

## **Лекция №1.1**

**Предмет геодезии. Сведения о фигуре Земли. Определение предмета геодезии и его основные задачи.**

**Изображение земной поверхности на картах и планах Современное представление о фигуре Земли: физическая и уровенная поверхности, геоид. Изображение земной поверхности на сфере и плоскости. Понятие о системах координат, применяемых в геодезии.**

**Ориентирование линий. Высоты точек земной поверхности.**

**Карта, план и профиль местности. Масштабы: численный, линейный и поперечный. Определение по карте координат точек местности, азимутов, дирекционных углов и румбов направлений. Изображение местности на картах и планах.**

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

Зарождение лесоустройств и лесных съемок в нашей стране относится к началу 18 века. В инструкции указа Петра 1 предписано было делить лесные массивы на хозяйственные единицы, снимать и описывать их. Имелись в виду ценные для строительства русского флота и продажи за границу корабельные леса.

Первая печатная карта лесов появилась в 1851 году. К 1916 году были описаны леса на площади 141 млн га. Леса подвергались неоправданному уничтожению и в 1916 году профессор Орлов М. М. высказал мысль о повышении точности лесных съемок и привязке их к геодезической основе.

Широкий размах лесоустройство получило после гражданской войны, а в середине 20х годов начаты аэрофотосъемки. Они позволили к 1945 году привести в известность 400 млн га лесов главным образом в Сибири. В 1945-1955 гг при помощи аэрофотосъемки было изучено 894,4 млн га леса и в 1956 г издана первая карта лесов СССР.

В настоящее время развивается новое направление в изучении и картографировании лесов - космические съемки.

В нашей стране учтен и обследован весь лесной фонд, занимающий площадь 1,2 млрд га и имеющий запас 82 млрд м<sup>3</sup> древесины.

***Задачи геодезии подразделяются на научные и научно-технические.***

Главной научной задачей геодезии является определение формы в размеров Земли и, ее внешнего гравитационного поля. Наряду с этим геодезия играет большую роль в решении многих других научных задач, связанных с изучением Земли.

Научно-технические и практические задачи геодезии чрезвычайно разнообразны; с существенными обобщениями они заключаются в следующем:

— определение положения отдельных точек земной поверхности в выбранной системе координат;

— составление карт и планов местности разнообразного назначения;

— выполнение измерений на земной поверхности (и под землей), необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, сельскохозяйственного производства, эксплуатации природных богатств поверхности Земли и ее недр;

— обеспечение геодезическими данными нужд обороны страны. Таким образом, в настоящее время геодезию можно определить как науку, изучающую фигуру и гравитационное поле Земли и планет Солнечной системы, расположение объектов на земной поверхности и формы ее рельефа и занимающуюся измерениями в натуре, необходимыми для решения многочисленных и разнообразных производственно-технических, народнохозяйственных задач и обеспечения нужд обороны страны.

*Геодезия подразделяется на ряд научных и научно-технических дисциплин.*

**Высшая геодезия**, основные задачи которой — изучение фигуры Земли и ее внешнего гравитационного поля, а также точное определение координат точек земной поверхности в единой системе. К этой области геодезии можно отнести и изучение фигур планет Солнечной системы и их гравитационных полей.

**Геодезия (топография)** рассматривает способы изучения в деталях земной поверхности и отображения ее на картах и планах. Топография занимается изучением твердой поверхности Земли— суши; изучение океанов морей, их берегов и дна составляет предмет гидрографии.

Топографические работы на значительных территориях производятся с использованием воздушных и наземных фотографических снимков земной поверхности (фототопография).

Методы фотограмметрии позволяют по фотоснимкам определять взаимное положение любых точек сфотографированных объектов и, в частности, сооружений.

Фотографирование Земли с искусственных спутников позволяет обработать в короткие сроки разнообразные данные и сведения о земной поверхности на огромных по площади территориях.

**Инженерная геодезия** разрабатывает методы геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений, установке и монтаже специального оборудования, с целью разработки, использования и эксплуатации природных богатств.

**Картография** разрабатывает методы составления, издания и пути использования различных карт и планов. В России в 1822 году создан корпус военных топографов, а в 1835 – межевой институт (МИИГАиК)

Большое внимание необходимо уделять тщательному и неуклонному выполнению правил техники безопасности. Эти правила, различающиеся в зависимости от вида геодезических работ, определяются соответствующими обязательными инструкциями. Методы решения научных и практических задач геодезии основываются на законах математики и физики.

Задача изучения фигуры Земли и ее гравитационного поля решается на основе законов механики. На основе математики производится обработка результатов измерений, позволяющая получать с наибольшей достоверностью значения искомых величин.

Сведения из физики, особенно ее разделов — оптики, электроники и радиотехники, необходимы для разработки геодезических приборов и правильной их эксплуатации.

Геодезия связана с астрономией, геологией, геофизикой, геоморфологией, географией и другими науками. Например, сведения по астрономии необходимы для разработки и применения астрономических способов определения координат точек земной поверхности; наоборот, диаметр Земли, определяемый средствами геодезии, используется астрономией в качестве единицы длины при определении расстояний между светилами Солнечной системы. Геоморфология — наука о происхождении и развитии рельефа земной поверхности — необходима геодезии для правильного изображения форм рельефа на планах и картах. Трудно переоценить значение топографических карт. Они являются основой для отображения результатов научных исследований и практической деятельности в области геологии,

геофизики, географии, геоморфологии и других наук о Земле. Топографические карты необходимы для государственного планирования и размещения производительных сил, проектирования инженерных сооружений, при разведке и эксплуатации природных богатств, градостроительстве, организации сельскохозяйственного производства, при выполнении мелиоративных работ, землеустройстве, лесоустройстве и т.д.

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

**Лесная съемка** — специализированная топографическая съемка, выполняемая для получения картографических материалов, характеризующих лесную растительность во взаимодействии с другими элементами местности. Она представляет собой одно из важнейших мероприятий по приведению лесов известность и является составной частью лесоустройства.

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

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

#### ***Изображение земной поверхности на картах и планах .***

Фигура Земли как планеты обусловлена воздействием многих процессов, связанных с ее образованием и существованием; решающее значение при этом оказывают силы взаимного тяготения и центробежная. Фигуру, которую приняла бы Земля, находясь в состоянии гидростатического равновесия и под влиянием только сил взаимного тяготения частиц и центробежной силы вращения около неизменной оси, называют **земным сфероидом**.

Говорить о форме Земли как о сфероиде, т. е. шаре, сплюснутом по направлению полюсов, можно лишь с большим обобщением.

Физическая поверхность Земли — поверхность материков и дна океанов и морей представляет собой сложную форму, напоминающую сфероид лишь в целом.

Для изучения физической поверхности Земли, а также для других целей вводится понятие — *уровенная поверхность*, — *поверхность, на которой потенциал силы тяжести Земли всюду имеет одно и то же значение*. С геометрической точки зрения уровенная поверхность — поверхность, в каждой точке которой нормаль к ней совпадает с направлением отвесной линии.

Уровенных поверхностей можно провести бесчисленное множество, и все они будут окружать (опоясывать) Землю, нигде не пересекаясь друг с другом. Фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками, получила название **геоид** (рис 1).

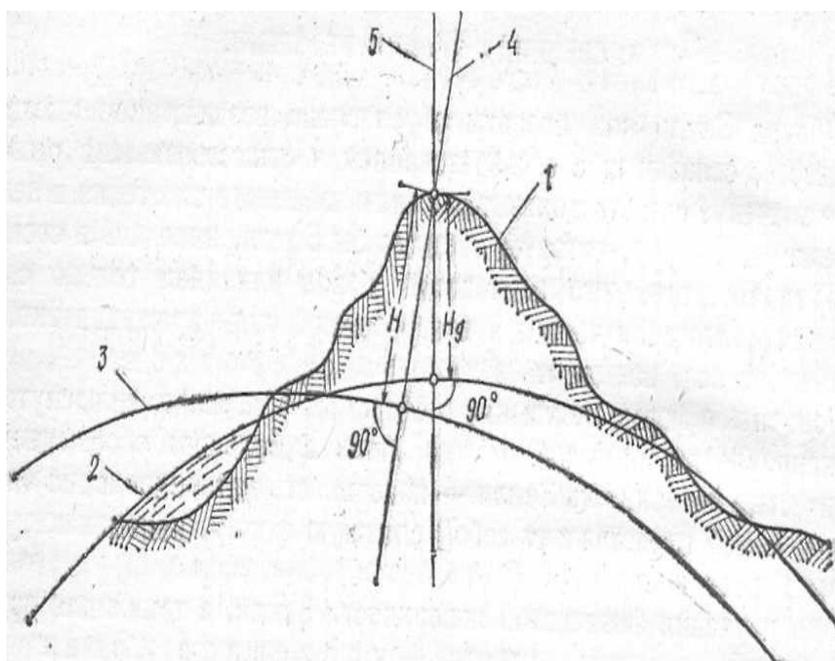


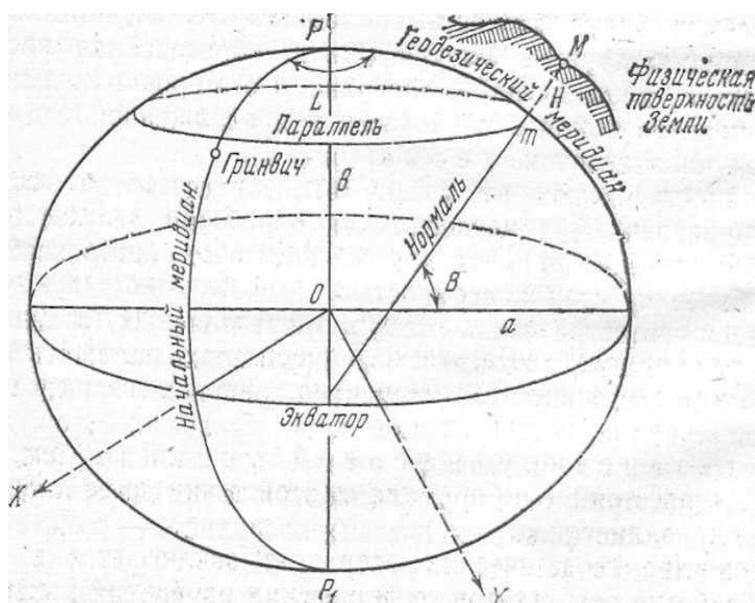
Рис. 1. Аппроксимация поверхности Земли:

1- физическая поверхность; 2- уровенная поверхность (поверхность геоида); 3- поверхность земного эллипсоида; 4- нормаль к поверхности земного эллипсоида; 5- направление отвесной линии.

Поверхность геоида не может быть, представлена достаточно простым уравнением и неудобна для обработки результатов геодезических измерений. Поэтому ее заменяют (аппроксимируют) другой, более простой поверхностью.

Из всех геометрических фигур, определяемых сравнительно простым уравнением, к геоиду ближе всего подходит сжатый эллипсоид вращения, т. е. тело, образованное вращением эллипса вокруг его малой оси (рис. 2). Эллипсоид, характеризующий

форму и размеры Земли вообще, называют земным эллипсоидом, а тот из них, который принят для обработки геодезических



измерений и установления системы геодезических координат, - **референц-эллипсоидом.**

Размеры земного эллипсоида определялись по результатам геодезических измерений много раз. В России размеры эллипсоида были получены в 1940г. выдающимся советским геодезистом Ф.Н.Красовским (1878—1948 гг.) и А. А. Изотовым по геодезическим данным наиболее обширным для, того времени.

Рис.2. Земной эллипсоид.

Эти размеры утверждены как обязательные для геодезических и картографических работ в нашей стране в 1946г. Постановлением Правительства СССР референц-эллипсоиду присвоено имя Ф. Н. Красовского.

Референц-эллипсоид Красовского имеет параметры:  $a=6\ 378\ 245$  м,  $b = (a - \alpha)/\alpha = 6\ 356\ 863$  м, где  $a$  и  $b$  - большая и малая полуоси эллипсоида;  $\alpha$  - полярное сжатие; Ориентирование референц-эллипсоида в теле Земли осуществляют при помощи так называемых исходных дат. При этом считают, что центр референц-эллипсоида совмещен с центром масс Земли, а его малая ось — с осью вращения Земли. По современным данным, отклонения эллипсоида Красовского от геоида не превышают 100—150 м.

В некоторых случаях при геодезических измерениях, выполняемых на довольно значительных участках поверхности Земли,

геоид аппроксимируют шаром (радиусой 6 371,11 км), эквивалентным по объему референц-эллипсоиду.

### ***Геодезическая система координат***

Координатными плоскостями, т. е. плоскостями, относительно которых определяют координаты точек пространства, являются плоскость экватора земного эллипсоида и плоскость меридиана, принятого за начальный (см. рис. 2).

**Плоскость экватора** проходит через центр эллипсоида  $O$  перпендикулярно его оси вращения  $PP_1$ ; плоскость, проходящая через нормаль к поверхности эллипсоида в данной точке  $M$  и параллельная его малой оси  $b$ , называется плоскостью меридиана этой точки. В качестве начального принят меридиан, плоскость которого проходит через центр Гринвичской обсерватории, находящейся вблизи Лондона.

**Геодезические координаты** — три величины, две из которых — геодезическая широта  $B$  и геодезическая долгота  $L$  — характеризуют направление нормали к поверхности земного эллипсоида в данной точке  $M$  пространства относительно координатных плоскостей, а третья является геодезической высотой  $H$  точки над поверхностью земного эллипсоида.

**Геодезическая широта ( $B$ )** — угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке  $M$  и плоскостью экватора. Счет широт идет в обе стороны от экватора от  $0$  до  $90^\circ$ , причем на север — со знаком плюс, на юг — со знаком минус.

**Геодезическая долгота ( $L$ )** — двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки  $M$  и начального геодезического меридиана. Счет долгот идет в направлении с запада на восток от  $0$  до  $360^\circ$ .

**Геодезической высотой точки ( $H$ )** (см. рис. 1) называется расстояние по нормали от этой точки до ее проекции на поверхность эллипсоида.

Достоинство геодезических координат заключается в возможности обработки результатов геодезических измерений в единой для всей поверхности Земли системе координат.

### ***Система прямоугольных пространственных координат.***

Начало прямоугольной системы координат  $X, Y, Z$  (см. рис. 2) находится в центре  $O$  земного эллипсоида, ось  $Z$  вдоль полярной оси, оси  $X, Y$  в плоскости экватора: первая — в плоскости начального меридиана, вторая — перпендикулярно к ней.

Эта система используется для определения положения внеземных объектов — ракет, искусственных спутников Земли и в ряде других случаев. Применения в инженерно-геодезических работах она пока не нашла.

### ***Местная система прямоугольных координат***

Небольшой участок уровенной поверхности Земли можно считать совпадающим с горизонтальной плоскостью, т. е. с плоскостью, перпендикулярной к отвесной линии, проходящей через данную точку. На горизонтальной плоскости в геодезии установлена система плоских прямоугольных координат  $X, Y$ . Вместной системе координат выбор направления осей носит произвольный характер. Обычно направление оси абсцисс совмещают с направлением на север местного меридиана. В строительстве часто за ось абсцисс принимают направление одной из главных осей строящегося объекта.

