *АБ* (рис. 33, *б*), какую составляет разность их высот от всего превышения по линии *АБ*.

Поясним это на примере. Пусть две соседние точки стороны сети имеют отметки: 114,09 — левая точка *А* и 115,77 — правая точка *Б* (рис. 33, *б*); требуется между ними наметить горизонтали через 0,5 м. Очевидно, между этими точками должно пройти три горизонтали: 114,5; 115,00; 115,5. В качестве крайних можно взять горизонтали 114,5 и 115,5 или 114,0 и 116,0, последние будут расположены за пределами стороны *АБ*, и их проведение имеет вспомогательный характер. Для примера возьмем этот последний вариант. На всю сторону *АБ* приходится подъем 115,77 – 114,09 = 1,68 м, а на расстояние от точки *А* до горизонтали 114 (горизонталь, краткости ради, мы называем ее высотой) приходится 114,09 – 114,00 = 0,09, или около $^1/_{20}$ части от всего превышения 1,63 м.

Следовательно, горизонталь 114,00 надо провести на глаз, влево от точки *А* (т. е. в противоположную сторону от *Б*), на расстоянии, которое равно $^1/_{20}$ от всего отрезка *АБ*.

Далее намечаем вправо от точки *Б* на продолжении стороны *АБ* точку, отметка которой должна быть 116,00. Эта точка будет расположена за точкой *Б* на расстоянии, равном $^1/_7$ части от всего отрезка *АБ*, так как примерно такую часть составляет разность высот 116,00 – 115,77 = 0,23 от всего превышения 1,68 м.

Когда горизонтали 114,0 и 116,0 намечены, то для определения места горизонтали 115,0 остается разделить расстояние между ними пополам. Далее, разделив, в свою очередь, расстояние между горизонталями 114,0 и 115,0 пополам, найдем место горизонтали 114,5 на стороне *АБ*, а горизонталь 115,5 будет проходить посредине, между горизонталями 115,0 и 116,0. Когда точки для горизонталей, пересекающих сторону *АБ* (114,5; 115,0; 115,5), намечены, то вспомогательные горизонтали (114,0 и 116,0) следует стереть.

После того как по всем линиям намечены места пересечения горизонталей, приступают к их проведению: точки, соответствующие одинаковым числам (высотам горизонталей), соединяют плавной кривой, лишь незначительно отклоняющейся от ломаной линии (рис. 33, *в*).

План в горизонталях не только дает общую картину рельефа местности, но он позволяет решать целый ряд инженерных задач: вычислить отметку любой точки плана; определить уклон некоторой линии, нанесенной на план, а также провести линию из данной точки под заданным уклоном; построить профиль для любой линии плана; определить водосборную площадь имеющегося на плане водотока; подсчитать объем земляных работ и многое другое.

§ 9. Глазомерная съемка

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. К глазомерной съемке прибегают в тех случаях, когда нужно получить план в короткий срок и с небольшой точностью, а также когда постановка инструментальной съемки невозможна или нерентабельна. Глазомерная съемка и в наши дни имеет известное значение и находит применение при всякого рода предварительных изысканиях, в разнообразных экспедициях и в военных целях.

Приступая к работе, съемщик должен уяснить, для чего предназначается план, какие данные и с какой точностью нужно получить. Установив четко цель и содержание работы и познакомившись с районом съемки (по имеющимся картам и планам или по опросу местных жителей), намечают план действия.

Главное, что требуется от глазомерной съемки: быстрота, приспособленность к трудным условиям, достоверность и целеустремленность, а также ясность и наглядность.

Применение простейших приборов для построения плана позволяет производить глазомерную съемку в любых условиях и в короткий срок.

Нужно всегда помнить, что если глазомерная съемка не исполнена к сроку, то она теряет всякий смысл. Поэтому до выхода в поле необходимо установить не только способ съемки, но и время ее выполнения на отдельных участках (пунктах). Расчет времени необходим, иначе можно израсходовать больше времени на одном участке за счет другого.

Достоверность съемки обеспечивается изображением на плане только того, что съемщик наблюдает и определяет.

Ясность съемки достигается изображением только главных деталей местности, с обязательным подчеркиванием (выделением) таких предметов, которые по цели съемки представляют значительный интерес. Например, если съемку производят для лесоустроительных целей, то съемщик обязан выделить предметы, важные именно для этой цели: просеки, породы деревьев и т. п.; если же съемку выполняют в геологических целях, то съемщик обязан выделить обнажения горных пород, карьеры, выходы грунтовых вод и т. д. План глазомерной съемки — абрис необходимо составлять так, чтобы характер местности хорошо выражался и по нему легко было находить нужные предметы и детали. Для большей наглядности прибегают не только к умелому подбору условных знаков, но и к зарисовке на полях (за границами плана) характерных и важных предметов с составлением надлежащего описания — легенды (рис.34)*.

Таким образом, ограниченность времени не позволяет наносить на план все местные предметы с одинаковой точностью и подробностью. Одни предметы наносят с максимальной тщательностью, другие — менее подробно, а некоторые и вовсе опускают.

Между масштабом съемки и ее полнотой и точностью, а следовательно, и быстротой выполнения существует непосредственная зависимость. Чем крупнее масштаб съемки, тем подробнее и точнее может быть нанесена (изображена) на плане местность; чем однообразнее местность и чем меньше времени выделено для ее исполнения, тем мельче должен быть масштаб съемки.

ИНСТРУМЕНТЫ. Относительное положение точек при топографической съемке находят измерением углов и длин сторон. Инструменты, предназначенные для этой цели,

---

* Рисунки 34, 35, а, 36, а, в, 38, 39 и 40, а заимствованы из книги Г. Ф. Гапочко «Военноглазомерная» съемка. М., Воениздат, 1953.

определяют характерсъемки. Глазомерная съемка по методу работы соответствует мензульной съемке: углы не измеряют, а непосредственно чертят на бумаге и план составляют на местности (в поле). Только здесь вместо кипрегеля применяют трехгранную линейку, а вместо мензулы примитивный планшет — прямоугольник из фанеры размерами примерно 30×40 см (рис. 35, *а*). Кроме планшета, трехгранной линейки,

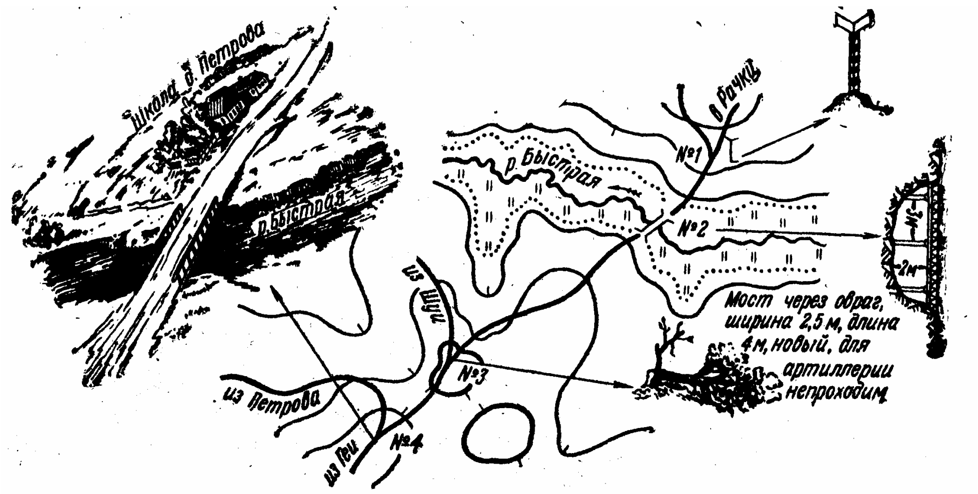


Рис. 34 – Абрис с легендой

карандашей и резинки при глазомерной съемке желательно иметь компас и измеритель (циркуль).

Для измерения на местности расстояний можно применять простейшие дальномеры, в частности бинокль с сеткой из нескольких параллельных неравноотстоящих нитей (штрихов). При таком бинокле имеется табличка (иногда она помещается в поле зрения), показывающая, какому расстоянию до предмета соответствует случай расположения его между некоторой парой смежных штрихов. Наконец, при глазомерной съемке часто применяют анероид (барометр), служащий для определения превышения точек (стр. 95).

Если предусмотрена цветная отделка плана, то нужно иметь цветные карандаши: синий — для обозначения воды; зеленый — для леса и кустарника; красный — для дорог и крупных зданий (строений). При отделке плана одним черным цветом комбинируют толщину линий: наиболее важные предметы вырисовывают толстыми линиями, а второстепенные — тонкими. Карандаши применяют различных марок: в сухие летние дни удобнее рисовать твердым карандашом, а при влажном воздухе и зимой — мягким.

Для удобства отложения на плане расстояний, измеренных шагами, вычерчивают масштаб шагов (стр. 19), который может быть приклеен к одной из сторон трехгранной линейки.