### ***Проекция Гаусса и плоские прямоугольные геодезические координаты***

Для целей крупномасштабного картографирования и инженерной геодезии наиболее удобны проекции, обеспечивающие сохранение подобного изображения фигур при переходе с эллипсоида на плоскость; возникающие при этом искажения достаточно малы и легко учитываются.

Этим требованиям отвечает принятая в России с 1928 г. поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса — Крюгера. Поверхность земной сферы разбивают меридианами на сферические двугольники — зоны (рис. 5), каждая из которых проектируется на внутреннюю поверхность цилиндра и касается его по среднему (осевому) меридиану 2; ось цилиндра 3 лежит в плоскости экватора. Разрезав цилиндр по образующей  $AA_1$  или  $BB_1$  и развернув его боковую поверхность, получим изображение земной поверхности на плоскости в виде отдельных зон, соприкасающихся одна с другой лишь в точках касания по экватору (рис. 6). При этом осевой меридиан и экватор изображаются взаимно перпендикулярными прямыми линиями, остальные меридианы — кривыми, а параллели — кривыми, симметричными относительно осевого меридиана и обращенными выпуклостью к экватору. Выбор размера зоны ( $6^\circ$  или  $3^\circ$ ) зависит от масштаба выполняемых в данном районе съемок. Так, при составлении карт в масштабах  $1 : 10\ 000$  и мельче применяют шести градусные зоны, для масштаба  $1 : 5000$  и крупнее — трехградусные. Шести градусные зоны нумеруются арабскими цифрами с запада на восток, начиная от Гринвичского меридиана. Долготу осевого меридиана шестиградусной зоны можно определить по формуле:

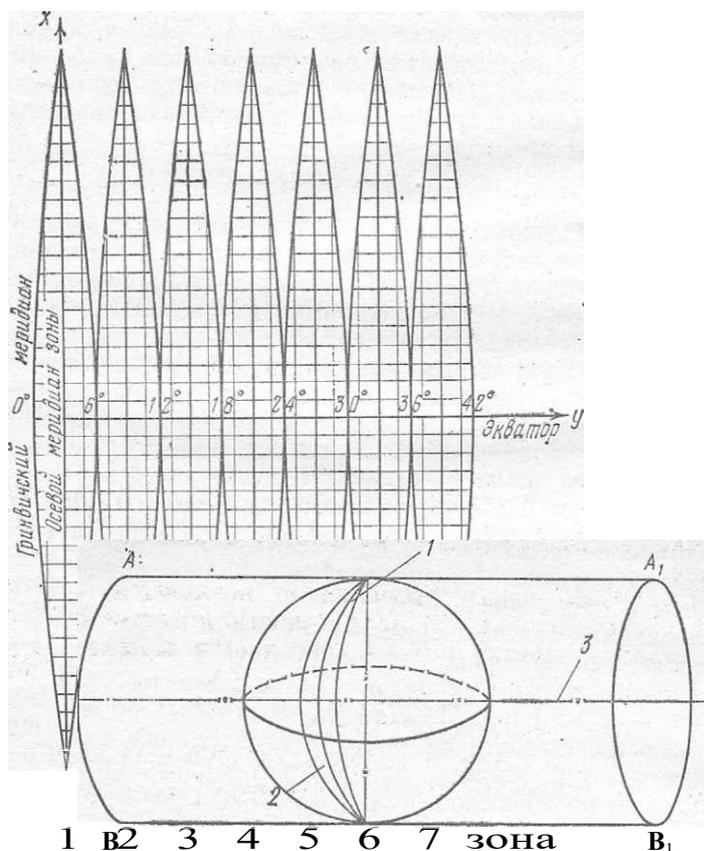
$$\lambda_0 = 6^\circ n - 3^\circ,$$

где  $n$  — номер зоны. Осевыми меридианами трехградусных зон

Рис.5. Схема построения поперечной цилиндрической проекции земного эллипсоида

являются крайние и осевые меридианы шестиградусных, а их долготы равны числу, кратному трем.

В каждой зоне задается своя система прямоугольных координат, в которой за ось абсцисс ( $x$ ) принимается изображение осевого меридиана, а за ось ординат ( $y$ ) — изображение экватора. Таким образом, координатами какой-либо точки зоны являются ее расстояния от экватора ( $x$ ) и от осевого меридиана ( $y$ ). Территория России расположена к северу от экватора, поэтому абсциссы точек местности в пределах нашей страны в рассматриваемой системе координат всегда положительны. Для того чтобы и ординаты были только положительны, точкам осевого меридиана условно приписывают значение  $y = 500\ 000$  м. Впереди измененной ординаты пишут номер зоны, в которой находится данная точка; такие ординаты называются преобразованными. Например, если точка расположена в зоне с номером 5 на расстоянии 46 344 м к западу от осевого меридиана, ее преобразованная ордината равна 5 453 656 м; если точка удалена на 145 876 м к востоку от того же осевого меридиана, то преобразованная ордината этой точки



запишется в виде  $y=5\ 615\ 876$  м.

Рис.6. Развертка шара на плоскость

### **Ориентирование линий. Измерение по карте дирекционных углов и азимутов**

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

**Азимуты** (рис. 7) отсчитывают от северных направлений меридианов по ходу часовой стрелки. Они могут иметь величину от 0 до  $360^\circ$ . Азимут, отсчитываемый от истинного (географического) меридиана, называют истинным  $A$ , от магнитного - магнитным  $A_m$ , от вертикальной линии сетки - дирекционным углом  $\alpha$

**Румбы** отсчитывают от ближайшего северного или южного направлений меридиана как по ходу, так и против часовой стрелки (рис.8). Величина румба не превышает  $90^\circ$ . Чтобы различить румбы направлений, расположенных в равных координатных четвертях, перед угловой величиной каждого записывают сокращенное название четверти. Как и азимуты, румбы бывают географическими и магнитными. Первые отсчитывают от географического, вторые - от магнитного меридианов. Румбы, отсчитываемые от вертикальной линии прямоугольной сетки, называют дирекционными.

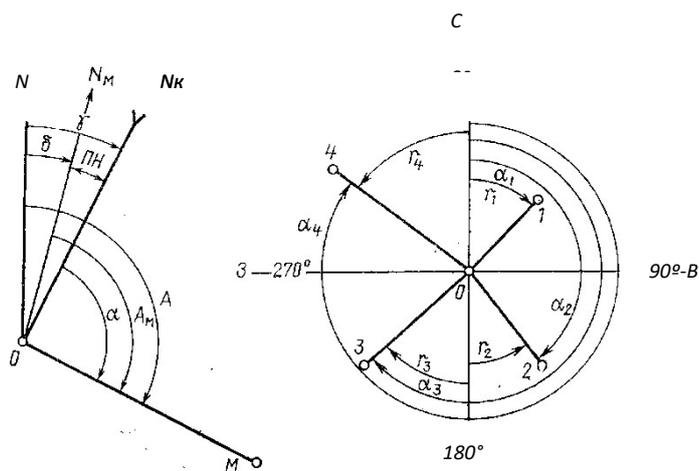


Рис. 7 1.13. Азимуты:

О - начало полярной системы координат; ОМ - направление на точку М местности; ON, ON<sub>М</sub> - истинный (географический) и магнитный меридианы; ON<sub>к</sub> - прямая, параллельная осевому меридиану зоны; А, А<sub>М</sub> - истинный и магнитный азимуты; α - дирекционный угол; γ - сближение меридианов; δ - магнитное склонение; ПН - поправка направления

Рис. 8 1.14. Румбы и их связь с азимутами:

О - начало полярной системы координат; СЮ - прямая, параллельная вертикальной линии прямоугольной сетки (направление север-юг); ВЗ - прямая, параллельная горизонтальной линии сетки (направление восток-запад); 1, 2, 3, 4 - точки местности; r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, r<sub>3</sub>, r<sub>4</sub> - румбы направлений соответственно 01, 02, 03, 04; α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>, α<sub>3</sub>, α<sub>4</sub> дирекционные углы тех же направлений

Зависимость между румбом и азимутом одного и того же направления приведена в табл.1

Таблица 1

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

Измерение по карте дирекционных углов. Соединив концы заданного направления прямой, измеряют угол транспортиром (рис.9). Дирекционный угол направления из точки 1 (мост) на точку 2 (дерево) - прямой, а из точки 2 на точку 1 - обратный; как видно из рис.9, второй отличается от первого на  $\pm 180^\circ$ . При построении на карте (плане) направления по заданному дирекционному углу через исходную точку проводят прямую, параллельную вертикальной линии сетки; от северного направления этой прямой транспортиром откладывают заданный угол.

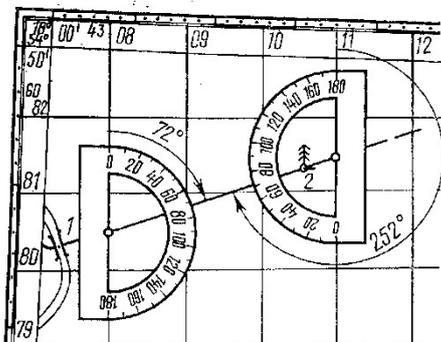


Рис.9. 1.15. Измерение дирекционных углов транспортиром на карте: 1 – мост; 2 – дерево

### **Определение по карте истинных азимутов.**

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

Сближение меридианов, показываемое на листе топографической карты, представляет собой угол  $\gamma$  (рис.10), образованный изображением географического меридиана точки и прямой, параллельной осевому меридиану зоны. Величина угла зависит от удаления точки от осевого меридиана и не превышает  $3^\circ$ . В точках, расположенных восточнее осевого меридиана, сближение имеет знак плюс, а западнее - минус. Между измеренным дирекционным углом и вычисляемым географическим азимутом (рис. 10) существует зависимость  $A = \alpha + \gamma$ . На карте указывают величину сближения меридианов в центральной точке данного листа. Но поскольку точность измерения углов транспортиром не выше  $\pm 15'$ , вполне допустимо относить указанную величину сближения к любой точке местности, изображенной на листе.

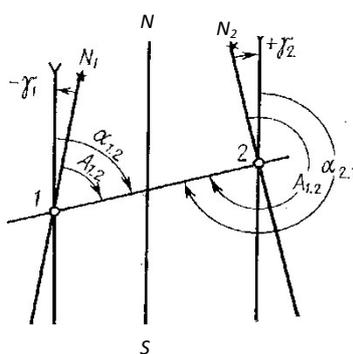


Рис.10 1.16 Зависимость между истинным азимутом и дирекционным углом:  
 $NS$  - осевой меридиан зоны;  $N1$  - меридиан точки 1;  $N2$  - меридиан точки 2;  $\gamma_1$  - сближение меридианов в точке 1;  $\gamma_2$  - сближение меридианов в точке 2;  $\alpha_{1,2}$  и  $\alpha_{2,1}$  - прямой и обратный дирекционные углы;  $A_{1,2}$  и  $A_{2,1}$  - прямой и обратный азимуты (истинные)

Определение по карте магнитных азимутов. Измеряют магнитные азимуты на местности приборами, имеющими магнитную стрелку (компас, буссоль). Она устанавливается в направлении магнитного меридиана – линии, проходящей через данную точку и магнитные полюсы Земли. Последние не совпадают с географическими. Вследствие этого магнитный и географический меридианы в общем случае пересекаются между собой, образуя угол  $\delta$ , называемый *магнитным склонением* (см. рис.7 1.13). Оно может быть восточным (положительным) или западным (отрицательным) в зависимости от направления отклонения магнитного меридиана от географического.

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

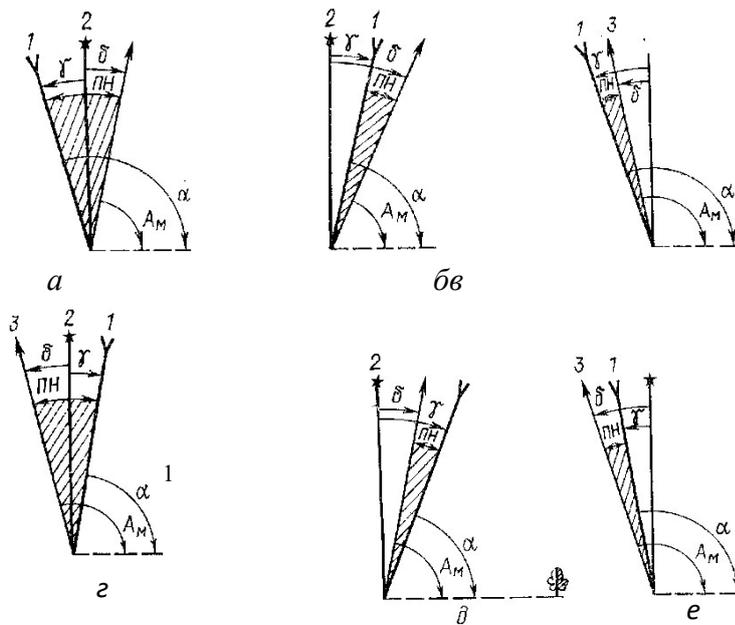


Рис.11. 1.17 Переход от дирекционного угла к магнитному азимуту и обратно: а,б,в,г,д,е – возможные случаи взаимного расположения вертикальной линии 1 прямоугольной сетки; истинного 2 и магнитного 3 меридианов;  $A_m$  – магнитный азимут;  $\alpha$  – дирекционный угол;  $\gamma$  – сближение меридианов;  $\delta$  – магнитное склонение; ПН – поправка направления

районах магнитных аномалий (Курская, Восточно-Сибирская и др.) вообще неприменим. Это надо учитывать при организации съемки местности.

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

Возможны 6 случаев взаимного расположения меридианов (истинного, магнитного и прямой, параллельной осевому меридиану) в точках северного полушария (рис.11. 1.17). При этом во всех случаях поправка направления равна алгебраической разности магнитного склонения и сближения меридианов, т. е.  $ПН = \delta - \gamma$ . Измерив на плане дирекционный угол какого-либо направления, находят его магнитный азимут  $A_m = \alpha - ПН$ , чтобы с использованием магнитной стрелки компаса построить это направление на местности. И наоборот, измерив на местности магнитный азимут направления, вычисляют его дирекционный угол  $\alpha = A_m + ПН$ , чтобы прочертить это направление на плане. Из этих соотношений вытекает важная формула:

$$ПН = \alpha - A_m,$$

Которой пользуются при съемке для определения поправки направления буссоли.

***Карта, план и профиль местности.***

Ортогональная проекция это изображение пространственного объекта на плоскости посредством проектирующих лучей, перпендикулярных к плоскости проектирования. В геодезии эту проекцию применяют с известным обобщением: точки физической поверхности Земли проектируют на поверхность эллипсоида лучами, направленными по нормали к последней.

**Планом** называют чертеж, на котором в уменьшенном и подобном виде изображена горизонтальная проекция небольшого участка земной поверхности. Величину участка, изображаемого планом, ограничивают такими размерами, за пределами которых ошибка за общую кривизну Земли начинает оказывать заметное влияние на точность составления плана и вместе с неизбежными ошибками полевых измерений и нанесения точек на бумагу будет выходить за пределы допусков, определяемых инструкциями. Принято считать, что план можно составлять на территорию, не превышающую площади круга с радиусом 11 км.

Если на плане изображена только ситуация, его называют контурным. Если кроме ситуации на план нанесен и рельеф, такой план называют топографическим. Масштаб плана во всех точках одинаковый.

**Картой** называют чертеж, на котором по определенным математическим правилам с учетом кривизны общей фигуры Земли может быть изображена поверхность всей Земли или любой ее части в обобщенном и уменьшенном виде.

Составляемые карты можно различать по содержанию: сельскохозяйственные, мелиоративные, экономические и т. д. - это так называемые специальные карты, на них показывают контуры и специальную нагрузку. Карты, на которых кроме контуров ситуации изображен рельеф земной поверхности, называют общегеографическими. Такие карты, составляемые в крупных масштабах (от 1:1 000 000 и крупнее, т.е. до 1:10000, 1:5000), называют топографическими, они служат основой для составления всех других карт. Теоретически масштаб во всех точках карты различен. Практически на топографических картах он всюду одинаков. Для обозначения предметов местности на карте разработаны условные знаки. Употребление одинаковых условных знаков обязательно для всех ведомств.

Вертикальный разрез поверхности Земли по заданному направлению называют **профилем**.

Длина ортогональной проекции линии на горизонтальную, плоскость называется **горизонтальным проложением**.

Отношение длины линии на плане, к длине горизонтального проложения этой линии на местности называется **численным масштабом** топографического плана. Его обычно, представляют в виде правильной дроби, числитель которой равен единице, а знаменатель — некоторому числу  $N$ , показывающему, во сколько раз расстояние на плане уменьшено по сравнению с соответствующим горизонтальным проложением линии местности АВ. Так, при  $ab = 5$  см и  $AB = 250$  м имеем

$$M = 1/N = 5/25000 = 1/5000.$$

При сравнении численных масштабов различных планов употребляют термины: «мельче» и «крупнее». Если знаменатель первого масштаба меньше знаменателя второго, то говорят, что первый масштаб крупнее второго, или второй масштаб мельче первого.

Для удобства численный масштаб часто записывают в виде **именованного масштаба**, например: «в 1 сантиметре 50 метров»

**Линейный масштаб** используют для измерения с небольшой точностью длин отрезков на плане. Он представляет собой прямую линию, разделенную на равные отрезки (рис. 10, б). Длина одного отрезка называется основанием масштаба. Она соответствует определенному числу метров на горизонтальном приложении. На рис. 10, б основание принято равным 2 см, что при численном масштабе 1 : 5000 соответствует 100 м на горизонтальном проложении. Левое крайнее основание линейного масштаба разделено на более мелкие деления.

**Поперечный масштаб** применяют для более точных измерений длин линий на планах (рис. 10, в). Его гравировать на специальных металлических линейках, называемых масштабными. Он позволяет измерять расстояния с точностью цены наименьшего деления. Она равна основанию  $l$  поперечного масштаба, деленному на произведение двух чисел  $mn$ , где  $n$  — число делений основания масштаба, а  $m$  — число линий, параллельных ему. Поперечный масштаб, в котором:  $l = 20$  мм,  $m = n = 10$ , называют нормальным; цена его наименьшего деления 0,2 мм. Действительно:  $AB = l = 20$  мм;  $DE = l : 10 = 2$  мм; далее

$de = DE \cdot Be / BE = 2 \cdot 1 / m = 0,2$  мм. Опытный специалист с помощью измерителя может откладывать и измерять расстояния с точностью до  $1/2$  цены наименьшего деления поперечного масштаба.

**Точность масштаба** топографического плана — длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на плане отрезку в 0,1 мм. Так, для плана масштаба 1/5000 точность масштаба будет  $0,1 \times 5000 = 0,5$  м.

**Масштабы планов различного назначения.** В России топографические планы создают обычно в масштабах: 1 : 10 000, 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 и 1 : 200. Применение

того или иного масштаба определяется назначением топографического плана, характером ситуации на местности и технико-экономическими показателями. Как правило, выбор масштаба топографического плана регламентируется обязательными для всех предприятий, организаций и учреждений Положениями, которые содержат наименования проектов или отдельных проектных решений и соответствующие им масштабы планов. Например, проекты и рабочую документацию малоэтажной застройки составляют на планах масштаба 1 : 1000, многоэтажной - на планах масштаба 1:500, для решения специальных архитектурных задач (составление проекта подземных сетей, проектов памятников и т. д.) требуются планы в масштабе 1 : 200.

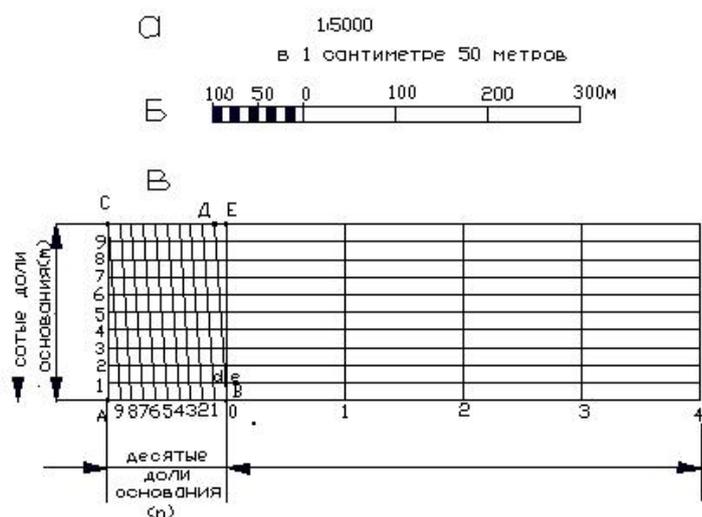


Рис.9. Масштабы : а) численный; б) линейный; в) поперечный

**Географические координаты** точек местности определяют по карте при помощи картографической сетки, представляющей собой изображение сетки параллелей и меридианов. На карте масштаба 1: 1 000 000 линии картографической сетки проведены с интервалом 1°, 1: 500 000 - 20' по широте и 30' по долготe. На картах более крупных масштабов линиями картографической сетки служат рамки листов (рис.1.4). Рядом с ними расположены минутные рамки с указанием выходов параллелей и меридианов через одну минуту. Сами минутные деления на этих картах, за исключением 1: 200 000, разбиты точками на 10-секундные отрезки. Подписи линий сетки помещены в углах рамок листов.

Измерение по карте географических координат точки сводится к проведению через нее параллели и меридиана и отсчету их широты и долготы на соответствующих сторонах минутной рамки. Уложив на листе карты линейку так, чтобы ее ребро

проходило через данную точку и одноименные деления на западной и восточной сторонах минутной рамки, отсчитывают по одной из них широту точки; аналогично, пользуясь северной и южной сторонами минутной рамки, отсчитывают ее долготу. На рис. 1.4 показано, что, действуя таким способом, определили географические координаты дома лесника: широту В северную  $54^{\circ}41'37''$ , долготу L восточную  $18^{\circ}06'13''$ . Для нанесения на карту объекта по его географическим координатам на ней находят точки пересечения параллели и меридиана данного объекта. Их проводят, соединив на западной и восточной сторонах минутной рамки метки с заданной широтой объекта, а на северной и южной - с долготой.

Важным элементом топографической карты (плана) является прямоугольная сетка. На все листы данной 6-градусной зоны сетку наносят в виде рядов линий, параллельных осевому меридиану и экватору. Интервалы между линиями на картах масштабов 1:200 000 - 1:50 000 составляют 2 см, 1:25 000 - 4 см, 1:10 000-10 см, что соответствует целому числу километров на местности (рис. 1.5). Поэтому прямоугольную сетку называют еще километровой, а ее линии километровыми. Километровые линии, ближайšie к углам рамки листа карты, подписывают полным числом километров, остальные - двумя последними цифрами. Надпись 6065 (см. рис. 1.5) на одной из горизонтальных линий означает, что эта линия удалена от экватора на 6065 км (к северу); надпись 4307 у вертикальной линии означает, что она находится в четвертой зоне и удалена от начала счета ординат к востоку на 307 км. Если около вертикальной километровой линии записано трехзначное число мелкими цифрами, две первые обозначают номер зоны.

На планах, составляемых в местной системе координат, вертикальные линии прямоугольной сетки проводят обычно параллельно одному из меридианов данного участка, а горизонтальные - перпендикулярно этому меридиану. Чаще всего расстояние (интервал) между соседними линиями сетки составляет 10 см. Пример: Надо определить по карте прямоугольные координаты точки местности, например моста М (см. рис. 1.5). Сначала записывают (в километрах) абсциссу южной стороны квадрата, в котором находится эта точка (т. е. 65). Затем измеряют в масштабе карты длину перпендикуляра MN (в метрах), опущенного из точки М на эту линию. Полученную величину (в данном случае 750 м) добавляют к абсциссе линии. Число 65750 м есть абсцисса x точки М. Ордината точки равна ординате западной стороны того же квадрата (в километрах), сложенной с длиной перпендикуляра MP, измеренного по карте (в метрах). Число 08660 есть ордината у той же точки.

В данном случае обозначение линий сетки записано не полностью, а лишь последними цифрами (65 и 08), поэтому приведенные выше координаты называют сокращенными. Если же оцифровку линий записывают полностью, получают полные координаты; для точки М это  $x=6\ 065\ 750$  м,  $y=4308660$  м. Полными координатами пользуются тогда, когда протяженность участка более 100 км.

Нанесение (накладку) на карту точки А по ее прямоугольным координатам  $x=60\ 66\ 650$ ,  $y=43\ 07\ 275$  выполняют следующим образом (см. рис. 1.5.). В записи координат находят двузначные числа, которыми сокращенно обозначены линии прямоугольной сетки; в данном примере это 66 и 07. По первому числу находят на карте горизонтальную линию сетки, по второму - вертикальную. Их пересечение образует юго-западный угол квадрата, в котором лежит искомая точка А. На восточной и западной сторонах квадрата откладывают от его южной стороны два равных отрезка, соответствующих в масштабе карты числу метров в абсциссе  $x$  (650). Концы отрезков соединяют прямой линией и на ней от западной стороны квадрата откладывают в масштабе карты отрезок, соответствующий числу метров в ординате  $y$  (275); конец этого отрезка является искомой точкой А.

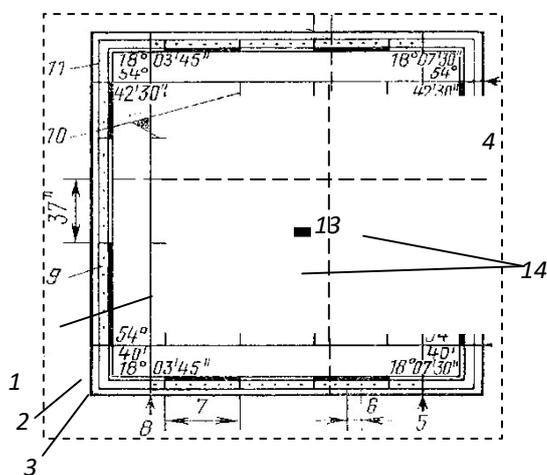


Рис. 1.4. Картографическая сетка и минутная рамка листа карты масштаба 1:10000 (пример определения географических координат по карте);

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

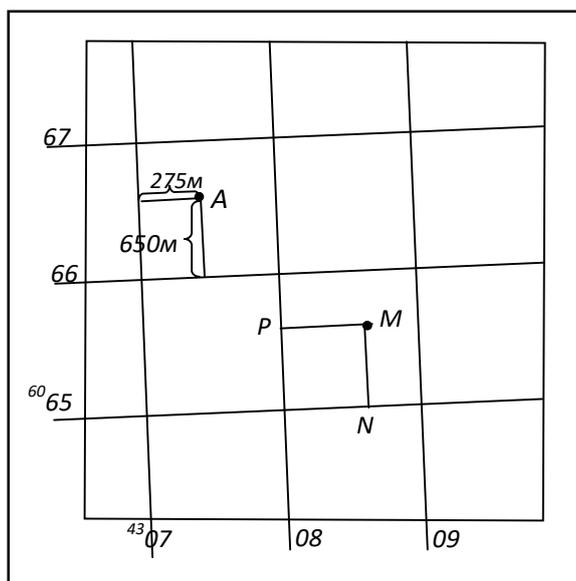


Рис. 1.5. Расположение и оцифровка линий прямоугольной сетки на листе карты масштаба 1:25000 – уменьшает фрагмент ( примеры определения прямоугольных координат по карте и нанесения на неё точек по их прямоугольным координатам):

*M* - точка изображенная на карте; *MN* и *MP* – перпендикуляры, опущенные на линии сетки при определении координат точки *M*; *A* – точка, нанесенная на карту по координатам

### ***Номенклатура топографических карт.***

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

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

В основу деления топографических карт на листы положена разграфка карты масштаба 1:1000000 (рис. 1.6). Ее трапеции ограничены параллелями через  $4^\circ$  и меридианами через  $6^\circ$ . Горизонтальные ряды (пояса) трапеций обозначены латинскими буквами А, В, С, ... , V, счет которых ведут в обе стороны от экватора (на рис. 1.6 пояса А-Г не показаны). Вертикальные ряды (колонны) обозначают арабскими цифрами (от 1 до 60) и считают от меридиана  $180^\circ$  в восточном направлении. Номенклатура листа карты 1:1000000 состоит из буквы, обозначающей номер пояса, и числа, соответствующего номеру колонны. Например, лист на район г. Москвы обозначается N-37. Размеры листов топографических карт более крупных масштабов установлены так, что каждому листу карты 1:1000000 соответствует целое их число. Поэтому номенклатура любого листа топографической карты

масштаба 1:500000 и' крупнее слагается из номенклатуры соответствующего листа карты 1:1000000 с добавлением к ней чисел или букв, указывающих расположение на нем данного листа.

Разграфка трапеции 1:1000000 на листы масштабов 1:500000, 1:200000 и 1:100000, а также система их обозначения показаны на рис. 1.7. Каждый лист карты масштаба 1:100000, 1:50000 и 1:25000 делят на 4 листа карты следующего за ним более крупного масштаба, т. е. 1:50000, 1:25000 и 1:10000 соответственно (рис. 1.8). Рамки планов масштаба 1:5000 нарезают делением листа 1:100000 на 256 частей. Листы этого масштаба обозначают номером листа карты масштаба 1:100000, к которому в скобках приписывают свой порядковый номер (рис. 1.8). Номенклатуру листа указывают над северной стороной его рамки, а рядом с ней - обычно название наиболее крупного населенного пункта (реки, хребта, урочища и пр.). Чтобы облегчить определение номенклатур листов, смежных с данным, их подписывают на всех четырех сторонах рамки.

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

лесоустроительные планшеты изготавливают на листах чертежной бумаги размером 60X60 см. Картографическое изображение располагают в квадрате со стороной 50 см. Рамки нарезают от магистральных ходов-просек шириной не менее 1 м, прорубаемых при первичном лесоустройстве примерно через середину устраиваемого массива с юга на север и с запада на восток. Для нумерации планшетов обычно применяют произвольную номенклатуру, т. е. каждому из них присваивают порядковый номер, счет ведут от северо-западного угла лесничества, Номера возрастают слева направо и сверху вниз. Над северной рамкой планшета крупным шрифтом пишут его номер, а со всех четырех сторон ее более мелким шрифтом - номера

соседних планшетов. На нижних полях планшетов или в отдельном приложении помещают схему лесничества с показом рамок и номеров планшетов.