ПОСТРОЕНИЕ НА ПЛАНШЕТЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ. При глазомерной съемке компас укрепляют в одном из углов планшета и намечают направление магнитного меридиана проходящего через центр укрепленного компаса (см. рис. 35, *а).* Это направление может быть и косым по отношению к рамкам планшета. Для того чтобы построить на планшете при точке *а*

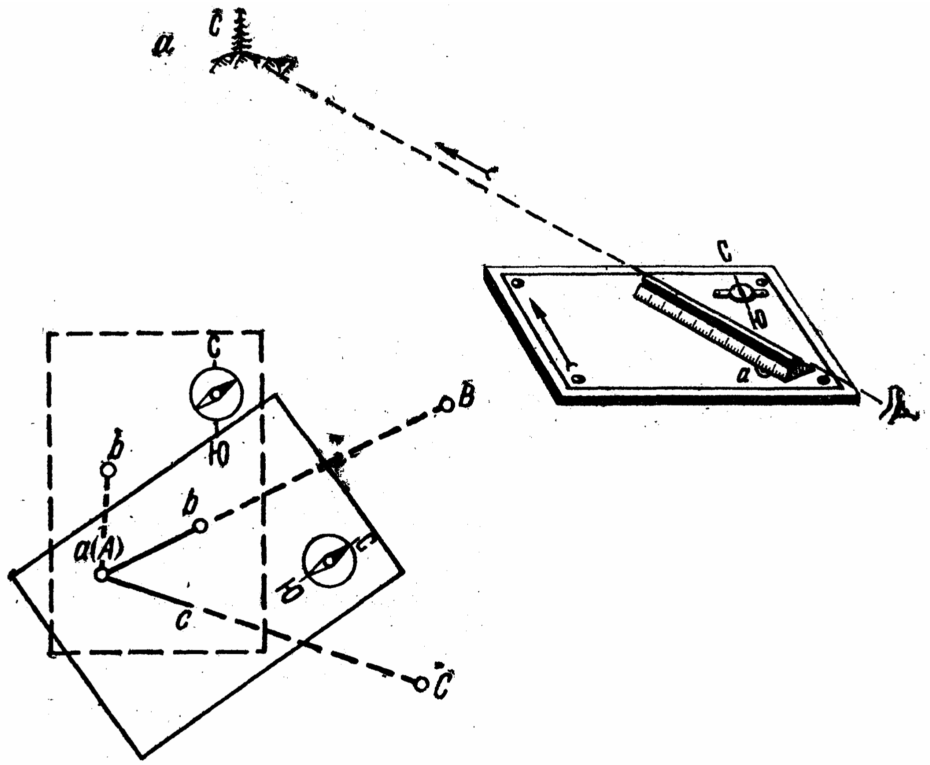


Рис. 35 – Построение направлений на планшете:
а – планшет с линейкой,
б – ориентирование планшета

(рис. 35, *б*) направление *ас,* соответствующее направлению *АС* местности, необходимо выполнить предварительно следующие три действия: 1) перейти с планшетом в точку *А* (*центрировать*), 2) привести планшет в горизонтальное положение, которое выдерживается на глаз и по наклонению магнитной стрелки (*нивелировать*), 3) повернуть планшет так, чтобы стрелка компаса совпала с прочерченным направлением магнитного меридиана (*ориентировать*). Эти три действия: центрирование, нивелирование и ориентирование, как и при мензульной съемке, можно назвать установкой планшета. Ориентировать планшет можно и без компаса — по стороне *АВ* местности, если ее изображение *ab* имеется на планшете (см. рис. 35, *б*). Когда планшет установлен, то для проведения на нем направления *ас* остается, вращая линейку около точки *а,* направить ее на точку *С* и засечь, т. е. прочертить линию по краю линейки в сторону точки *С*. Выполнение этого действия требует от съемщика некоторого навыка и известной ловкости. Дело в том, что, делая засечку (см. рис. 35, *а*), он должен одновременно выдерживать горизонтальность планшета и не сбивать его ориентирования. Некоторого облегчения можно достичь при помощи шнурка, прикрепленного к двум углам планшета и перекинутого через шею съемщика. Уперев планшет двумя другими углами себе в грудь съемщик без помощи рук может удерживать его в горизонтальном положении.

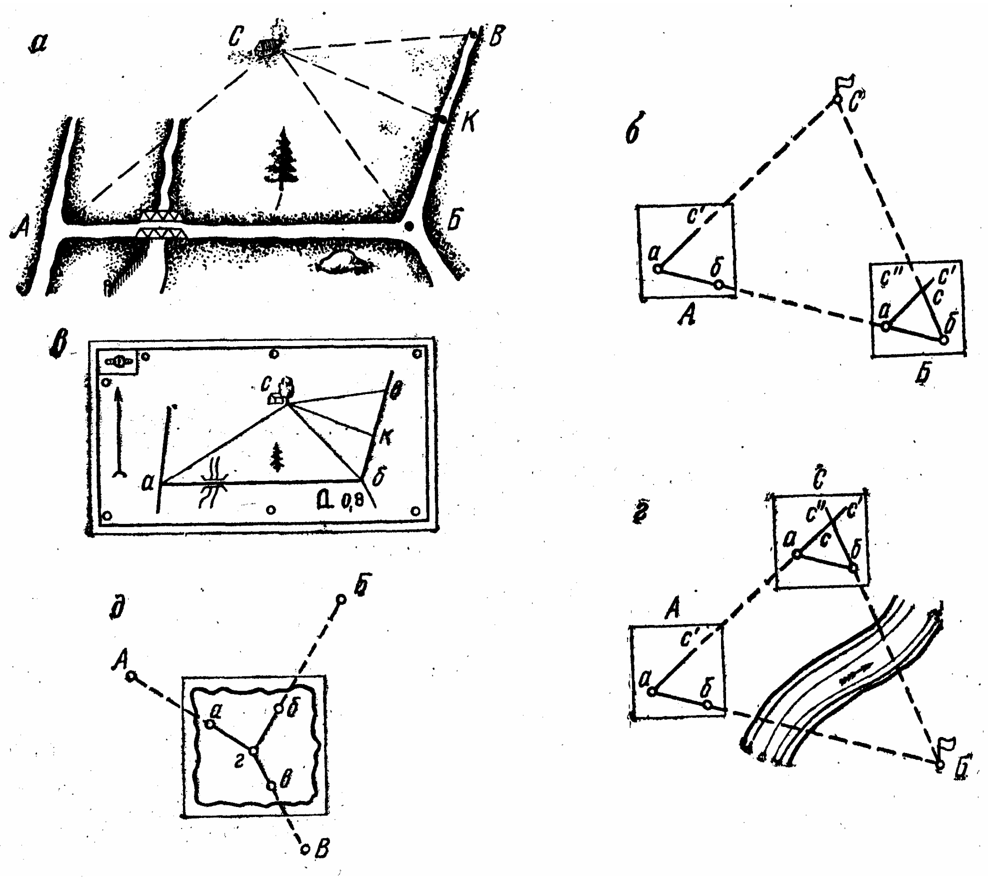


Рис. 36 – Метод засечек:
а – снимаемая местность, б – прямая угловая засечка с двух точек,
в – прямая угловая засечка с четырех сторон (многократная)
г – комбинированная угловая засечка, д – обратная засечка

Рекомендуется также использовать для упора подручные предметы: пни, выступы строений и т. п. При наличии помощника последний выдерживает установку планшета, а съемщик делает засечку.

ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАСЕЧКИ. Если точкам *А* и *Б* местности на планшете соответствуют точки *а* и *б*, то положение третьей точки *С* местности может быть определено на плане без линейных измерений, обходясь лишь угловыми засечками.

Случай 1 — прямая засечка. Пусть точки *А* и *Б* местности (рис. 36, *а*) доступны и с них видна точка *С*. Тогда, установив планшет в точке *А* местности, т. е. центрируя, нивелируя и ориентируя его, засекают точку *С* — прочерчивают на планшете направления *ас'* (рис. 36, *б*). Затем переходят в точку *Б* и, выполнив те же действия, получают второе направление *бс"* на точку *С.* В пересечении этих двух направлений и будет расположена точка *с* плана, соответствующая точке *С* местности.

Для контроля засечку следует выполнять минимум с трех точек. Так, на рис. 36, *в* показана прямая засечка дерева, стоящего у дома, с четырех точек: *а*, *б*, *в* и *К*, причем точка *К* находится в створе *бв.*

Случай 2 — обратная засечка. Пусть точка *Б* недоступна (или далеко расположена). Тогда, выполнив засечку точки *С* с точки *А*, переходят на определяемую точку и устанавливают там планшет, причем ориентирование выполняют по направлению *с′а*, визируя на точку *А.* Далее, приложив линейку к точке *б* планшета, наводят линейку на точку *Б* (вращая ее вокруг *б*) и прочерчивают направление *бс".* Точка *с* опять-таки окажется на пересечении линий *ас'* и *бс"* (рис. 36, *г*).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕТВЕРТОЙ ТОЧКИ ПО ТРЕМ ДАННЫМ. Пусть на плане имеются точки *а*, *б* и *в*, соответствующие *А*, *Б* и *В* местности. Надлежит определить на плане положение (точку *г*) четвертой точки *Г*, с которой видны все три перечисленные ранее точки. Для того на местности устанавливают планшет в точке *Г*, прикрепляют к нему лист восковки, намечают произвольную точку *г*, визируют через нее на данные точки *А*, *Б* и *В* местности и прочерчивают соответственно направления *га*, *гб* и *гв.* Открепив восковку, передвигают ее по планшету так, чтобы указанные направления прошли соответственно через точки *А*, *Б* и *В* планшета (рис. 36, *д).* Достигнув этого, перекалывают точку *г* на планшет и тем самым получают на нем точку *г*, соответствующую точке *Г* местности.

СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. При глазомерной съемке, как и при всякой другой, работу ведут от общего к частному, т. е. небольшое число опорных точек — съемочное обоснование — определяют с большой точностью, а все остальные точки, подлежащие съемке, определяют уже относительно них с меньшей точностью.

Съемочное обоснование может быть построено или в виде геометрической сети — сети треугольников, в которых измерены углы и одна из сторон — базис, или в виде одного или нескольких замкнутых полигонов — многоугольников с измеренными сторонами и углами. Периметр полигонов состоит из ходовых линий, которые намечают по дорогам, просекам и т. п. (рис. 37).

При площадной съемке открытой и холмистой местности опорные геодезические точки целесообразнее всего разбить (построить) методом геометрической сети. Базис выбирают в середине участка и измеряют тщательно шагами в двух направлениях. Затем прямыми засечками определяют другие точки геометрической сети, которыми могут быть отдельно стоящие деревья, углы строений, резко обозначенные изломы контуров и т. д. Желательно, чтобы они составляли примерно равносторонние треугольники и с них открывался хороший кругозор. Нужно помнить, что точка, определенная

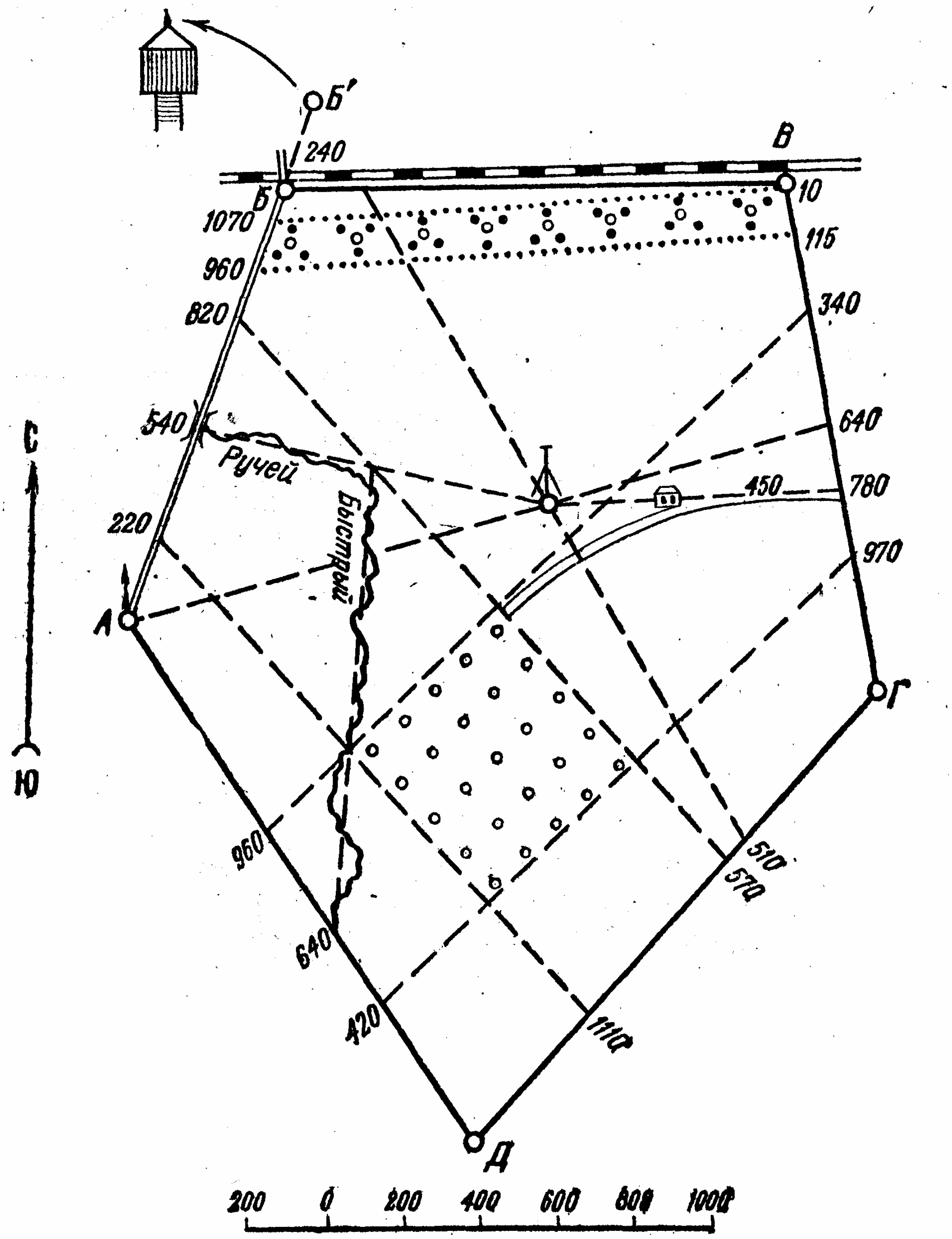


Рис. 37 – План глазомерной съемки (метод обхода)

только двумя засечками, не имеет контроля. На такой точке следует побывать с планшетом и проверить правильность угла при ней. Если сеть значительно вытянута, то необходимо измерить второй базис.

В принципе построение геометрической сети при глазомерной съемке совпадает с построением триангуляции и способом угловых засечек при инструментальных съемках (§ 7).

Для залесенной или застроенной местности, а также при маршрутной съемке рекомендуется метод ходовой линии, при котором ломаную линию наносят на планшет по длинам ее звеньев (сторон) и по углам. Этот способ построения обоснования при глазомерной съемке в принципе совпадает с методом полигонометрии (обхода) при, инструментальных съемках (§ 7).

Став в начальной точке *А* (см. рис. 37), съемщик выбирает вдали заметный предмет, расположенный вблизи дороги или линии, удобной для промера ее шагами. При этом направление *АБ* должно совпадать с намеченным маршрутом. Установив планшет, съемщик намечает на нем точку *А* так, чтобы весь снимаемый участок удобно расположился бы на листе бумаги (планшета). Затем он засекает точку *Б*, т. е. прочерчивает на нее направление (стр. 85). Выполнив эту работу, съемщик идет вдоль выбранного направления, считая шаги. Дойдя до точки *Б*, он откладывает по масштабу шагов измеренное расстояние, определяя таким образом положение точки *Б* на планшете.

Может случиться, что выбранная точка *Б´* окажется за границами участка, подлежащего съемке (см. рис. 37). Тогда исполнитель останавливается в такой точке *Б* линии *АБ´* с которой удобно продолжить маршрут (на рис. 37 выбрана точка, которая расположена на пересечении линии *АБ* с железной дорогой). Эта точка и считается затем за очередную точку хода, положение которой наносят на планшет. Затем таким же способом съемщик намечает и определяет следующую точку *В* и т. д. Дойдя таким образом до последней точки хода *Д* (для замкнутого полигона — многоугольника), он засекает с нее первую точку *А* и измеряет до нее расстояние. Отложив это расстояние на прочерченном направлении, получают точку *А´*, которая на планшете не будет совпадать с начальной точкой *А* (см. рис. 28, *б*). Это расхождение обусловлено неизбежными ошибками, допущенными при измерении расстояний на местности, а также при построении их и углов на планшете. Если работа выполнена аккуратно, то полученная невязка — отрезок AA' не должна превышать 4 – 5 % периметра пройденного многоугольника.

Так, если съемка производится в масштабе 1: 25 000 и сумма длин сторон хода равна 12 км, то на планшете отрезок AA' может быть до 2 – 2,5 см.

Если невязка меньше указанного предела, то ее распределяют пропорционально длинам сторон хода, для чего выполняют вспомогательный чертеж (см. рис. 28, *б*, *в*).

После получения исправленного положения точек (стр. 70) *Б*, *В*, *Г*... (начальная точка *А* своего положения не изменяет), первоначально нанесенные на планшет точки *Б*, *В*, *Г*,..., *А* (см. рис. 28, *б*) стирают, и ходовая линия будет представлена уже замкнутым многоугольником.

СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ (СИТУАЦИИ). При глазомерной съемке подробности снимают теми же методами, как и при инструментальной съемке (§ 7). Однако чаще всего при глазомерной съемке ситуацию наносят на планшет методом кругового визирования.

Придя в некоторую точку *А* ходовой линии, которая обозначена на планшете точкой *а*, съемщик выбирает характерные точки *1*, *2*, *3*, …, подлежащие съемке, затем приводит планшет в горизонтальное положение, ориентирует его и последовательно визирует (наводит линейку) на выбранные точки. Одновременно он определяет на глаз расстояния до этих точек и откладывает их по линейке. При этом не обязательно прочерчивать линии *а – 1*, *а – 2,* *а – 3* и т. д. Полученные точки последовательно соединяют линиями, соответствующими линиям местности, причем дополнительные изгибы вырисовывают па глаз, глядя на местность. Такой дополнительный изгиб сделан, например (рис. 38), между точками *5* и *6.*

Наиболее ответственные точки надлежит стремиться получить с контролем с различных точек или несколькими методами.

Нанесение контура способом перпендикуляров (прямоугольных координат) осуществляется так же, как и при инструментальной съемке (рис. 39, *а*). Идя по опорной (ходовой) линии *АВ*, съемщик, отыскивает путем проб основание перпендикуляра, опущенного на эту линию из каждой снимаемой точки контура, применяя известный прием глазомерного построения прямого угла. Съемщик останавливается в подходящей точке на линии *АБ* и разводит руки в стороны: одну в направлении на точку *А*, а другую — на точку *Б.* Далее одновременным движением рук он соединяет их перед собой (на высоте плеч) и замечает указанное ими направление — оно и будет перпендикуляром к линии *АБ.*

Расстояние от опорной точки *А* до оснований соответствующих перпендикуляров (точек *К, О*, *И*, *Е*, *Р)* съемщик определяет шагами, а величину самого перпендикуляра — на глаз. Этот способ применяют при нанесении предметов, расположенных недалеко от ходовой (опорной) линии, по которой идет съемщик.

После нанесения контура местности на планшет (рис. 39, *б*) все вспомогательные линии и точки стираются, а снятые предметы и ситуация обозначаются соответствующими условными знаками (рис. 39, *в*).

Для получения отдельных предметов, хорошо видимых с нескольких направлений, можно использовать способ угловых засечек.

С опорных точек или с точек, определенных на ходовых линиях, визируют (засекают) на намеченные местные предметы. При наличии не менее трех засечек в их пересечении, вообще говоря, получится не точка, а треугольник — треугольник погрешностей. Определяемую точку надлежит наметить внутри него. Различные способы засечек описаны выше (стр. 86) и представлены на рис. 36.