План лесонасаждений размещают не более чем на четырех листах бумаги 596X836 мм. Если лесничество

состоит из разрозненных частей (массивов, кварталов, урочищ), расположенных на значительных расстояниях друг от друга, для компактности плана их изображают сближенными. Взаимное расположение частей в этом случае показывают на схеме произвольного масштаба, вычерченной на полях плана. План разрезают на форматки размером 19X28 см, которые с небольшими разрывами наклеивают на ткань.

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

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

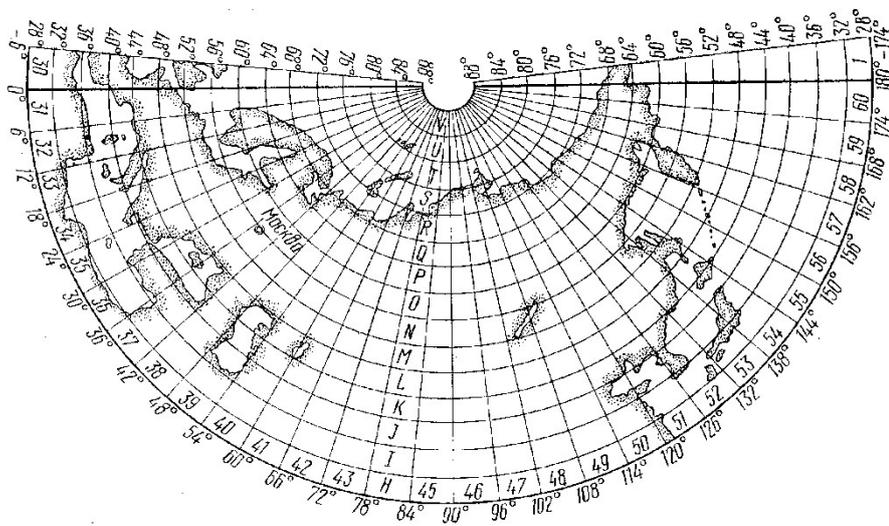


Рис.1.6. Схема разграфки карты масштаба 1:1000000

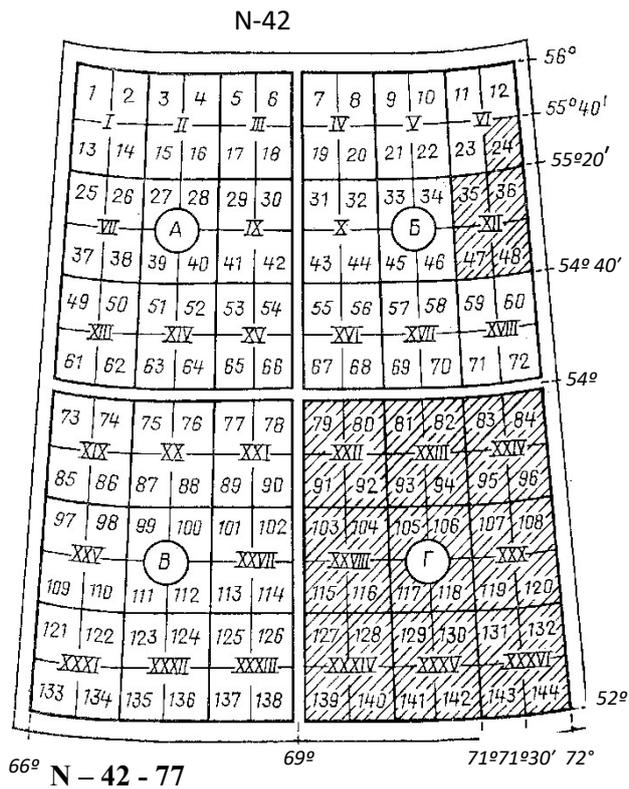


Рис. 1.7. Схема разграфки трапеции масштаба 1:1 000 000 на листы карт масштабов 1:500 000 – 1:100 000 и их обозначение : горизонтальные линии – параллели с указанием широты; вертикальные - меридианы с указанием долготы; листы А, Б, В, Г – масштаба 1:500 000, I – XXXVI – 1:200 000, 1 -144 – 1:100 000; номенклатуры заштрихованных листов :N – 42 – Г – масштаба 1:500000; N – 42 – XII 1:200 000; N – 42 – 24 1:100 000

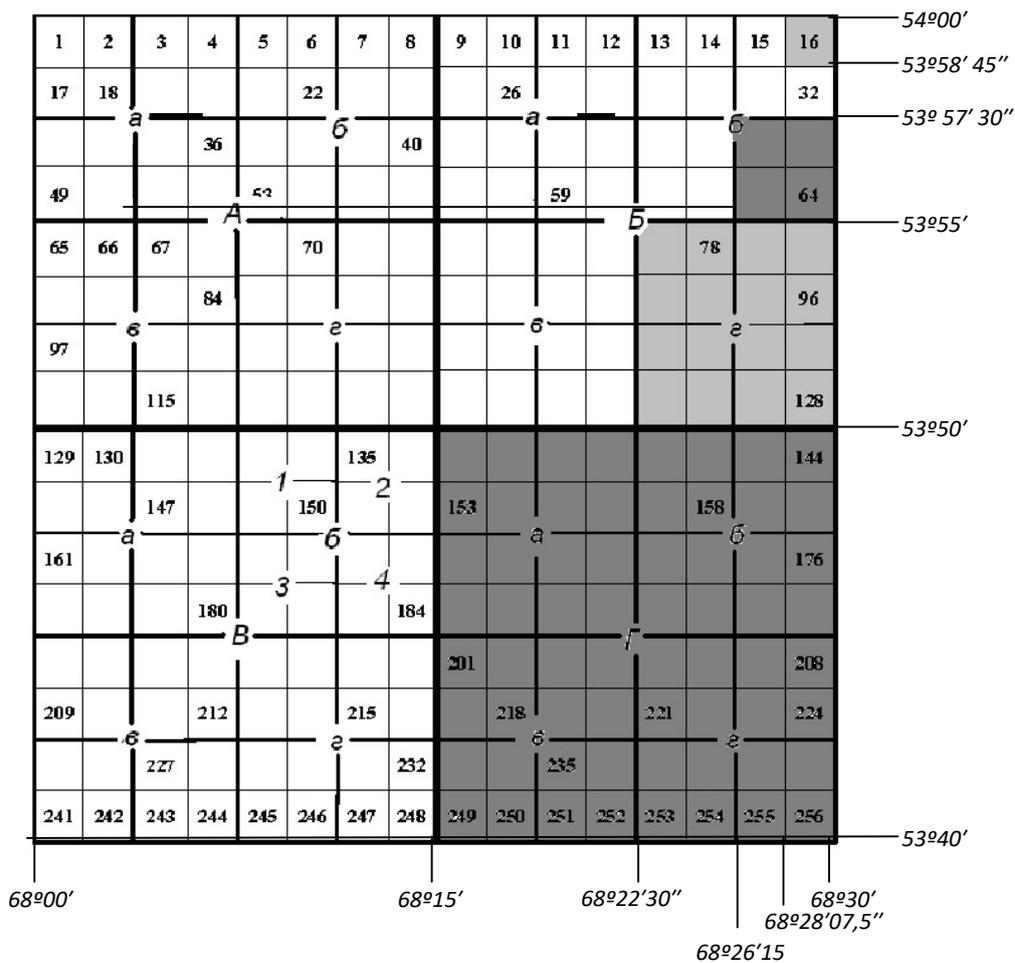


Рис. 1.8. Схема разграфки трапеции масштаба 1:100 000 на листы карт масштабов 1:50 000 – 1:5000 и их обозначение : горизонтальные линии – параллели с указанием широты; вертикальные - меридианы с указанием долготы; листы А, Б, В, Г – масштаба 1:50 000, а, б, в, г – 1:25 000, 1 - 4 – 1:10 000; 1 – 256 – 1:5 000; номенклатуры заштрихованных листов :N – 42 – 77 - Г – масштаба 1:50 000; N – 42 – 77 – Б – г - 1:25 000; N – 42 – 77 – Б – б – 4 - 1:10 000; N – 42 – 77 – 16 – 1:5 000.

### ***Изображение ситуации местности на топографических и лесных картах (планах)***

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

Первые применяют для изображения дорог, рек, линий связи и электропередачи, границ и ограждений, других объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты; вторые - для заполнения площадей объектов, выражающихся в масштабе карты (ими показывают количественные и качественные характеристики объектов); третьи - для изображения небольших объектов, площади которых нельзя выразить в масштабе карты. Истинные размеры последних объектов нельзя определить по карте, так как каждый из них изображается лишь точкой. Однако по рисунку знака определяют наименование группы предметов, к которой принадлежит объект, а по положению главной точки знака - истинное положение изображения центра объекта на карте.

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

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

Населенные пункты надписывают на картах разным шрифтом в зависимости от вида поселения (город, поселок городского или сельского типа), числа жителей и политико-административного значения. Чем крупнее населенный пункт, тем крупнее размер надписи. Под названием поселка сельского типа указывают число

дворов в нем, наличие сельского или районного совета (СС, РС). Положение любой постройки в населенном пункте можно определить по картам (планам) масштаба 1:10000 и крупнее. На картах более мелких масштабов точно показывают лишь угловые постройки в кварталах, а также выдающиеся здания и прочные дома. По картам масштабов 1:10000-1:50000 определяют огнестойкость построек. Условные знаки промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов в населенных пунктах и вне их сопровождаются надписями, указывающими род производства (кирп.- кирпичный завод, мук.- мельница, шах.- шахта и т. п.).

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

Леса изображают комплексом условных обозначений, состоящим из линейных знаков границ массивов, зеленой окраски лесопокрытых площадей, пояснительных подписей и значков. На картах показывают состав основных пород, среднюю высоту и диаметр стволов, расстояния между деревьями. Указанные характеристики относятся только к деревьям верхнего яруса, образующим полог, наблюдаемый по аэроснимкам. Если перед значком дерева записана одна порода, значит, к ней относится не менее 80 % деревьев насаждения; при указании двух пород первой записывают преобладающую в данном массиве. Знаком редколесья показывают совокупность деревьев при полноте насаждения 0,2. Если площадь редколесья не ограничена контуром, это означает, что на ней большое число отдельно стоящих деревьев. Знаком же отдельно стоящего дерева обозначают лишь стоящие изолированно и служащие ориентиром. Знак горелого леса ставят, если насаждение повреждено пожарами или погибло от лесных вредителей. Лесосечные участки с сохранившимися пнями и отдельными деревьями показывают знаком вырубki. Если на участке повалено более 50 % деревьев, применяют знак бурелома. Угнетенный древостой, высотой до 6 м, показывают как низкорослый (карликовый). На картах масштабов 1:10000-1:50000 показывают все просеки, указывают их ширину и номера кварталов; при более мелких масштабах часть просек может быть опущена.

На картах показывают скальные грунты и каменистые поверхности, а также разные типы песков, галечники, глинистые и щебеночные поверхности; дают сведения о положении болот, их проходимости пешеходами в меженное время года, глубине и характере растительности. Соответствующими условными знаками на картах и планах изображают границы административных районов, областей, а также разные ограждения - каменные, кирпичные, глинобитные стены и заборы,

металлические ограды. Линии связи и электропередач, наземные и подземные трубопроводы показывают с их техническими устройствами, количественными и качественными характеристиками'.

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

На лесоустроительные планшеты и планы лесонасаждений наносят с топографических карт и аэроснимков населенные пункты (внемасштабными условными знаками), реки, ручьи, каналы и водохранилища с их названиями, дороги, постоянные тропы (в малоосвоенных лесах), служебные строения, пожарные вышки, эстакады, верхние и нижние склады, лесные питомники, сады, пасеки и другие объекты, расположенные на землях гослесфонда, а также сведения о рельефе - горизонталями и другими условными знаками. Особыми знаками показывают хребтовые и водосливные линии рельефа, если по ним проходят границы кварталов и лесничеств.

На схематические карты лесных предприятий в дополнение к перечисленным выше данным переносят сведения о линиях связи,

железнодорожных станциях и пристанях, запанях, лесоперевалочных базах, путях сообщения общего пользования (без указания класса автодорог), мостах (основным условным знаком), лесовозных и лесохозяйственных дорог, границах административных районов.

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

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

На планах лесонасаждений характеристики выделов показывают в виде дроби, в числителе показывают номер

выдела, класс возраста; в знаменателе класс бонитета, класс товарности спелых и перестойных насаждений; для эксплуатационных лесов арабскими цифрами (1-5) указывают также группу запаса на 1 га. Для вырубок и гарей показывают дробью номера выделов и год вырубки или пала (числитель), класс бонитета произраставшего насаждения или главной породы и тип вырубки, обозначаемой шифром (знаменатель). На схематических картах лесхозов (леспромхозов) подписывают номера кварталов, указывают, к какому лесничеству и административному району относится та или иная территория. Качественные показатели насаждений передают красками различных цветов и тонов. Таблицей условных знаков для каждой породы установлен свой цвет: для сосны - оранжевый, лиственницы - коричневый, березы - голубой и т. д. Тоном окраски каждую преобладающую на участке породу подразделяют на четыре группы возраста: молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. Лесные культуры выделяют штрихами соответствующего цвета.

Описанный выше способ применяют для показа пород и групп возрастов на планах лесонасаждений, схематических картах лесных предприятий, картах лесов областей. Другие качественные показатели отображают раскраской площадей укрупненных

выделов на одноцветных копиях карт. Для лесхозов и других лесных предприятий изготавливают раскрашенные установленными цветами схематические карты эксплуатационных насаждений лесов II и III групп, противопожарных мероприятий, лесопатологического и санитарного состояния леса, типов леса и вырубок.

### ***Изображение рельефа местности на картах и планах.***

#### ***Изучение рельефа по карте***

Принципы изображения рельефа. Физическая поверхность Земли неровная. На ней имеются возвышения, углубления и сравнительно плоские участки. Совокупность этих неровностей составляет рельеф земной поверхности. Различают рельеф горный, холмистый, равнинный. Из всего многообразия отдельных форм неровностей земной поверхности выделяют основные формы рельефа: гору, котловину, хребет, лощину, седловину.

Гора–куполообразное или конусообразное возвышение с ясно выраженным основанием – подошвой

Котловина – замкнутое чашеобразное углубление.

Хребет – вытянутая возвышенность. Линию, идущую вдоль хребта и соединяющую наиболее возвышенные его точки, называют водораздельной линией.

Лощина – вытянутое понижение, имеющее с трех сторон пологие склоны с общим наклоном дна в одну сторону, благодаря чему имеется сток воды. Линию, по которой стекает вода называют водосливной или тальвегом. Лощины с пологими склонами называют долинами, балками; с крутыми – ущельями, оврагами.

Седловина - небольшая площадка, к которой с двух противоположных сторон подходят возвышенности, а в две другие стороны спускаются лощины.