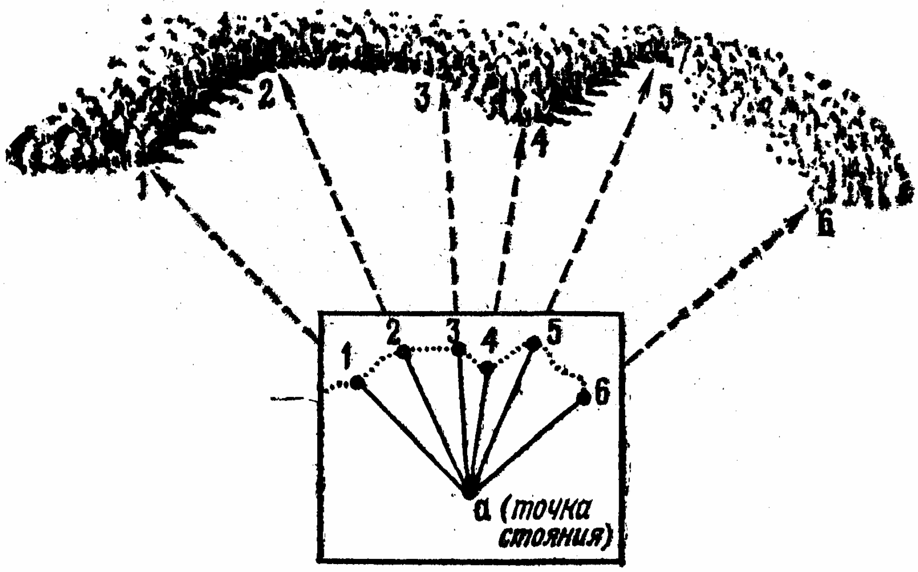


Рис. 38 – Круговое визирование

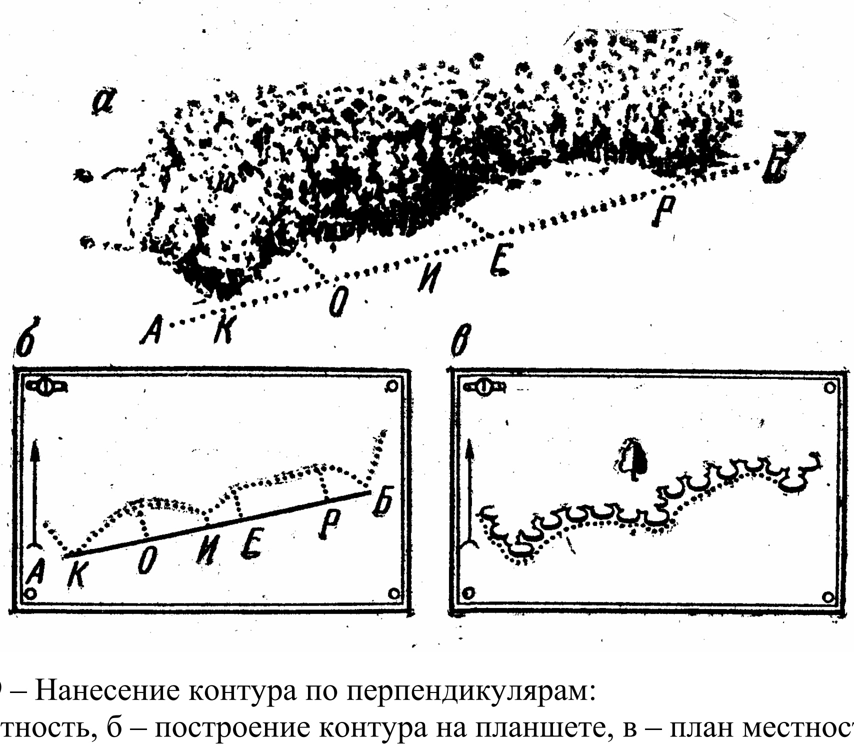


Рис. 39 – Нанесение контура по перпендикулярам:
а – местность, б – построение контура на планшете, в – план местности

В открытой местности, на которой имеются высокие предметы (различные вышки, отдельные деревья, здания и т. п.), видимые со всех сторон, широкое применение при глазомерной съемке находит метод створов (стр. 67).

Различные случаи использования створов на примере съемки участка показаны на рис. 37.

Идя по ходовым линиям *АБ*, *БВ*, *ВГ*, *ГД* и *ДА* и считая шаги, съемщик любую точку этих створов может фиксировать одним отсчетом. Этот отсчет соответствует расстоянию до данной створной точки от начальной точки каждой линии, т. е. соответственно от точек *А*, *Б*, *В*, *Г* и *Д*. Так, посадку вдоль железной дороги съемщик наносит на план при помощи отсчетов 960 и 1070 м по линии *АБ* и отсчетов 10 и 115 м по линии *ВГ*. Нанеся эти точки на планшет и соединив их попарно прямыми линиями, он получает контур посадки. Водонапорный бак (на который и было произведено визирование из точки *А*) — точка *Б′* будет получена продолжением створа *АБ* за точку *Б* и измерением отрезка линии *ББ′*, равного 240 м. Тем же методом — продолжением створов *АБ* и *ГВ* — можно получить и ось колеи железной дороги.

Тригонометрический пункт, расположенный в центре снимаемого участка, можно определить пересечением двух створов. Передвигаясь по линии *ВГ*, съемщик замечает, что из точки, которой соответствует отсчет 640 м (коротко: «точка 640»), этот пункт точно проектируется на отдельно стоящее дерево в точке *А*. Следовательно, отложив на плане от точки *В* в сторону *Г* отрезок, равный 640 м, и соединив его конец с точкой *А* плана, съемщик получит линию, на которой должен располагаться определяемый тригонометрический пункт. Второй створ он определяет отсчетом 510 м по линии *ГД* и точкой *Б′* — водонапорным баком.

Стены здания, секция забора, прямолинейная посадка деревьев и т. п. являются створами. Как указывалось выше, эти створы можно фиксировать на местности двумя отсчетами, которые достаточны для построения створа на плане. Так, на рис. 37 контур сада, имеющий вид четырехугольника, определяется восемью отсчетами: 220 и 820 м по линии *АБ*; 340 и 970 м по линии *ВГ*; 570 и 1110 м по линии *ГД* и 420 и 960 м по линии *ДА*.

Для нанесения на план отдельно стоящего дома (см. рис. 37) намечен створ: точка 780 на линии *ВГ* и пункт триангуляции. Кроме того, оценено расстояние (450 м) от первой из этих точек до дома.

Ручей Быстрый нанесен на план по двум створным точкам: 540 на линии *АБ* и 640 на линии *ДА,* а также по двум створам, проходящим через эти точки. Первый из них — точка 540 — пункт триангуляции, а второй — точка 640 — западный угол сада. Таким образом, точка, ранее определенная методом створов, используется для определения последующих точек.

В заключение подчеркнем, что при глазомерной съемке подробности (ситуацию) наносят на план способами кругового визирования, перпендикуляров, угловых засечек и створов. Как рекомендовалось раньше, эти способы следует комбинировать, определяя основные контурные точки и предметы двумя способами.

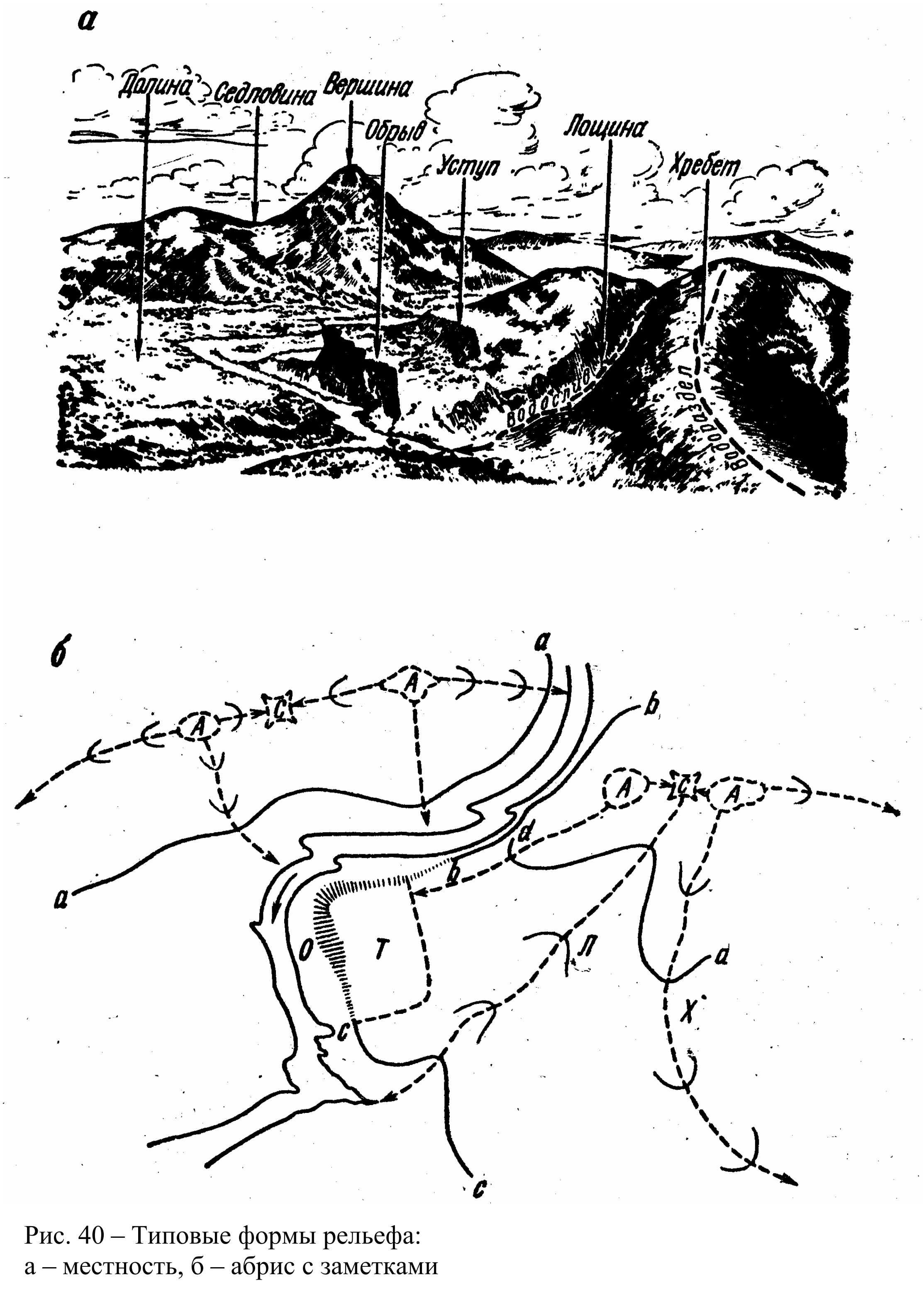


Рис. 40 – Типовые формы рельефа:
а – местность, б – абрис с заметками

Обычно контуры предметов сразу не вычерчивают, так как с течением съемки их вид и положение уточняются. Когда предмет находится впереди съемщика, то его положение он набрасывает на планшет в общих чертах; когда съемщик поравнялся с предметом (находится, перед ним), то его положение и форму он уточняет; наконец, когда предмет остается позади, то съемщик окончательно вырисовывает его на плане.