На картах и планах рельеф изображают горизонталями, дополняя их в необходимых случаях другими условными знаками и цифровыми обозначениями. Горизонталь - линия равных высот на карте (рис.1.9). Здесь линия ABC расположена на уровне моря, все ее точки имеют высоту, равную нулю. Спроектировав их отвесными линиями на карту (плоскость P), получим нулевую горизонталь abc. Если представить, что уровень воды в море поднялся на высоту h, то будет получено новое сечение суши воображаемой поверхностью, параллельной прежнему уровню моря. Проектирование следа этого сечения на плоскость P дает изображение горизонтали def, все точки которой имеют высоту h. Таким же способом получают изображение других сечений на высоте 2h, 3h и т. д. В результате на карте будет изображен горизонталями рельеф суши.

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

На данном листе карты высота сечения является величиной постоянной, а заложение изменяется в зависимости от крутизны ската. В самом деле, на карте отрезок  $sk$  короче отрезка  $kd$ , так как на местности участок ската  $SK$  круче участка  $KD$ . Для топографических карт высоту сечения обычно устанавливают  $0,02$  см  $M$  ( $M$  - знаменатель масштаба карты), т.е.  $5m$  - на карте  $1:25000$ ;  $10m$  - на карте  $1:50000$ ,  $20m$  -  $1:100000$  и т.п. На топографических планах горизонтали проводят через  $0,5$  -  $1m$  по высоте.

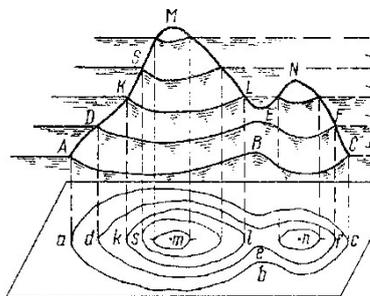


Рис.1.9. Принципиальная схема изображения рельефа горизонталями  $A, B, C, \dots, S$  - характерные точки рельефа;  $a, b, c, \dots, s$  их проекции на поверхность относимости  $P$ ;  $h$  - высота сечения рельефа

Горизонтали, соответствующие высоте сечения, установленной для данной карты, проводят на ней сплошными линиями и называют основными, или сплошными. Чтобы показать характерные, но не выражающиеся основными горизонталями особенности рельефа, на картах вычерчивают прерывистыми линиями полугоризонтали. Их проводят через половину высоты сечения. Там, где основные и половинные горизонтали не выражают детали рельефа, проводят еще вспомогательные. Их вычерчивают также прерывистыми линиями, но с более короткими звеньями. Сплошные горизонтали, соответствующие 4-5-кратной высоте сечения, вычерчивают утолщенными линиями. Крутые скаты, обрывы, уступы, осыпи и подобные им детали рельефа изображают другими условными знаками. Многие из них сопровождают цифрами, указывающими высоту объекта над поверхностью, расположенной у их основания.

Чтобы на планах и картах можно было отличить положительную форму рельефа от отрицательной, на горизонтали, перпендикулярно к ней, в сторону понижения склона ставят

маленький штрих – скатштрих (бергштрих). Кроме того, высоты горизонталей подписывают так, чтобы низ подписи был обращен к низу склона.

По особенностям начертания горизонталей на планах и картах можно определить любую форму рельефа.

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

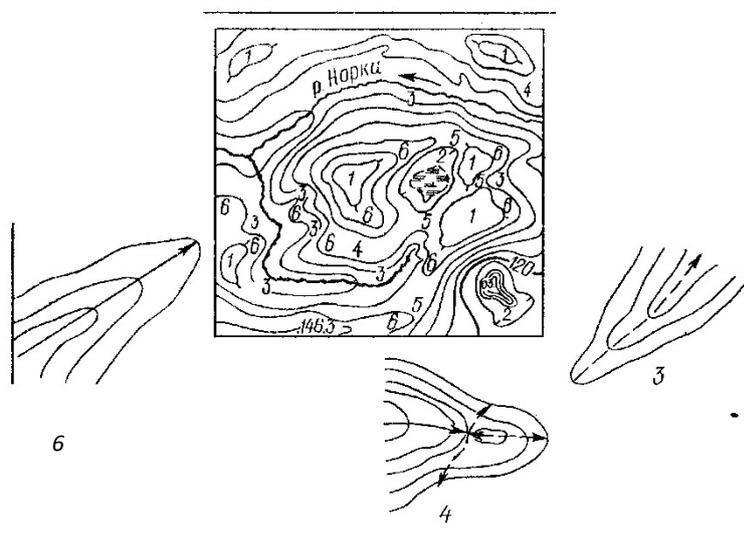


Рис. 1.10. Определение форм рельефа по начертанию горизонталей (стрелки указывают направление понижений) : - линии хребтовые; - линии водосливов; 1 - гора; 2 - котловина; 3 - лощина; 4 - уступ (терраса); 5 - седловина; б - хребет

Определение абсолютной и относительной высот точки местности. Отметку точки определяют по имеющимся на карте надписям отметок горизонталей, урезов воды в водоемах, геодезических пунктов, вершин возвышенностей и др. Отметка точки, расположенной на горизонтали, идентична отметке самой горизонтали. Чтобы найти отметку точки между горизонталями, нужно определить высоту ближайшей из них и прибавить превышение точки над горизонталью. Это превышение находят интерполированием на глаз. Если, например, точка  $n$  (рис.1.11, а) расположена между горизонталями 170 и 180 так, что отрезок между точкой и нижней горизонталью составляет 0,3 кратчайшего заложения, высота этой точки равна  $170 \text{ м} + 0,3 \cdot 10 \text{ м} = 173 \text{ м}$  (10 м - высота сечения). Превышение одной точки местности над другой равно разности их абсолютных высот. Превышение между точками на одном скате удобно подсчитывать по числу заложений между ними. Оно равно произведению высоты сечения на число заложений. Например, точка  $n$  (рис.1.11, а) ниже точки  $t$  примерно на 23 м, так как между ними  $0,6 + 1 + 0,7 = 2,3$  заложения.

Определение крутизны и формы скатов. Угол  $v$  наклона ската, или его крутизну (рис.1.11, б), можно вычислить по формуле  $\text{tg } v = h/S$ . Высоту  $h$  ската находят, определив превышение между его вершиной и основанием, а горизонтальное проложение  $S$  - по результатам измерения расстояния на карте между этими же точками. Обе величины выражают в одинаковых единицах длины - метрах. Для вычисления угла требуются тригонометрические таблицы. Поскольку угол наклона ската обычно невелик, допустима замена  $\text{tg } v$  на  $v/\rho$  ( $\rho = 57,3^\circ \approx 60^\circ$  - величина радиана). Поэтому для приближенных расчетов (без таблиц) используют формулу

$$v = 60^\circ h/S \quad (1.2)$$

По (1.2) рассчитывают график заложений (см. рис. 1.11, в) для графического определения крутизны скатов. На карте его располагают под южной стороной рамки листа. При определении крутизны по графику в раствор циркуля-измерителя берут отрезок на карте между соседними горизонталями по изучаемому направлению (рис. 1.11, а), прикладывают этот отрезок к графику (см. рис. 1.11, в) и читают крутизну. Углы наклона более крутых скатов определяют аналогично по правой части графика, пользуясь заложениями между утолщенными горизонталями. Крутизну ската оценивают и на глаз. Если горизонтали расположены редко, скаты пологие, если часто - крутые. Заложению в 1 см соответствует крутизна примерно  $1^\circ$ , 5 мм -  $2^\circ$ , 1 мм -  $10^\circ$ , что следует из расчетов по (1.2).

Формы скатов различают по взаимному расположению горизонталей (рис.1.12). Если последние расположены на

одинаковых расстояниях друг от друга, ими изображен ровный скат; если же они более частые вблизи вершины возвышенности - скат вогнутый, а вблизи подошвы - выпуклый. Горизонталями чередующейся частоты изображают волнистые скаты.

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

$$i = \operatorname{tg} v = h/S. \quad (1.3)$$

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

Уклон определяют аналитически по тем же данным, снятым с карты, что и крутизну ската, графически - по предварительно построенным графикам заложений (в уклонах), поскольку на картах их не печатают. При построении графика (см. рис. 1.11, в) проводят горизонтальную линию и откладывают на ней несколько равных отрезков. Под точками деления указывают в порядке возрастания заданные уклоны, а вверх от них проводят перпендикуляры длиной, равной заложению горизонталей при данных уклонах. Соединив концы перпендикуляров плавной кривой, получают график для определения уклонов. Пользуются им так же, как и графиком для определения углов наклона

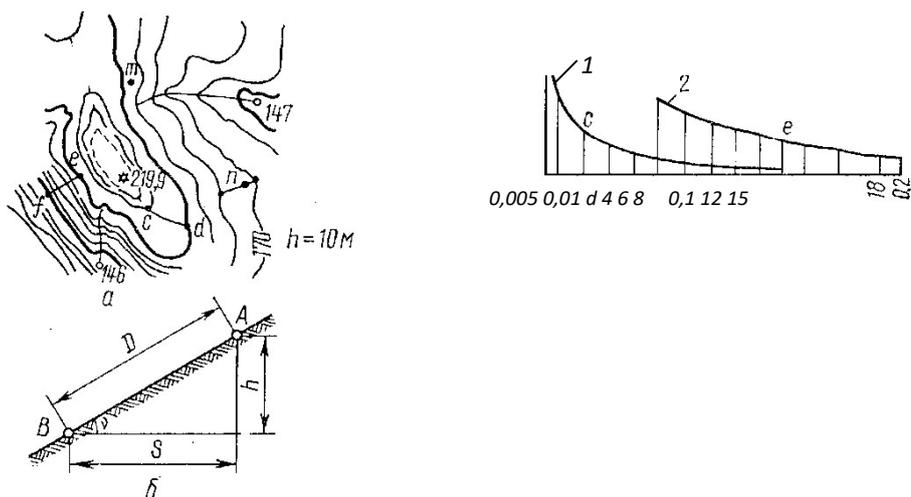
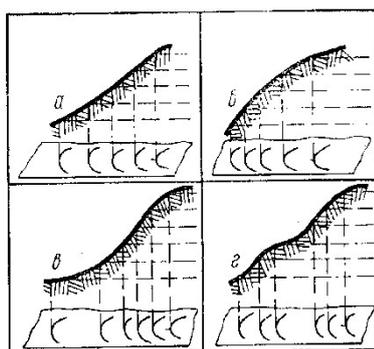


Рис.1.11. Определение по карте высоты точек местности, превышений между ними, крутизны скатов и уклонов:

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



2

Рис.1.12. Изображение горизонталями скатов: а – ровный; б – выпуклый; в – вогнутый; г - волнистый

### ***Измерение площадей по топографическим картам и планам***

Определение площадей участков местности по топографическим планам и картам может производиться графическим, аналитическим и механическим способами.

**Графический способ** заключается в разбивке участка на плане на простейшие фигуры (треугольники, четырехугольники и т. п.), вычислении площадей их в отдельности и последующем суммировании. Определение элементов фигур для вычисления их площадей производится графически.

Вместо разбивки участка на отдельные фигуры можно применять палетки, изготовленные из прозрачного материала, на которые наносится сетка квадратов со сторонами в 2—4 мм.

**Аналитический способ** определения площади фигур заключается в вычислении площади по формуле

$$s = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$$

( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

**Механический способ** измерения площадей основан на использовании специального прибора — планиметра. Этот способ находит широкое применение. Наиболее употребляемыми являются, полярные планиметры (рис. 27). Полярный планиметр состоит из двух рычагов — полюсного Р1 и обводного Р2, соединенных шаровым шарниром, укрепленным на конце полюсного рычага. На обводном рычаге помещается передвижная

каретка со счетным механизмом. Обводной рычаг имеет ручку со шпилем для обвода контуров. Перед измерением обводной шпиль устанавливают над какой-либо точкой контура площади и по счетному механизму делают начальный отсчет  $u_1$ . После обвода контура площади делают конечный отсчет  $u_2$ .

Искомая площадь при полюсе вне контура вычисляется по формуле

$$\Pi = c (u_2 - u_1),$$

при полюсе внутри контура — по формуле

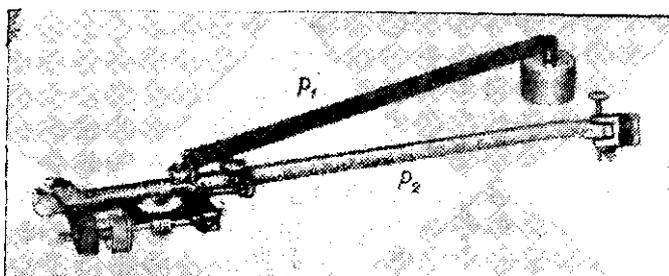
$$\Pi = c (u_2 - u_1 + q)$$

Здесь  $c$  — цена одного деления планиметра;  $q$  — постоянная планиметра при установке его внутри контура искомой площади. Перед измерениями определяют  $c$  и  $q$  по формулам

$$c = \Pi / (u_2 - u_1),$$

$$q = \Pi / c - (u_2 - u_1)$$

Величина  $c$  определяется несколькими обводами контура геометрической фигуры известной площади. Если на плане имеются координатная или километровая сетки, обводят несколько раз контур одного квадрата и по среднему значению из разности отсчетов каждого обвода вычисляют  $c$ , а затем определяют  $q$ . Планиметр должен удовлетворять следующим требованиям, выполнение которых перед работой следует проверять: 1) счетное колесо должно вращаться легко и свободно; 2) плоскость счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага. Счетное колесо регулируют путем перемещения подшипник до тех пор, пока между счетным колесом и верньером не пройдет лист писчей бумаги.



**Рис. 27** Полярный планиметр

Для проверки второго условия обводят контур известной геометрической фигуры при двух положениях планиметра: счетный механизм вправо и влево от полюса. Разности отсчетов при положении влево и вправо не должны отличаться больше чем на 2—3 деления планиметра. Если это требование не выполняется, то измерения следует производить при двух положениях счетного механизма. Окончательный результат получается как среднее из двух измерений, которое будет свободно от указанной

погрешности. Из трех рассмотренных способов определения площадей наибольшую точность —  $1/1000$  — обеспечивает аналитический способ. Точность остальных способов характеризуется следующими относительными погрешностями: механический —  $1/200$ — $1/300$ , графический —  $1/100$ .

## **Лекция №1.2**

**Топографические съемки, геодезические сети**

**Государственные геодезические сети, сети сгущения и съемочные. Методы создания геодезических сетей: триангуляция, трилатерация и полигонометрия. Плановые и высотные геодезические сети. Понятие о съемке местности. Съемка ситуации и рельефа. Развитие съемочного обоснования теодолитными ходами.**

**Основные геодезические задачи. Вычисление дирекционных углов направлений. Прямая и обратная геодезические задачи.**

**Виды съемок.** В зависимости от назначения топографические съемки делят на основные и специализированные. В результате основной съемки получают топографический план с изображением всех элементов ситуации и рельефа местности. По таким планам составляют карты, имеющие универсальное назначение. В результате специализированной съемки получают специализированный план с отображением необходимой части элементов и объектов местности. На некоторых из них, называемых горизонтальными, не отображают рельеф или показывают только его отдельные детали; на других наиболее подробно и точно характеризуют рельеф. По специализированным планам и другим материалам составляют тематические карты, необходимые для решения задач одной или группы отраслей народного хозяйства. Специализированной является и лесная съемка, имеющая целью создание лесоустроительных планшетов, отображающих лесную ситуацию.

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

В зависимости от типов применяемых приборов наземные съемки разделяют на мензульную, тахеометрическую и фототеодолитную. Их применяют при создании основных планов. Если планы должны отображать элементы ситуации, их создают методами горизонтальной съемки. Основная из них съемка

теодолитная, которую часто применяют в комбинации с другими (например, с мензульной), вспомогательная съемка буссольная. При съемке планов, изображающих в основном рельеф, применяют методы вертикальной съемки, главным образом нивелирование площадей. С учетом экономических и технических соображений чаще всего съемки выполняют сочетанием разных методов. При съемке измеряют расстояния и углы, по ним определяют плановое положение точек местности и их высоту.

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

Во избежание грубых ошибок все измерения, вычисления и графические построения выполняют с контролем. Контроль действий на любой стадии работ - второй принцип организации геодезических работ. В этих целях измерения выполняют не менее 2 раз. Дважды выполняют и вычисления: по основным и вспомогательным формулам или «в две руки» (два вычислителя независимо друг от друга). При составлении планов также предусматривают контрольные действия.

### **Основные геодезические задачи**

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

**Вычисление дирекционных углов направлений.** В геодезическом роде, представляющем собой построение в виде ломаной  $0, 1, 2, \dots, n$  (рис. 1.18), легко установить связь между измеренным углом  $\beta$ , исходным дирекционным углом предыдущего  $\alpha_0$  и определяемым дирекционным углом  $\alpha_1$  последующего направления, если принять во внимание, что

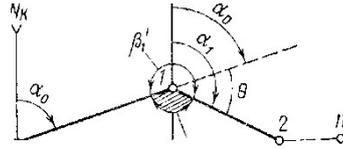
$$\alpha_1 = \alpha_0 + \theta,$$

$$\theta = 180^\circ - \beta_1 = \beta_1 - 180^\circ.$$

$$\text{Отсюда } \alpha_1 = \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1;$$

$$\alpha_1 = \alpha^0 - 180^\circ + \beta_1^l$$

В этих левый по ходу направлен в вершин. Чаще углы хода.



формулах  $\beta_1$  - правый,  $\beta_1^l$  - углы, если считать, что ход сторону возрастания номеров всего принято измерять правые

Рис.1.18. Зависимость между дирекционными и измеренными углами в геодезическом ходе:

0, 1, 2, ..., n - точки хода; ONk 1Nk- направления, параллельные осевому меридиану зоны (среднему меридиану участка);  $\alpha_0, \alpha_1$  - исходный и определяемый дирекционные углы;  $\beta_1, \beta_1^l$  - измеренные углы

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

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

2. Возможно непосредственное измерение сторон a и b и угла  $\gamma$ . Тогда, используя теоремы косинусов и синусов, находят

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; \quad \sin \alpha = a \sin \gamma / c; \\ \sin \beta = b \sin \gamma / c.$$

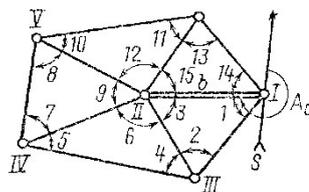
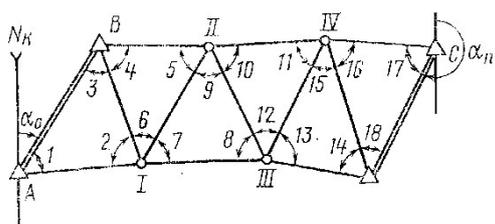
Второй случай особенно характерен для лесной съемки, когда полученные при решении треугольника величины используют чтобы указать направление прорубки просек (визиров) и определить их длину.

Методы определения планового положения точек местности. Координаты пунктов съемочного обоснования определяют построением геодезических сетей методами **полигонометрии, триангуляции и трилатерации.**

Ход полигонометрии опирается на исходные стороны АВ и CD геодезической сети. В ходе известны дирекционные углы  $\alpha_0$  и  $\alpha_n$ , а также координаты начальной и конечной точек хода Хв, Ув и Хс, Ус. На местности измеряют углы  $\beta_B, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \beta_C$  и расстояния  $S_{B-1}, S_{1-2}, S_{2-3}, \dots, S_{n-с}$ . Из вычислений получают дирекционные углы всех сторон хода, а затем - приращения координат и координаты точек 1, 2, 3, ... , n. На лесных съемках применяют простейшие виды полигонометрии - теодолитные и буссольные ходы.

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

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



**Опорные**

### геодезические сети

Положение пунктов съемочного обоснования на лесных съемках определяют от имеющихся на местности пунктов государственной геодезической сети или развитой на ее основе геодезической сети сгущения. Тем самым обеспечивают необходимую точность и контроль измерений при создании съемочной сети, а также возможность использования лесных картографических материалов при общегосударственном картографировании.

Рис.1.19 . Примеры триангуляционных построений:

а - цепочка треугольников;  $N_kA$ ,  $N_kC$  - прямые, параллельные осевому меридиану зоны; А, В, С, D - исходные геодезические пункты; I-IV - определяемые пункты; 1-18 -измеренные углы; б - центральная система: I-VI-определяемые пункты; NS-истинный меридиан точки I; B - базис; A0-азимут стороны I-II; 1-15- измеренные

Государственная геодезическая сеть (ГГС) представляет собой совокупность закрепленных на местности геодезических пунктов, определенных в общегосударственной системе координат. При помощи ГГС распространяют координаты на всю территорию страны, создавая основу для ведения всех видов съемок местности. ГГС подразделяют на плановую и высотную (нивелирную). Первую используют для определения положения точек местности в плане, вторую - по высоте. Пункты плановой сети расположены на возвышенностях, вдоль железных и шоссейных дорог, по берегам рек, в населенных местах. В обжитых районах один пункт приходится на каждые 20-60 км<sup>2</sup>, в малообжитых - на 50-200 км<sup>2</sup>. Некоторые из них обозначают наружными знаками в виде деревянных, металлических или железобетонных сигналов и пирамид. Каждый пункт закрепляют подземным центром - бетонным монолитом или металлической трубой с якорем. К головке центра, выполненной в виде металлической марки, относят определенные для пункта координаты. Пункты нивелирной сети в виде грунтовых и стенных реперов и марок располагают вдоль главных дорог, по берегам рек и морей, в населенных пунктах. В высотном отношении определены также и пункты плановой сети. На каждые 20-25 км<sup>2</sup> территории приходится один высотный пункт (в труднодоступных районах - на 100-200 км<sup>2</sup>). Работу по созданию ГГС в основном выполняют организации Главного управления геодезии и картографии.

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

Сведения о координатах точек опорных геодезических сетей, а также другие данные, характеризующие каждый пункт и сеть в целом, помещают в специальных книгах, называемых каталогами координат. Исполнители съемочных работ получают выписки из них на районы съемок.

## Обозначение и закрепление на местности пунктов съёмочной сети

Пункты съёмочного обоснования лесных съёмок закрепляют лесоустроительными столбами установленной формы и некоторыми другими знаками. Их подразделяют на постоянные, используемые длительное время при проведении разных лесохозяйственных мероприятий, и временные, необходимые только при съёмках. Вершины триангуляционных построений и геодезических ходов, не совпадающие с пунктами установки лесоустроительных знаков, закрепляют столбами, свайками, кольями, металлическими трубами или совмещают с такими местными предметами, которые длительное время сохраняют свое положение, - пнями, валунами.

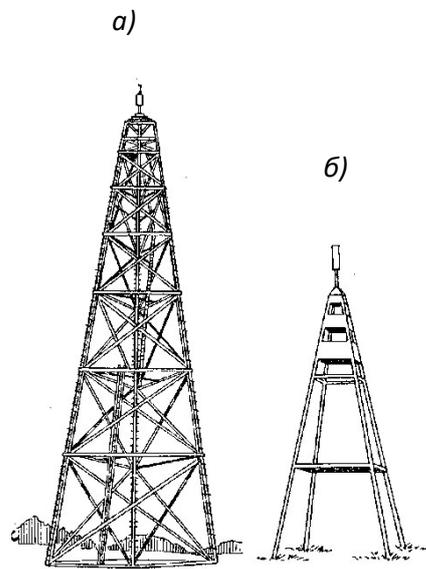


Рис. 1.20. Наружные знаки геодезических пунктов:  
а - сигнал; б - пирамида

На знаках фиксируют точки, к которым относят измерения: заостренную вершину квартального столба, крест (краской) на валуне, шляпку гвоздя, вбитого в верхний срез кола или столба. Знаки окапывают круглой канавкой диаметром 0,6-0,8 м. На время измерений на пунктах ставят переносные вехи, а при необходимости - наружные знаки в виде пирамид и высоких вех. На снимаемом участке все знаки ставят заблаговременно, до начала измерений. Их нумеруют так, чтобы в пределах участка номера не повторялись. Квартальные столбы и другие лесоустроительные знаки нумеруют в соответствии с установленными положениями.

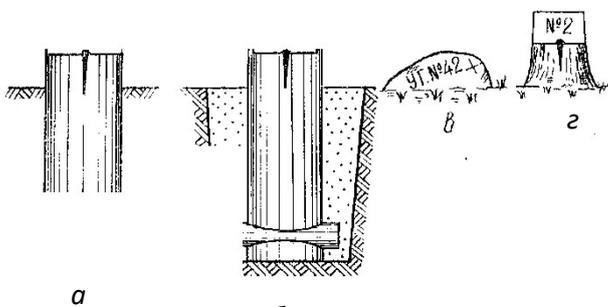


Рис. 1.21. Временные знаки:  
а - свайка; б - столб; в - валун; г - пни

**Прямая геодезическая задача.** По данным координатам  $X_1$  и  $Y_1$  точки А (рис.), дирекционному углу  $\alpha$  направления с нее на точку В и расстоянию  $S$  между ними требуется найти координаты  $X_2$  и  $Y_2$  точки В.

Вычисляют длину катетов  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  прямоугольного треугольника  $AA'В$ , которые называют приращениями координат. Приращения координат - проекции отрезка АВ на оси координат, показывают, на какую величину изменилось положение точки В относительно точки А. Эти изменения могут вызвать как увеличение, так и уменьшение координат точки В. Поэтому приращения координат имеют знаки, зависящие только от величины дирекционного угла  $\alpha$  направления АВ. Практически приращения координат вычисляют, пользуясь румбами направлений. Тогда и знаки приращений определяют по обозначениям румбов.

## **Лекция 1. 3**

**Геодезические измерения на земной поверхности**

**Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности. Устройство теодолита, проверки и юстировки.**

**Линейные измерения. Классификация и краткая характеристика приборов для измерения длин линий, вешение линий. Приведение наклонных линий к горизонту. Определение недоступных расстояний. Определение недоступных расстояний.**

**Элементы теории погрешностей**

**Сущность и виды измерений. Классификация погрешностей.**

**Равноточные измерения. Свойства случайных погрешностей измерений..**

**Неравноточные измерения. Веса измерений и их свойства. Общее арифметическое среднее.**

Принцип измерения горизонтальных углов. Измерить горизонтальный угол - значит измерить ортогональную проекцию угла местности на горизонтальную плоскость. Для получения проекции угла  $\beta'$ , лежащего в наклонной плоскости АСВ (рис. 25), надо стороны угла СА и СВ вертикальными плоскостями  $W_2$  и  $W_1$  спроектировать на горизонтальную плоскость Р и получить их горизонтальные проекции  $ca$  и  $cb$ . Угол между этими проекциями в плоскости Р и есть горизонтальный угол  $\beta$ . При этом безразлично,

в какой точке горизонтальная плоскость  $P$  пересечет отвесную линию  $cc$ . Поэтому угломерный прибор можно ставить на некоторой высоте над вершиной измеряемого угла, как это видно из рис. 25. При этом центр круга прибора должен находиться на отвесной линии  $cc$ .

Если подписи делений на круге угломерного прибора возрастают от  $0^\circ$  по ходу часовой стрелки, то, заметив номер деления (отсчет), по которому идет направление  $CA$ , а затем направление  $CB$ , получим угол  $\beta$ , равный разности отсчетов по горизонтальному кругу на правую точку и отсчету по этому же кругу на левую точку.

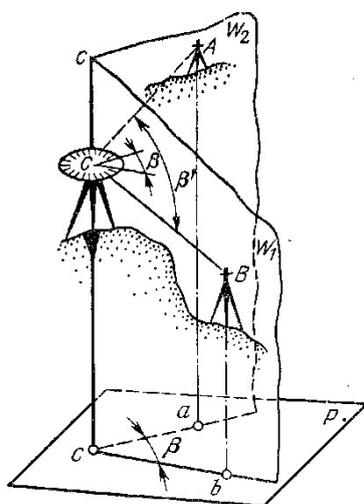


Рис. 1.29 Измерение горизонтального угла.

Рис. 1.30. Схема повторительного теодолита.

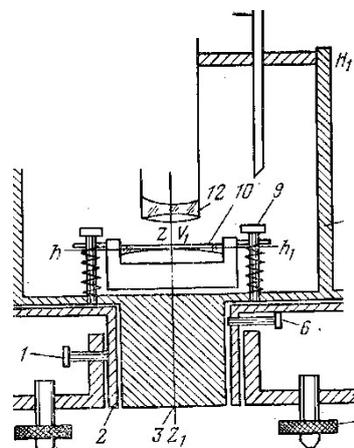
**Устройство теодолита.** Горизонтальную проекцию  $\beta$  угла  $\beta'$  измеряют теодолитом - универсальным прибором, применяемым для измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний и определения превышений.

Изучение теодолита удобно начать с рассмотрения схемы теодолита (рис. 1.30.).

**Лимб** - круговая шкала с градусными или градовыми делениями располагаемая на плоском стеклянном круге. Плоскость лимба, являющаяся плоскостью горизонтальных проекций углов, при работе устанавливается горизонтально.

**Уровень** - прибор, по которому следят за горизонтальностью плоскости лимба во время работы.

**Оптическая зрительная труба** служит для визирования - наведения на предметы - визирные цели. Вращая трубу около горизонтальной оси,



получают вертикальные проектирующие плоскости  $W_1$  и  $W_2$

*Алидада*- дословно - линейка. У горизонтальных кругов алидадная часть, расположена и вращается над лимбом. На ней закреплена оптическая труба, на ней также расположен индекс или шкала отсчетного приспособления и поэтому она позволяет определять на лимбе направление трубы, наведенной на визирную цель - предмет наведения, т. е. найти положение проектирующих плоскостей.

Ось вращения алидады  $ZZ_1$  (см. рис. 1.30.) соосна с осью лимба, при работе ее устанавливают вертикально, она является осью вращения прибора, относительно нее определяют положение всех частей теодолита.

*Микрометр, шкаловый* или *штриховой микроскоп* - устройства, позволяющие значительно повысить точность отсчитывания долей делений на лимбе.

*Подставка и подъемные винты* служат для удержания теодолита на штативе и приведения плоскости лимба в горизонтальное положение - для горизонтирования прибора.

*Отвес металлический* на шнуре или *оптический центрир*, укрепляемый на подставке, служит для установки оси алидады и лимба на отвесной линии  $cc$  (см. рис. 1.29), проходящей через вершину измеряемого угла, т. е. для центрирования прибора.