СЪЕМКА РЕЛЬЕФА. При выполнении глазомерной съемки (маршрутной и площадной) съемщик часто имеет задачу изобразить на плане не только ситуацию (контура), но и рельеф местности. Съемка рельефа производится одновременно со съемкой ситуации и выполняется теми же способами.

Первоначально на плане делают заметки (наброски), которыми при отделке плана пользуются для проведения на нем горизонталей. Этими заметками прежде всего вырисовывают: вершины *А*, седловины *С*, обрывы *О*, лощины *Л*, хребты *Х*, террасы *Т* и т. д. (рис. 40, *а* и *б*).

Затем для выражения направления скатов и их форм проводят короткие отрезки горизонталей и стрелки, а также самые низкие горизонтали, например, *a*, *b*, *c*, *d*,... Кроме того, для характеристики степени крутизны покатости подписывают в разных местах стрелок (указывающих направление ската) углы наклона. Эти углы определяют или простейшими эклиметрами, или прямо на глаз.

Наконец, пользуясь сделанными заметками (см. рис. 40, *б*), съемщик приступает к проведению на плане горизонталей. Надо иметь в виду, что эти горизонтали нельзя рассматривать как сечения рельефа местности равноотстоящими друг от друга горизонтальными плоскостями — они не более как вспомогательные кривые линии, выражающие характер неровностей местности. Иначе говоря, горизонтали на плане глазомерной съемки являются лишь качественными показателями рельефа, но не количественной характеристикой его.

Горизонтали нужно проводить перпендикулярно к назначенным стрелкам, указывающим направление ската (бергштрихам), и параллельно отрезкам горизонталей. Расстояния между горизонталями следует согласовывать с надписанными углами наклона: эти расстояния нужно увеличивать с уменьшением угла наклона и, наоборот, уменьшать — с увеличением угла наклона.

Для повышения точности проведение горизонталей нужно выполнять на местности, а не дома. Конечно, горизонтали можно назначать на местности непосредственно, без предварительного изображения рельефа заметками, но это требует от съемщика большего навыка.

Если съемку подробностей (ситуации и рельефа) производят одновременно с проложением основного хода, то увязка последнего вызовет перерисовку всего плана.

В этом случае, пользуясь полученным новым положением ходовой линии, передвигают соответственно все снятые с них объекты.

Вычерчивать план при этом нужно частями: некоторый участок плана съемщик стирает резинкой, но след от карандаша остается. Пользуясь этим следом, он чертит подобное изображение относительно нового положения ходовой линии. Возможно и предварительное копирование стираемого участка на кальку (восковку) с последующим перенесением (передавливанием) изображения на новое место.

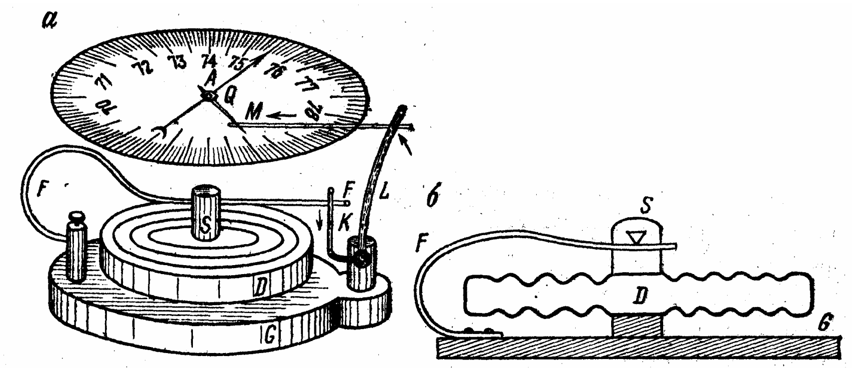


Рис. 41 – Анероид:
а – общий вид механизма,
б – схема вертикального разреза

Для более точного изображения рельефа при глазомерной съемке часто применяют барометрическое нивелирование (§ 6). При этом давление атмосферы измеряют анероидами.

АНЕРОИД. Устройство анероида основано на изменении высоты тонкостенного, пустого внутри сосуда вследствие перемены давления наружного воздуха. Обычно сосуд имеет вид коробочки — безвоздушной капсулы *D* (рис. 41, *а* и *б*). При увеличении давления воздуха сосуд сжимается, а при уменьшении — расширяется. Для придания верхней поверхности капсулы наибольшей чувствительности — подвижности площадь ее увеличивают за счет волнообразной изогнутости (см. рис. 41, *б*).

Существуют различные анероиды, которые различаются видом капсулы и механизмов, передающих движение ее поверхности указателю, по которому делают отсчеты на шкале анероида.

Принцип работы анероида можно понять из рассмотрения рис. 41: безвоздушная коробка *D* закреплена на дне *G* коробки анероида и имеет сверху колонку *S*, под штифтом (носиком) которой проходит пружина *F*. Чтобы тонкие стенки коробки *D* выдерживали бы давление наружного воздуха, служит упругая пружина *F*, уравновешивающая давление воздуха и не позволяющая коробке сплющиться. Колебание коробки *D* передается через пружину *F* и систему рычагов стрелке *A*.

Путем введения ряда поправок показания (отсчет) анероида переводятся на показания ртутного барометра. Затем определяют разности высот точек. При этом показания барометра, сделанные в разное: время, следует привести на определенный момент, учитывая изменение давления воздуха (атмосферы).

Если имеется только один анероид, то для получения одновременных (синхронных) отсчетов нужно после измерений в точках *Л*, *Б*, *В*, *Г*, ... вновь повторить отсчет в точке *А*. Расхождение между первым и вторым отсчетами в точке *А* следует считать обусловленным изменением атмосферного давления.

Для облегчения вычислений составлены специальные таблицы барометрических ступеней высот. Методы барометрического нивелирования рассматриваются в специальной литературе, а также описаны во многих курсах по геодезии.

Таблица 7

№ точек поворота	Время		Скорость, м/мин	Расстояние, м	Азимут
	отсчет	отрезок			
31	$8^ч31^м$				
32	8 43	12	66,6	800	68°
33	9 03	20	83,3	1667	73

ЛОДОЧНАЯ СЪЕМКА. Глазомерную съемку иногда производят с лодки, например в малонаселенных северных районах страны, где основные сообщения и летом, и зимой связаны с реками. При этой съемке применяют метод ходовой линии с некоторыми характерными особенностями.

Результаты промеров по ходу обычно фиксируют в журнале (табл. 7), а результаты съемки подробностей вычеркивают сначала схематично в виде абриса.

После точного нанесения хода (по данным журнала) абрис используют для построения плана в заданном масштабе.

Обычно буссоль (компас) закрепляют на носу лодки так, чтобы нулевой диаметр (юг — север) совпал с продольной осью лодки. Если оцифровка делений буссоли (компаса) возрастает против хода часовой стрелки, то отсчет по северному концу магнитной стрелки будет непосредственно давать азимут пути лодки.

В каждой точке поворота фиксируют время. Длину прямого отрезка ходовой линии определяют как произведение отрезка времени на среднюю скорость. Скорость движения выверяют на отдельных участках, а в пути оценивают на глаз.

При лодочной съемке самое важное — определение протяженности и направления снимаемого контура реки. Это достигается, с одной стороны, тщательной передачей на планшет расстояний и направлений хода, а с другой стороны — уменьшением числа изломов хода (числа поворотных точек). Ниже излагаются некоторые приемы, направленные к повышению точности.

Пусть река, по которой прокладывают ход, делает поворот или извилину (рис. 42), причем из точки *Б* — начала поворота видна точка *В* — конец поворота. Прочертив на планшете или записав в

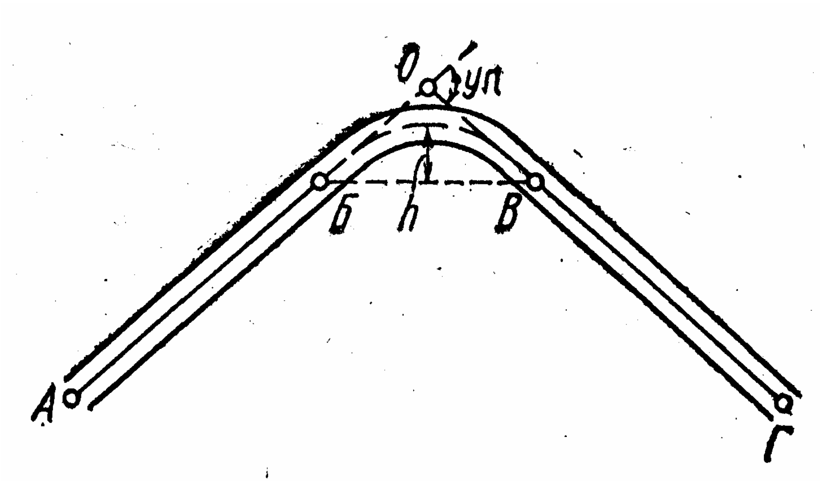


Рис. 42 – Определение изгиба (угла поворота) реки

журнале направление *БВ*, съемщик в пути оценивает на глаз «стрелу прогиба» — отрезок h (см. рис. 42) и длину кривой *БВ*. Предполагая, что данная кривая есть дуга круга, можно перейти от дуги *БВ* к хорде *БВ*. Для облегчения этого перехода приводится табл. 8.