**Типы теодолитов.** В зависимости от устройства осей лимба различают три типа теодолитов: простой, повторительный и с поворотным лимбом.

У простого теодолита лимб наглухо скреплен с подставкой и не вращается.

У повторительного теодолита (см. рис. 1.30) лимб и алидаду можно вращать и отдельно, и вместе, когда алидада скреплена с лимбом.

У теодолитов с поворотным лимбом алидаду и лимб можно вращать только независимо один от другого.

Теодолиты могут быть с металлическими кругами и со стеклянными кругами - оптические. Теодолиты с металлическими угломерными кругами в настоящее время не выпускаются, хотя иногда используются на практике и в учебных целях. Оптические теодолиты компактны, легки, удобны в работе, а приспособления для отсчитывания позволяют делать отсчеты с весьма высокой точностью - от одной минуты до сотых долей секунды угла. Оптические теодолиты выпускаются во многих странах: в России, Германии, Швейцарии и др. Массовыми в использовании в Беларуси являются теодолиты Уральского оптико-механического завода (г. Екатеринбург). С учетом этого и рассматриваются типы теодолитов.

По точности теодолиты делят на высокоточные, точные и технические.

К высокоточным относят теодолиты, одно измерение угла которыми в лабораторных условиях может содержать среднюю квадратическую ошибку, не превышающую  $1,0''$ .

Средняя квадратическая ошибка одного измерения угла в лабораторных условиях точными теодолитами в зависимости от конструкции теодолитов колеблется от  $2$  до  $5''$ .

Средняя квадратическая ошибка одного измерения угла при тех же условиях техническими теодолитами не должна превышать 30".

Марка теодолита соответствует его точности. Если средняя квадратическая ошибка одного измерения угла данным теодолитом составляет 5", его называют Т5, если ошибка равна 30", теодолит называют Т30 и т. д.

В высокоточных, точных и некоторых технических теодолитах на алидаде вертикального круга устанавливается контактный уровень, но вместо уровня может применяться маятниковый компенсатор. В этом случае в шифр теодолита добавляется буква К, например Т5К.

Усовершенствованные теодолиты в шифрах имеют цифру 2, например 2Т2, 2Т30 (теодолиты «второго поколения»), либо цифру 3 («третье поколение»), например 3Т2КП, 3Т5КП. Буква П добавляется в шифр теодолита со зрительной трубой прямого изображения.

**Оптический теодолит Т30.** Теодолит Т30 через подставку скреплен с диском металлического съемного футляра. К головке штатива диск крепится винтом, ось которого и ось алидады полые. Что позволяет центрировать теодолит над точкой не только с помощью нитяного отвеса, но и зрительной трубы, направленной объективом вниз при отсчете по вертикальному кругу 270°. Отсчетная оптическая система подсвечивается зеркалом. Зрительная труба снабжена двумя оптическими визирами. Цилиндрический уровень установлен параллельно вертикальной плоскости визирования и используется также в функции уровня при алидаде вертикального круга.

В теодолите 2Т30П использована зрительная труба прямого изображения, что достигнуто специальной оборачивающей призмой, введенной в оптическую систему трубы. Деления вертикального круга оцифрованы для отсчета углов наклона со знаком «плюс» или «минус». Один из диоптров на зрительной трубе заменен цилиндрическим уровнем для более точной установки визирного луча в горизонтальное положение.

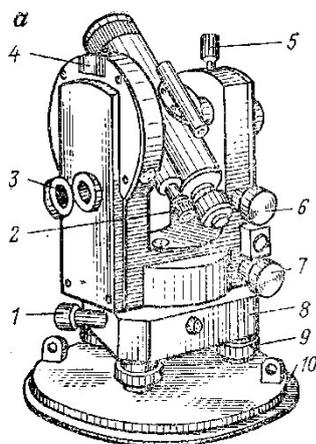


Рис. 1.31. Теодолит Т30: а - общий вид; 1 – наводящий винт горизонтального круга; 2 – окуляр микроскопа; 3 – крышка иллюминатора; 4- посадочный паз

для буссоли; 5 - закрепительный винт трубы; 6 – наводящий винт трубы; 7 - наводящий винт алидады; 8 – подставка; 9 – подъемный винт; 10 –основание.

**Поверки и юстировки теодолитов.** Угломерный прибор дает правильные показания, если его оси и плоскости занимают положение, соответствующее геометрическим и оптико-механическим условиям измерения углов; периодически соблюдение этих условий проверяют. Проверка прибора сопровождается его регулировкой (юстировкой). Юстировку выполняют при помощи исправительных и регулировочных винтов. Основные поверки теодолитов следующие:

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна , быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Теодолит приводят в рабочее положение. Уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов. Этими винтами приводят пузырек уровня на середину. Затем алидаду поворачивают на  $90^\circ$  и вращением третьего винта пузырек уровня вновь приводят на середину. Далее алидаду поворачивают на  $180^\circ$ , если пузырек сохранил свое положение, условие выполнено. Если же пузырек отклонился от середины, то на половину ошибки его перемещают юстировочным винтом уровня, а на середину смещают подъемными винтами. После этого поверку повторяют.

2. Вертикальная нить сетки должна лежать в отвесной плоскости. В 20-25 м от теодолита вешают отвес и наводят на его шнур вертикальную нить сетки. Если она полностью покрывает шнур , условие выполнено. Если же между шнуром и нитью образуется угол, его устраняют поворотом сеточного кольца, ослабив предварительно все четыре установочных винта сетки.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси ее вращения. Угол  $c$ , на который отклоняется визирная ось от перпендикуляра к оси вращения трубы, называют коллимационной погрешностью. Для ее выявления при положении вертикального круга справа от трубы наводят центр сетки нитей на ясно видимый и значительно удаленный предмет, расположенный примерно на одном уровне с осью вращения трубы и снимают отсчет по горизонтальному кругу –  $КП_1$ , затем наводят визирную ось на ту же точку при круге слева и берут отсчет –  $КЛ_1$ . Затем поворачивают лимб на  $180^\circ$  и снова наводят на ту же точку, получая новые отсчеты  $КП_2$  и  $КЛ_2$ . По полученным отсчетам вычисляют величину коллимационной погрешности:

$$c = ((КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)) / 4 \leq 2t;$$

где  $t$  – двойная точность отсчетного устройства (для Т30  $t = 1'$ )

Если значение  $c$  окажется равным или меньшим двойной погрешности, то условие выполнено. В противном случае наводящим винтом алидады ее поворачивают настолько, чтобы по шкале получился отсчет равный  $КЛ_2 + c$ . Тогда центр сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Ослабив один из вертикальных винтов сетки нитей, двумя другими винтами, расположенными горизонтально, перемещают сетку нитей до совпадения ее центра с изображением наблюдаемой точки. После этого поверку повторяют.

4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной осевращению теодолита. Установив теодолит в 20-30 м от стены здания, вертикальную его ось особо тщательно приводят в отвесное положение. Выбирают на стене точку, расположенную над горизонтом под углом 40-50°. Визируют на эту точку закрепляют алидаду. Наклонив трубу до горизонтального положения, отмечают при помощи помощника проекцию этой точки на стене. Переведя трубу через зенит и повернув алидаду на 180°, вторично визируют на верхнюю точку и при закрепленной алидаде опускают трубу. Если изображение нижней точки на стене сошло с перекрестия не более чем на две ширины биссектора, то наклон оси вращения трубы допустим. Устранение наклона оси достигается вращением эксцентриковой втулки лагера горизонтальной оси. Это исправление связано с частичной разборкой теодолита, поэтому рекомендуется его делать в геодезической мастерской.

### **Виды измерений и их погрешности**

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

$$\Delta = l - X \quad (1)$$

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

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

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

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

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

При математической обработке результатов измерений большое значение имеет число измеренных величин. Например, чтобы получить величину каждого угла треугольника, достаточно измерить лишь два из них - это и будет необходимое число величин. Но чтобы судить о качестве измерений, проконтролировать их правильность и повысить точность результата, измеряют и третий угол треугольника - избыточный. Вообще принято измерять не только минимальное число необходимых величин, но и все избыточные.

**Классификация погрешностей.** В целях изучения закономерностей появления погрешностей последние классифицируют по группам.

Грубые погрешности, которые могут быть вызваны промахами или просчетами наблюдателя, неисправностями прибора, резким ухудшением внешних условий. Такие погрешности выявляют повторными измерениями, а результаты, содержащие их, отбраковывают.

Систематические погрешности, возникающие из-за воздействия одной какой-либо существенной причины. Например, всегда преувеличена длина линий, измеряемых укороченной лентой. Чаще всего такие погрешности возникают из-за неточности прибора, которую можно установить при его поверке. Поэтому систематические погрешности можно исключить из результатов измерений введением соответствующих поправок.

Случайные погрешности, происхождение которых объясняется воздействием многих факторов, способствующих уменьшению или увеличению результата измерения совершенно непредвиденным образом (случайно). Число факторов, вызывающих составные части случайной погрешности, обычно велико. Каждая из этих частей весьма мала по сравнению с общей погрешностью. Поскольку их не улавливает прибор при данной методике измерений, их появление неизбежно. Чем точнее прибор и совершенней методика измерений, тем меньше величина случайной погрешности.

Применение теории погрешностей к равноточным измерениям

Закономерности (свойства) случайных погрешностей. Их выявляют многократными измерениями какой-либо одной величины, истинное значение которой известно. Вычисленные по (1) случайные погрешности  $\Delta$  имеют следующие свойства:

- 1) при определенных условиях они не превышают по модулю определенного предела  $\Delta_{пр}$ ;
- 2) положительные погрешности появляются приблизительно так же часто, как и равные им по модулю отрицательные;
- 3) малые по модулю погрешности появляются чаще больших.

Из этих свойств вытекает следствие: при неограниченно большом числе измерений одной и той же величины случайные погрешности компенсируются, а их среднее арифметическое стремится к нулю, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n) / n = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \sum_{i=1}^n \Delta_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

Из формулы видно, что среднее арифметическое из бесконечно большого числа измерений стремится к истинному значению измеряемой величины. Но так как на практике измеряют одну и же величину лишь несколько раз (2; 4; 9), среднее арифметическое из результатов измерений будет не истинным, а близким к нему, вероятнейшим значением измеренной величины. Вычисляют среднее арифметическое по формуле

$$L = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / n = (1/n) \sum_{i=1}^n l_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

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

**Истинная и вероятнейшая погрешности. Поправки к измерениям.** В связи с тем, что есть различие между истинным и вероятнейшим значениями измеряемой величины, погрешности также подразделяют на два вида: истинную и вероятнейшую. Разность между измеренным и истинным значениями величины, вычисленную по (1.5) называют истинной погрешностью, а разность между измеренным  $l$  и вероятнейшим (средним арифметическим)  $L$  значениями величины  $v = l - L$  (1.8) - вероятнейшей погрешностью.

Величины  $X - l = w_1$  и  $L - l = w_2$  называют поправками к измеренным величинам. Поправка равна погрешности, взятой с обратным знаком.

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

$$v_1 = l_1 - L$$



по абсолютной величине случайные погрешности, тогда как при вычислении средней погрешности эти отклонения уравниваются малыми; во-вторых, средняя квадратическая погрешность обладает достаточной устойчивостью, поэтому даже при относительно небольшом числе измерений ее величину получают с большой достоверностью

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

По (1.9) оценивают точность измерений, если известно истинное значение измеренной величины; обычно же оно неизвестно. Многократным измерением находят среднее арифметическое значение величины, а затем и вероятнейшие погрешности каждого результата. При этом условии среднюю квадратическую погрешность одного измерения вычисляют по формуле Бесселя:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n-1}} \quad (1.10)$$

Точность определения самого среднего арифметического оценивают по формуле

$$M = \pm m/\sqrt{n} \quad (1.11),$$

показывающей, что средняя квадратическая погрешность арифметического среднего, полученного из равноточных измерений, в  $\sqrt{n}$  раз меньше средней квадратической погрешности одного измерения. Часто рядом с вероятнейшим значением величины записывают и ее среднюю квадратическую погрешность  $M$ , например  $70005' \pm 1'$ . Это означает, что точное значение угла может быть больше или меньше указанного на  $1'$ . Однако эту минуту нельзя ни добавить к углу, ни вычесть из него. Она характеризует лишь точность получения результатов при данных условиях измерений.

### **Понятие о правилах вычислений**

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

1. Получение каждого результата контролируют, ибо без проверки вычисление считается незаконченным.
2. Записи ведут аккуратно и четко, применяя табличный шрифт; ошибочно сделанную запись перечеркивают одной чертой, цифру по цифре не пишут. Чтобы не допустить ошибок, вычисления не переписывают. Результаты полевых измерений записывают только в журналах установленной формы, которые являются документами строгого учета. Все журналы и страницы в них должны быть пронумерованы и заверены руководителем работ. В журналах пишут простым карандашом, шариковой ручкой. Пользоваться резинкой для исправления записей в журнале запрещается. Неудовлетворительные или неправильные записи аккуратно перечеркивают и далее записывают результаты повторных наблюдений с припиской слова «повторный» или «bis» и указанием причины повторного измерения. Полевой журнал переписывать строго запрещается.
3. Значащих цифр, которые нужно удерживать в промежуточных результатах, при вычислениях должно быть на одну больше, чем требуется в конечных результатах и имеется в исходных данных и результатах измерений.
4. Если число требуется округлить, погрешность оставшегося числа должна быть не более чем на 5 отброшенных единиц; если отбрасываемая часть числа состоит из одной цифры 5, последняя оставшаяся цифра должна быть четной.

Числа до округления 124,372; 124,376; 124,375; 124,365.

Числа после округления 124,37; 124,38; 124,38; 124,36.

5. При сложении и вычитании приближенных чисел в окончательном результате сохраняют столько десятичных знаков, сколько их в числе с наименьшим количеством десятичных знаков. При умножении и делении приближенных чисел в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их в числе с наименьшим количеством значащих цифр. При возведении<sup>2</sup> приближенных чисел в квадрат и куб в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их в основании степени. При извлечении корня в результате записывают столько значащих цифр, сколько их в подкоренном числе. При интерполировании берут один лишний десятичный знак.

**Измерение горизонтальных углов.** Перед измерением углов на местности необходимо над каждой вершиной их устанавливать теодолит в рабочее положение, т. е. производить:

1) центрирование, 2) горизонтирование, 3) установку зрительной трубы по глазу и по предмету.

**Центрирование теодолита.** Для измерения горизонтального угла необходимо вертикальную ось теодолита возможно точнее установить над его вершиной с помощью нитяного отвеса или оптического центрира. При этом следует учитывать длину стороны измеряемого угла: чем она короче,

тем центрирование теодолита должно быть более точным. Погрешность центрирования по нитяному отвесу составляет около 5 мм.

**Горизонтирование теодолита.** Теодолит горизонтируют с помощью цилиндрического уровня: уровень устанавливают параллельно двум подъемным винтам, которыми приводят пузырек в нуль-пункт. Затем теодолит поворачивают на  $90^\circ$  и третьим винтом подставки приводят пузырек уровня в нуль-пункт. В горизонтированном теодолите при любом направлении уровня его пузырек не должен отклоняться от нуль-пункта не более чем на половину деления ампулы.