Таблица 8

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,2	2,7
10	2,7	3,2	3,8	4,5	5,2	6,0	6,8	7,7	8,6	9,6	10,7
20	11	12	13	14	15	17	18	19	21	22	24
30	24	26	27	29	31	33	35	37	39	41	43

В этой таблице по заданной «стреле прогиба», выраженной в процентах к измеренной длине кривой, дается поправка в последнюю (также в процентах).

Пример. Пусть съемщик измерил по реке длину кривой, равную 1360 м, и оценил стрелу прогиба в 200 м, или 200 × 100 : 1360 ≈ 15%.

Во второй строке таблицы, соответствующей значениям от 10 до 20%, под цифрой 5 находим, что поправка равна 6%, или 1360 × 6 : 100 ≈ 80 м.

Таким образом, длина хорды (прямого отрезка, соединяющего конечные точки кривой) будет 1360 – 80 = 1280 м.

Если стрела прогиба составляет менее 10%, то практически ею можно пренебречь, т. е. считать, что измеренная кривая имеет ту же длину, что и соответствующая хорда.

Допустим, что река делает крутой поворот (см. рис. 42), причем из точки *Б* (начала поворота) не видна точка *В* (конец поворота). Тогда съемщик, сделав отсчет времени в точке *Б*, не снимает показания буссоли (компаса), а продолжает плыть до точки *В*. Достигнув точки *Б*, из которой можно наметить прямой отрезок в направлении на точку *Г*, съемщик определяет угол поворота — *УП* как разность азимутов направлений *ВГ* и *АБ*, например: азимут *АВ* = 63° и азимут *ВГ* = 121°, откуда *УП* = 121° – 63° = 58°.

Зная величину угла поворота, можно определить положение его вершины — точки *О*. Расстояние от точки *Б* до точки *О* равно половине длины пути от *Б* до *В* (по кривой) плюс поправка. Для определения величины поправки служит табл. 9.

Таблица 9

УП	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
20	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2
30	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
40	4,3	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
50	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,5	8,8	9,1	9,5	9,9
60	10,3	10,6	11,1	11,5	11,9	12,3	12,8	13,2	13,7	14,1
70	14,6	15,1	15,6	16,2	16,7	17,2	17,8	18,4	19,0	19,6
80	20,2	20,8	21,5	22,1	22,8	23,5	24,2	24,9	25,7	26,5
90	27,3	28,1	29,0	29,8	30,7	31,6	32,5	33,5	34,5	35,5

В табл. 9 поправки даны в процентах к измеренному расстоянию.

Пример. Пусть угол поворота *УП* равен 58°, а измеренная длина дуги *БВ* = 1620 м. Расстояние от точки *Б* до *О* равно половине этой длины, т. е. 810 м плюс поправка, которая (см. табл. 9) равна 9,5%, или 810 × 9,5 : 100 ≈ 77 м. Таким образом, *БО* = *ОВ* = 810 + 77 = 887 м. Отложив это направление на продолжении линий *АБ*, найдем точку *О*. Затем от направления *АБ* построим угол *УП* = 58° и отложим на найденном направлении отрезок *ОВ* = 887 м. Тем самым будет определена точка *В*, после чего съемка пойдет обычным порядком.

§ 10. Приближенное определение азимута

Часто возникает необходимость отнести все направления снимаемого участка к истинному (географическому) меридиану, иначе говоря, ориентировать план относительно интенсивного меридиана.

Для этого следует узнать величину склонения магнитной стрелки. Склонение стрелки определится, если в данной точке на земной поверхности будет известно или направление географического меридиана, или истинный азимут какой-либо линии, проходящей через данную точку. В этом случае в данной точке устанавливают компас (буссоль) и направляют его визирное приспособление (диаметр «север — юг») по истинному меридиану или по той линии, истинный азимут которой известен.

В первом случае склонение магнитной стрелки определятся непосредственно отсчетом по северному концу стрелки, а во втором — как разность между данным истинным азимутом и прочитанным по стрелке компаса магнитным азимутом (или румбом).

Существует много способов определения направления истинного меридиана. Мы рассмотрим лишь два простейших способа, основанных на наблюдении небесных светил днем и ночью.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕРИДИАНА ПО СОЛНЦУ. Для глазомерной съемки небольшого участка земной поверхности достаточно определить направление полуденной линии, т. е. линии, лежащей в горизонтальной плоскости и идущей с юга на север, графически с помощью тени, падающей от вертикального стержня или так называемого гномона (рис. 43, *а*).

На открытой местности, часов в 8 утра, устанавливают горизонтально по выверенному уровню доску — планшет (рис. 43, *б*) с наклеенным на ней белым листом бумаги. При этом так его ориентируют (по компасу), чтобы одна диагональ *SN* планшета примерно совпадала с направлением «юг — север», а вторая *WO* — с направлением «восток — запад».

Недалеко от -южного угла S планшета устанавливают гномон (или втыкают вертикально шпильку длиной 10 — 20 см) и намечают точку *А* (см. рис. 43, *б*), в которую точно должна попасть метка гномона, иначе говоря, вертикальная линия, проходящая через выходное отверстие *а* гномона. Из точки *А* как из центра на бумаге описывают ряд (3 – 5) концентрических окружностей.

Плоскость истинного меридиана точки наблюдения делит дуги видимого суточного движения звезд над горизонтом на две равные и симметричные части. С небольшой ошибкой то же можно допустить и для Солнца. Следовательно, допуская, что Солнце движется в течение дня равномерно, можно утверждать, что гномон в моменты, равностоящие от полудня (до его наступления, а также после

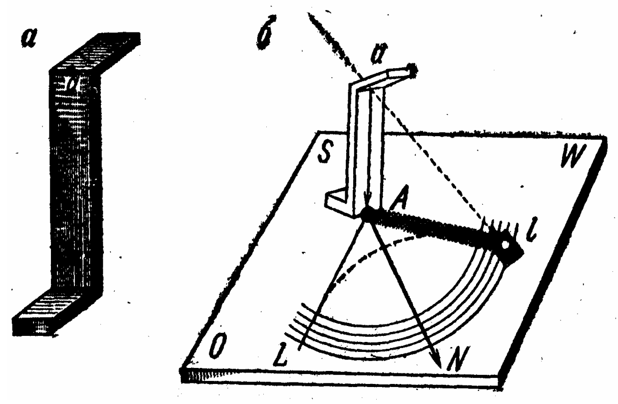


Рис. 43 – Определение направления меридиана по Солнцу:
а – гномон, б – планшет с полуденной линией

его наступления, например в 8 ч утра или в 4 ч дня), будет отбрасывать на бумагу тени равной длины и симметрично расположенные относительно полуденной линии. Солнце в эти моменты будет находиться хотя и в разных частях неба, но на одной и той же высоте над горизонтом.

Солнечный луч, проходящий через отверстие *а* (см. рис. 43, *б*) гномона, будет оставлять светлое пятно *l* в отброшенной им тени, а потому, отмечая последовательно уколом острия тонко очиненного карандаша центр этого пятна и очерчивая кружочками уколы, легко получить на бумаге кривую *lL*, соответствующую ходу солнечного луча за время наблюдений (на рис. 43, *б* эта кривая показана пунктиром). Чем выше будет подниматься Солнце, тем ближе укол ляжет к основанию гномона.

Очевидно, соединив прямыми линиями точку *A* с точками *l* и *L*, лежащими на пересечении пунктирной линии с одной и той же окружностью, получим горизонтальные проекции двух вертикальных плоскостей, расположенных симметрично к западу и востоку относительно плоскости меридиана. Именно в этих вертикальных плоскостях находилось Солнце на равных высотах до и после полудня, например в 8 ч утра и в 4 (16) ч дня. Из изложенного следует, что линия *AN*, делящая угол пополам, есть горизонтальная проекция географического меридиана, т. е. *полуденная линия.*

Если на прочерченных окружностях будет отмечено несколько (3 – 5) пар точек *l* и L, то и направлений *AN*, делящих углы *lAL* пополам, будет то же число. В принципе все они должны совпадать, но фактически будет получено не одно, а несколько направлений, и нужно выбрать за окончательное среднее из них. По величине отклонения отдельных направлений AN от этого среднего можно судить о точности определения направления истинного меридиана на планшете.

Практически удобнее наметить сразу одно среднее направление. Для этого соединяют хордой отметки, сделанные на каждой из окружностей, и делят хорды пополам, отмечая их середины точками N_1, N_2, N_3, ... Затем через точку A проводят прямую AN так, чтобы она возможно ближе проходила от точек N_1, N_2, N_3, ... Считают, что эта прямая при тщательной работе будет соответствовать направлению истинного меридиана с точностью от $^1/_4$ до $^1/_2$°.

Важным условием получения достаточной точности является сохранение неизменной ориентировки планшета. Это проверяют так. До начала работы наблюдатель прикладывает линейку к планшету и, визируя на хорошо видимый отдаленный предмет, прочерчивает на него направление. По завершению работы наблюдатель проверяет ориентировку на этот же предмет. Если ориентировка сохранена, то полученное направление на планшете истинного меридиана нужно перенести на местность.

По линии AN втыкают отвесно две иглы, используя хорошо выверенный прямоугольный треугольник, и по ним выставляют в обе стороны по вехе. Выставленные вехи дадут на местности направление истинного (географического) меридиана.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕРИДИАНА ПО ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЕ. Глядя на небо в ясную ночь, нам представляется, что все небесные тела расположены на сфере — «небесной сфере», в центре которой находится наблюдатель. При этом фактическое движение Земли вокруг своей оси с запада на восток вызывает кажущееся вращение небесной сферы, в противоположном направлении. Небесная сфера кажется вращающейся с востока на запад вокруг оси, параллельной земной оси и называемой «осью мира». Ось мира пересекает небесную сферу в двух точках — полюсах мира P_N и P_S (рис.44).

В связи с бесконечно большой величиной радиуса небесной сферы наблюдателю, находящемуся в любой точке O поверхности земли, направление OP будет представляться параллельным оси мира. Это направление образует с горизонтальной плоскостью (с горизонтом точки О) угол φ, равный географической широте точки наблюдения. Иначе говоря, полюс мира P_N виден под углом наклона, равным широте φ точки наблюдения (см. рис. 44).

Точка P_N как полюс небесной сферы должна казаться наблюдателю неподвижной, а все точки, расположенные вблизи нее, будут описывать вследствие суточного движения Земли малые параллельные круги.

Известно, что Полярная звезда удалена от полюса мира в угловом расстоянии, равном 1°, или приблизительно двум лунным или солнечным диаметрам.

В связи с этим Полярная звезда вследствие суточного движения описывает малый параллельный круг с радиусом приблизительно около 1°. Таким образом, в течение суток

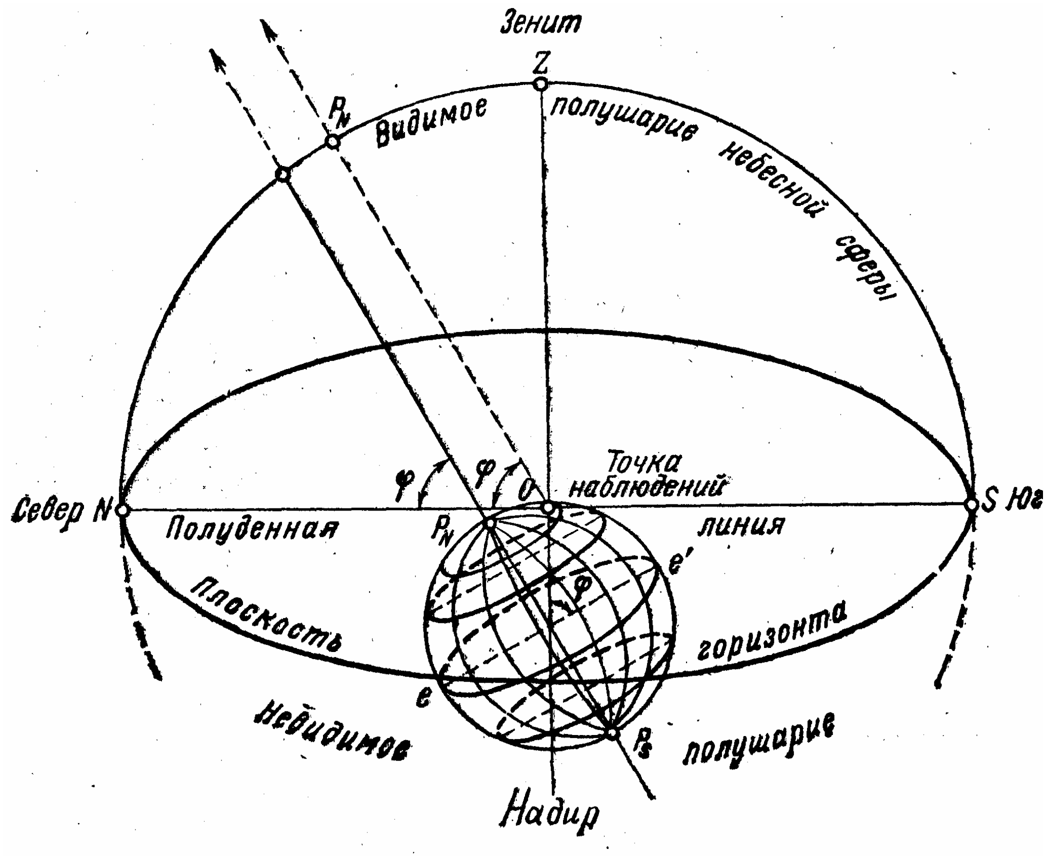


Рис. 44 – Воображаемая небесная сфера

высота и азимут Полярной звезды не остаются постоянными, а меняются, хотя и в небольших пределах.

Можно по конфигурации Полярной и других близполюсных звезд наметить место северного полюса мира на небесной сфере. Рекомендуется (рис 45) мысленно провести дугу большого круга небесной сферы, проходящую в середине между двумя крайними звездами в ковше Большой Медведицы (η и ζ Ursae Majoris) и Полярную звезду, тогда северный полюс P_N мира будет лежать на этой дуге* в угловом расстоянии от Полярной, равном 1°.

---

* Последняя на рис. 45 показана пунктирной прямой. Другая пунктирная прямая проведена через две первые звезды (α, β) этого же созвездия и поясняет способ нахождения Полярной звезды: если расстояние между этими двумя звездами принять за 1, то Полярная звезда расположена в 5 таких единицах от первой из них.

Для фиксирования на местности направления на полюс мира или направления географического меридиана с места наблюдения нужно построить створ из двух вертикально поставленных вех.

Считается, что точность определения направления меридиана по этому методу будет около 10′.

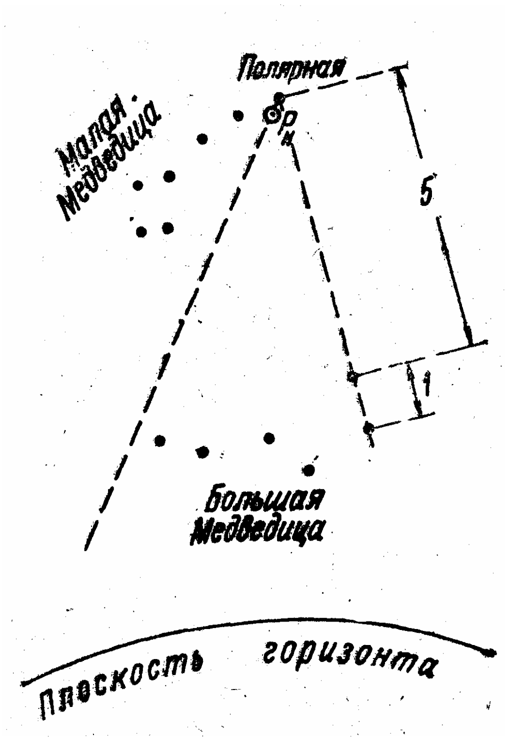
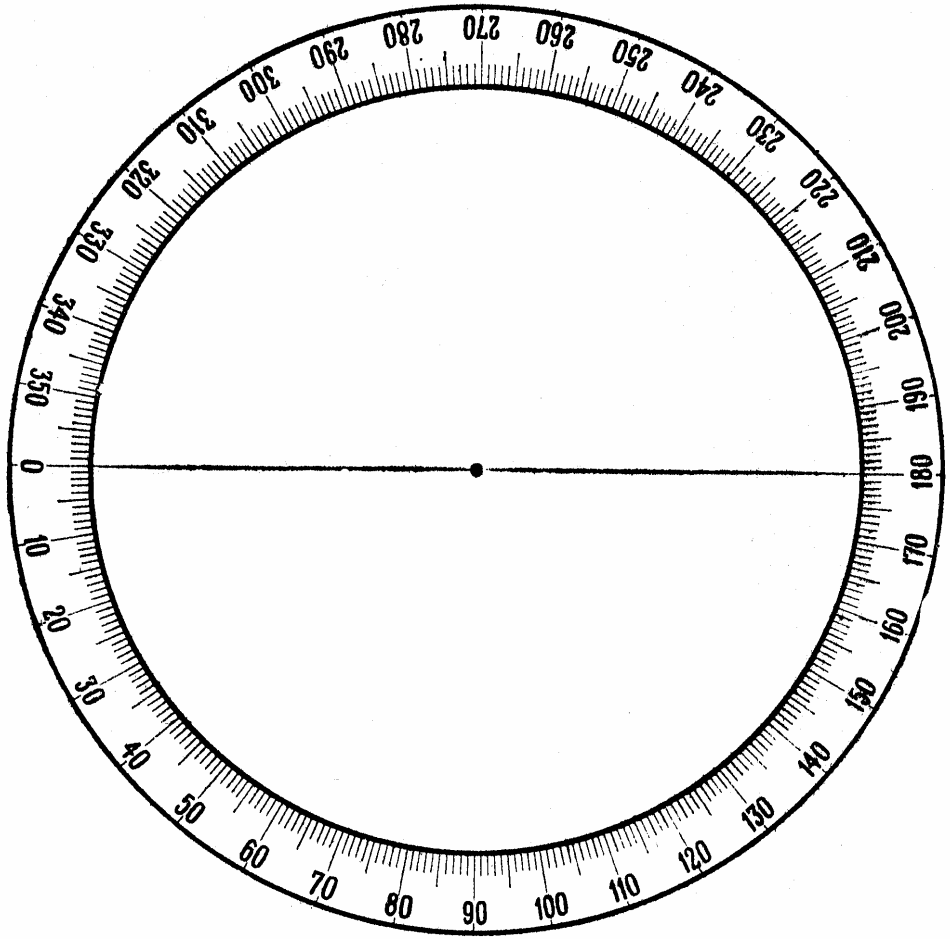


Рис. 45 – Положение Полярной звезды относительно созвездий Большой Медведицы и Малой Медведицы

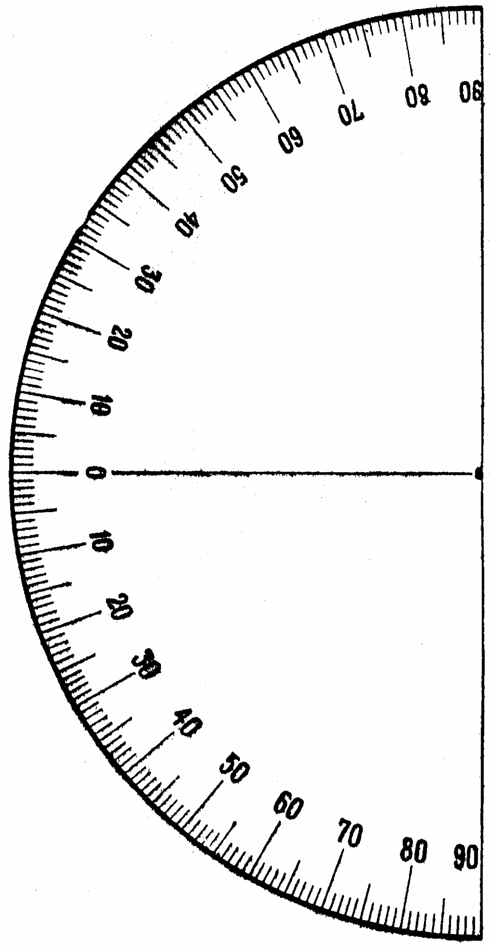
Более точные приемы определения направления истинного меридиана данного места на земной поверхности основаны на наблюдении небесных светил угломерным прибором, снабженным вертикальным кругом и точными уровнями. Эти приемы описываются в специальной литературе, а также в курсах геодезии и практической (полевой) астрономии.

Приложение 2

КРУГИ ДЛЯ САМОДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



Лимб для астролябии



Полукруг для эклиметра

Содержание

Приложение 1

Таблица хорд

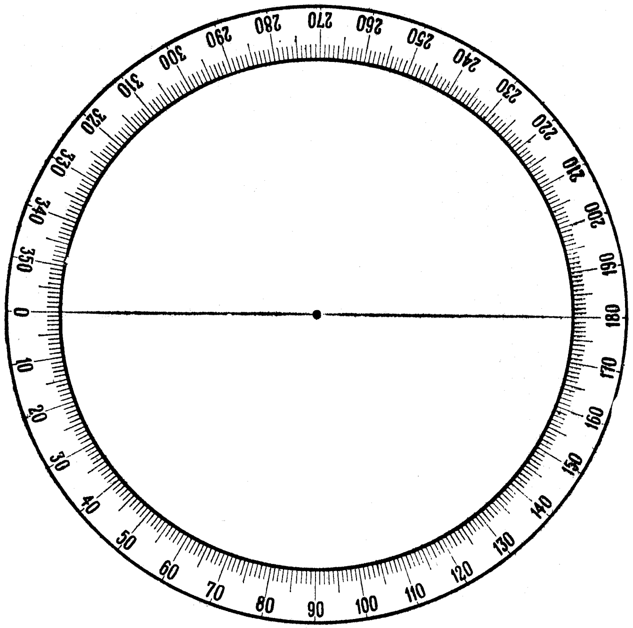
Углы	0´	10´	20´	30´	40´	50´	60´
0°	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17
1	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35
2	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0 49	0,52
3	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70
4	0,70	0,73	0,76	0,79	0,81	0,84	0,87
5°	0,87	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05
6	1,05	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,22
7	1,22	1,25	1,28	1,31	1,34	1,37	1,40
8	1,40	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,57
9	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,71	1,74
10°	1,74	1,77	1,80	1,83	1,86	1,89	1,92
11	1,92	1,95	1,97	2,00	2,03	2,06	2,09
12	2,09	2,12	2,15	2,18	2,21	2,24	2,26
13	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,41	2,44
14	2,44	2,47	2,50	2,52	2,55	2,58	2,61
15°	2,61	2,64	2,67	2,70	2,73	2,75	2,78
16	2,78	2,81	2,84	2,87	2,90	2,93	2,96
17	2,96	2,98	3,01	3,04	3,07	3,10	3,13
18	3,13	3,16	3,19	3,21	3,24	3,27	3,30
19	3,30	3,33	3,36	3,39	3,42	3,44	3,47
20°	3,47	3,50	3,53	3,56	3,59	3,62	3,64
21	3,64	3,67	3,70	3,73	3,76	3,79	3,82
22	3,82	3,84	3,87	3,90	3,93	3,96	3,99
23	3,99	4,02	4,04	4,07	4,10	4,13	4,16
24	4,16	4,19	4,22	4,24	4,27	4,30	4,33
25°	4,33	4,36	4,39	4,41	4,44	4,47	4,50
26	4,50	4,53	4,56	4,58	4,61	4,64	4,67
27	4,67	4,70	4,73	4,75	4,78	4,81	4,84
28	4,84	4,87	4,89	4,92	4,95	4,98	5,01
29	5,01	5,04	5,06	5,09	5,12	5,15	5,18

Углы	0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′
30°	5,18	5,20	5,23	5,26	5,29	5,32	5,34
31	5,34	5,37	5,40	5,43	5,46	5,48	5,51
32	5,51	5,54	5,57	5,60	5,62	5,65	5,68
33	5,68	5,71	5,74	5,76	5,79	5,82	5,85
34	5,85	5,88	5,90	5,93	5,96	5,99	6,01
35°	6,01	6,04	6,07	6,10	6,12	6,15	6,18
36	6,18	6,21	6,24	6,26	6,29	6,32	6,35
37	6,35	6,37	6,40	6,43	6,46	6,48	6,51
38	6,51	6,54	6,57	6,59	6,62	6,65	6,68
39	6,68	6,70	6,73	6,76	6,79	6,81	6,84
40°	6,84	6,87	6,90	6,92	6,95	6,98	7,00
41	7,00	7,03	7,06	7,09	7,11	7,14	7,17
42	7,17	7,19	7,22	7,25	7,28	7,30	7,33
43	7,33	7,36	7,38	7,41	7,44	7,47	7,49
44	7,49	7,52	7,55	7,57	7,60	7,63	7,65
45°	7,65	7,68	7,71	7,73	7,76	7,79	7,81
46	7,81	7,84	7,87	7,89	7,92	7,95	7,97
47	7,97	8,00	8,03	8,05	8,08	8,11	8,13
48	8,13	8,16	8,19	8,21	8,24	8,27	8,29
49	8,29	8,32	8,35	8,37	8,40	8,43	8,45
50°	8,45	8,48	8,51	8,53	8,56	8,58	8,61
51	8,61	8,64	8,66	8,69	8,72	8,74	8,77
52	8,77	8,79	8,82	8,85	8,87	8,90	8,92
53	8,92	8,95	8,98	9,00	9,03	9,05	9,08
54	9,08	9,11	9,13	9,16	9,18	9,21	9,23
55°	9,23	9,26	9,29	9,31	9,34	9,36	9,39
56	9,39	9,42	9,44	9,47	9,49	9,52	9,54
57	9,54	9,57	9,59	9,62	9,65	9,67	9,70
58	9,70	9,72	9,75	9,77	9,80	9,82	9,85
59	9,85	9,87	9,90	9,92	9,95	9,97	10,00

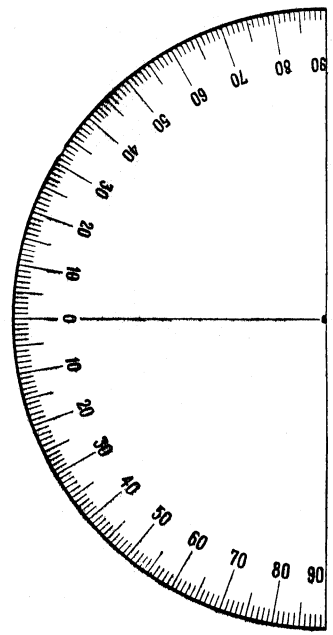
Углы	0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′
60°	10,00	10,03	10,05	10,08	10,10	10,13	10,15
61	10,15	10,18	10,20	10,23	10,25	10,28	10,30
62	10,30	10,33	10,35	10,38	10,40	10,43	10,45
63	10,45	10,47	10,50	10,52	10,55	10,57	10,60
64	10,60	10,62	10,65	10,67	10,70	10,72	10,75
65°	10,75	10,77	10,80	10,82	10,84	10,87	10,89
66	10,89	10,92	10,94	10,97	10,99	11,01	11,04
67	11,04	11,06	11,09	11,11	11,14	11,16	11,18
68	11,18	11,21	11,23	11,26	11,28	11,30	11,33
69	11,33	11,35	11,38	11,40	11,42	11,45	11,47
70°	11,47	11,50	11,52	11,54	11,57	11,59	11,61
71	11,61	11,64	11,66	11,68	11,71	11,73	11,75
72	11,75	11,78	11,80	11,83	11,85	11,87	11,90
73	11,90	11,92	11,94	11,97	11,99	12,01	12,04
74	12,04	12,06	12,08	12,11	12,13	12,15	12,18
75°	12,18	12,20	12,22	12,24	12,27	12,29	12,31
76	12,31	12,34	12,36	12,38	12,40	12,43	12,45
77	12,45	12,47	12,50	12,52	12,54	12,56	12,59
78	12,59	12,61	12,63	12,65	12,68	12,70	12,72
79	12,72	12,74	12,77	12,79	12,81	12,83	12,86
80°	12,86	12,88	12,90	12,92	12,94	12,97	12,99
81	12,99	13,01	13,03	13,06	13,08	13,10	13,12
82	13,12	13,14	13,17	13,19	13,21	13,23	13,25
83	13,25	13,27	13,30	13,32	13,34	13,36	13,38
84	13,38	13,40	13,43	13,45	13,47	13,49	13,51
85°	13,51	13,53	13,55	13,58	13,60	13,62	13,64
86	13,64	13,66	13,68	43,70	13,72	13,75	13,77
87	13,77	13,79	13,81	13,83	13,85	13,87	13,89
88	13,89	13,91	13,93	13,96	13,98	14,00	14,02
89	14,02	14,04	14,06	14,08	14,10	14,12	14,14

Приложение 2

КРУГИ ДЛЯ САМОДЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



Лимб для астролябии



Полукруг для эклиметра