**Установка зрительной трубы.** Вначале вращением окуляра получают четкое изображение сетки нитей, затем вращением фокусировочного винта трубы – четкое изображение предмета.

**Измерение горизонтального угла способом приемов.** Горизонтальные углы бывают правые и левые по ходу. Очередность визирования зрительной трубой на заднюю и переднюю по ходу точку при измерении углов зависит от того, какой из них (правый или левый) надо измерить. Рассмотрим порядок измерения правого по ходу угла. Для измерения отдельного угла (см. рис.) в его вершине С устанавливают теодолит, на точках В (правой) и А (левой) – вехи. (В теодолитном ходе точку В называют задней, а точку А - передней.) Угол измеряют двумя полуприемами (при КП и КЛ).

Первый полуприем (КП) начинают при закрепленном лимбе и открепленной алидаде. Приблизительно наводят трубу на веху В, затем, закрепив алидаду и трубу и действуя их наводящими винтами, точно совмещают центр сетки нитей с нижней частью вехи (правая точка). Снимают отсчет по горизонтальному кругу и записывают его в журнал. При неподвижном лимбе, открепив алидаду, в такой же последовательности визируют на левую точку А. Отсчет на эту точку записывают в графу 3, против точки А. Угол получают как разность отсчетов на правую и левую точки: Этими действиями завершён первый полуприем.

Второй полуприем (КЛ) Сместив лимб примерно на  $2 - 3^\circ$ , его закрепляют. Трубу переводят через зенит. В такой же последовательности, как и в первом полуприеме, визируют на точки В и А, берут отсчеты, записывают их в журнал и вычисляют значение угла. В случае если отсчет на правую точку меньше отсчета на левую, к нему прибавляют  $360^\circ$ . Если два значения одного и того же угла, полученные при КП и КЛ, отличаются между собой на величину, не большую двойной точности микроскопа, то за окончательный результат принимают среднее из этих двух значений

**Точность измерения углов.** Различные источники ошибок на точность измерения углов влияют различно: на один угол больше, на другой – меньше. Ошибки можно разделить на три вида: происходящие от влияния приборов, от методики и тщательности выполнения работ (технологические), от влияния среды.

#### ***Ошибки, происходящие от влияния приборов***

*Ошибка отсчета.* У теодолитов Т30 она равна  $0,5'$ , у Т15-около  $0,15'$ , у Т5 - около  $0,1'$  и у Т2 - до  $2''$ .

*Ошибка наведения на визирную цель* зависит от увеличения трубы и равна отношению величины критического угла зрения глаза  $\omega$  к увеличению трубы  $v$ . Так как  $\omega = 60''$ ,  $v \approx 25^x$ , то ошибка наведения  $\approx 2''$ .

*Ошибка неточной юстировки* состоит из нескольких составляющих. Поэтому перед работой теодолит надо поверять и тщательно юстировать, особенно после дальних переездов. Учитывая ошибки, возникающие от влияния приборов, можно сделать вывод: при построении съемочных сетей следует применять теодолиты типа Т30, Т15, при построении сетей сгущения - Т5, Т2 и им соответствующие.

### ***Технологические ошибки***

*Ошибка установки визирной цели.* Пункты геодезического обоснования закрепляют геодезическими знаками. При измерении угла теодолит приводят в рабочее положение над вершиной угла. В конце же направлений, образующих измеряемый угол, кроме установленных геодезических знаков (столбов, кольев и др.) устанавливают визирные цели - вехи, визирные марки и др. Поскольку геодезический знак не всегда видно, визирную цель устанавливают над знаком или за знаком вертикально в створе линии «прибор – знак». Если геодезический знак скрыт в земле, а визирная цель - веха, визирную ось наводят на низ вехи.

При установке вех и теодолитов при построении съемочных сетей допускают ошибку не более 10 мм, а при коротких сторонах эту ошибку значительно сокращают.

При построении сетей сгущения используют приборы с оптическими центрами, чтобы исключить влияние ошибок центрирования теодолита и установки вех.

*При неточном приведении оси вращения теодолита в отвесное положение ось вращения трубы принимает наклонное положение*, причем при отсчетах на разных местах лимба с разными значениями угла наклона. При наведении на визирные цели, особенно на высокорасположенные, возникают ошибки различной величины в направлениях визирной оси, а как следствие и в измеряемых горизонтальных, углах. Поэтому надо следить за тем, чтобы пузырек уровня на горизонтальном круге не отклонялся от середины.

*Погрешности, зависящие от тщательности выполнения операций, заметно влияют на точность измерения углов.* Например, по отсчетному микроскопу теодолита Т30, как правило, отсчитывают с округлением до минут. Но опытный исполнитель некоторые отсчеты делает с округлением до  $0,5'$  и этим повышает точность измерения угла.

Методика исполнения измерений также имеет большое значение. Например, для более точного измерения углов теодолитов с большой ошибкой отсчитывания (Т30) надо измерять углы не по способу отдельного угла, а по способу повторений.

*Ошибки влияния среды.*

Чтобы уменьшить или вовсе устранить влияние среды на точность измерения углов, надо работать под зонтом и в дождь, и при солнце, не допускать, чтобы визирный луч проходил рядом (0,5 м) с местными предметами - строениями, деревьями и др., так как при этом возникает горизонтальная рефракция и луч искривляется; надо соблюдать правила ухода за геодезическими приборами и др.

## **Лекция № 4.**

**Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности. Устройство теодолита, поверки и юстировки.**

**Линейные измерения. Классификация и краткая характеристика приборов для измерения длин линий, вешение линий. Приведение наклонных линий к горизонту. Определение недоступных расстояний. Определение недоступных расстояний.**

**Измерение горизонтальных углов.** Перед измерением углов на местности необходимо над каждой вершиной их устанавливать теодолит в рабочее положение, т. е. производить:

1) центрирование, 2) горизонтирование, 3) установку зрительной трубы по глазу и по предмету.

**Центрирование теодолита.** Для измерения горизонтального угла необходимо вертикальную ось теодолита возможно точнее установить над его вершиной с помощью нитяного отвеса или оптического центрира. При этом следует учитывать длину стороны измеряемого угла: чем она короче, тем центрирование теодолита должно быть более точным. Погрешность центрирования по нитяному отвесу составляет около 5 мм.

**Горизонтирование теодолита.** Теодолит горизонтируют с помощью цилиндрического уровня: уровень устанавливают параллельно двум подъемным винтам, которыми приводят пузырек в нуль-пункт. Затем теодолит поворачивают на  $90^\circ$  и третьим винтом подставки приводят пузырек уровня в нуль-пункт. В горизонтированном теодолите при любом направлении уровня его пузырек не должен отклоняться от нуль-пункта не более чем на половину деления ампулы.

**Установка зрительной трубы.** Вначале вращением окуляра получают четкое изображение сетки нитей, затем вращением фокусировочного винта трубы – четкое изображение предмета.

**Измерение горизонтального угла способом приемов.** Горизонтальные углы бывают правые и левые по ходу. Очередность визирования зрительной трубой на заднюю и переднюю по ходу точку при измерении углов зависит от того, какой из них (правый или левый) надо измерить. Рассмотрим порядок измерения правого по ходу угла. Для измерения отдельного угла (см. рис.) в его вершине С устанавливают теодолит, на точках В (правой) и А (левой) – вехи. (В теодолитном ходе точку В называют задней, а точку А - передней.) Угол измеряют двумя полуприемами (при КП и КЛ).

Первый полуприем (КП) начинают при закрепленном лимбе и открепленной алидаде. Приблизительно наводят трубу на вежу В, затем, закрепив алидаду и трубу и действуя их наводящими винтами, точно совмещают центр сетки нитей с нижней частью вежи (правая точка). Снимают отсчет по горизонтальному кругу и записывают его в журнал. При неподвижном лимбе, открепив алидаду, в такой же последовательности визируют на левую точку А. Отсчет на эту точку записывают в графу 3, против точки А. Угол получают как разность отсчетов на правую и левую точки: Этими действиями завершён первый полуприем.

Второй полуприем (КЛ) Сместив лимб примерно на  $2 - 3^\circ$ , его закрепляют. Трубу переводят через зенит. В такой же последовательности, как и в первом полуприеме, визируют на точки В и А, берут отсчеты, записывают их в журнал и вычисляют значение угла. В случае если отсчет на правую точку меньше отсчета на левую, к нему прибавляют  $360^\circ$ . Если два значения одного и того же угла, полученные при КП и КЛ, отличаются между собой на величину, не большую двойной точности микроскопа, то за окончательный результат принимают среднее из этих двух значений

**Точность измерения углов.** Различные источники ошибок на точность измерения углов влияют различно: на один угол больше, на другой – меньше. Ошибки можно разделить на три вида: происходящие от влияния приборов, от методики и тщательности выполнения работ (технологические), от влияния среды.

#### ***Ошибки, происходящие от влияния приборов***

*Ошибка отсчета.* У теодолитов Т30 она равна  $0,5'$ , у Т15 – около  $0,15'$ , у Т5 – около  $0,1'$  и у Т2 – до  $2''$ .

*Ошибка наведения на визирную цель* зависит от увеличения трубы и равна отношению величины критического угла зрения глаза  $\omega$  к увеличению трубы  $\nu$ . Так как  $\omega = 60''$ ,  $\nu \approx 25^{\times}$ , то ошибка наведения  $\approx 2''$ .

*Ошибка неточной юстировки* состоит из нескольких составляющих. Поэтому перед работой теодолит надо поверять и тщательно юстировать, особенно после дальних переездов. Учитывая ошибки, возникающие от влияния приборов, можно сделать вывод: при построении съемочных сетей следует применять теодолиты типа Т30, Т15, при построении сетей сгущения – Т5, Т2 и им соответствующие.

#### ***Технологические ошибки***

*Ошибка установки визирной цели.* Пункты геодезического обоснования закрепляют геодезическими знаками. При измерении угла теодолит приводят в рабочее положение над вершиной угла. В конце же направлений, образующих измеряемый угол, кроме установленных геодезических знаков (столбов, кольев и др.) устанавливают визирные цели – вежи, визирные марки и др. Поскольку геодезический знак не всегда видно, визирную цель устанавливают над знаком или за знаком вертикально в створе линии «прибор – знак». Если геодезический знак скрыт в земле, а

визирная цель - веха, визирную ось наводят на низ вехи.

При установке вех и теодолитов при построении съемочных сетей допускают ошибку не более 10 мм, а при коротких сторонах эту ошибку значительно сокращают.

При построении сетей сгущения используют приборы с оптическими центрирами, чтобы исключить влияние ошибок центрирования теодолита и установки вех.

*При неточном приведении оси вращения теодолита в отвесное положение ось вращения трубы принимает наклонное положение, причем при отсчетах на разных местах лимба с разными значениями угла наклона. При наведении на визирные цели, особенно на высокорасположенные, возникают ошибки различной величины в направлениях визирной оси, а как следствие и в измеряемых горизонтальных, углах. Поэтому надо следить за тем, чтобы пузырек уровня на горизонтальном круге не отклонялся от середины.*

*Погрешности, зависящие от тщательности выполнения операций, заметно влияют на точность измерения углов. Например, по отсчетному микроскопу теодолита Т30, как правило, отсчитывают с округлением до минут. Но опытный исполнитель некоторые отсчеты делает с округлением до 0,5' и этим повышает точность измерения угла.*

Методика исполнения измерений также имеет большое значение.

Например, для более точного измерения углов теодолитов с большой ошибкой отсчитывания (Т30) надо измерять углы не по способу отдельного угла, а по способу повторений.

*Ошибки влияния среды.*

Чтобы уменьшить или вовсе устранить влияние среды на точность измерения углов, надо работать под зонтом и в дождь, и при солнце, не допускать, чтобы визирный луч проходил рядом (0,5 м) с местными предметами - строениями, деревьями и др., так как при этом возникает горизонтальная рефракция и луч искривляется; надо соблюдать правила ухода за геодезическими приборами и др.

## **Лекция №5.**

**Теодолитная съемка. Назначение съемки, содержание, состав работы и применяемые приборы. Требования к графическому оформлению плана. Полевые и камеральные работы.**

**Тахеометрическая съемка. Сущность и назначение тахеометрической съемки. Съемка ситуации и рельефа. Приборы: оптические и электронные тахеометры. Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки. Составление и оформление топографического плана.**

**Сущность теодолитной съемки, организация работ. Теодолитная**

съемка - горизонтальная; по ее результатам составляют контурный план местности. При этом снимают границы строений, дорог, угодий и т. д. Чтобы провести съемку, на местности устанавливают геодезические знаки - пункты обоснования. Сеть таких пунктов называют съемочным обоснованием. С этих пунктов и от линий между ними проводят детальные измерения. Полевые работы при теодолитной съемке организуют так, чтобы в первую очередь произвести измерения, обеспечивающие получение координат пунктов съемочной сети - съемочных точек.

Теодолитная съемка складывается из следующих этапов:

- камеральная подготовка материалов;
- рекогносцировка местности и закрепление намеченных пунктов геодезическими знаками;
- полевые измерительные работы;
- камеральная обработка результатов измерений.

**Камеральная подготовка.** В период камеральной подготовки устанавливают наличие планов, составленных на снимаемую местность по ранее произведенным съемкам; из имеющихся материалов отбирают планы и карты наиболее крупных масштабов и съемок последних лет. Составляют схему расположения пунктов имеющегося съемочного обоснования. Из каталогов выписывают координаты этих пунктов.

На подобранных планах или топографических картах составляют проект организации полевых работ.

*Рекогносцировка местности.* После камеральной подготовки исполнитель осматривает местность, устанавливает изменения в контурах, проверяет целесообразность исполнения намеченного проекта, уточняет его на месте, назначает места установки пунктов съемочной сети, закрепляет их геодезическими знаками и намечает пути привязки к пунктам геодезической сети более высокого порядка. Вслед за этим выполняют непосредственные полевые измерения, которые проводят в два этапа: первый - построение съемочной сети и второй - съемка контуров.

**Теодолитный ход.** При теодолитной съемке съемочная сеть в основном состоит из теодолитных ходов – многоугольников, в которых измеряют длины сторон  $d_1, d_2, \dots$  поворотные углы  $\beta_1, \beta_2, \dots$  между сторонами.

Теодолитный ход может быть:

*разомкнутый* – вытянутый ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования более высокого порядка;

*замкнутый* – сомкнутый многоугольник, обычно привязанный к одному из пунктов геодезического обоснования;

*висячий ход* примыкает к геодезическому обоснованию одним своим концом, второй конец остается свободным.

Точку поворота теодолитного хода намечают так, чтобы над ней можно было установить теодолит для измерения угла; с нее хорошо бы просматривалась и была доступна для съемки окружающая местность; были видны знаки, установленные на предыдущей и последующей точках хода; чтобы длины сторон хода не превышали 300 – 350 м и не были короче 50 м, а

в среднем равнялись 250 м<sup>4</sup> при съемке контуров способом перпендикуляров стороны хода располагались от снимаемых границ не далее 50 – 70 м.

Обычно теодолитные ходы прокладывают вдоль грунтовых и шоссе-ных дорог, по просекам и другим удобным для измерений местам. При съемке рек для лучшей видимости поймы и в целях сохранности знаков ход лучше располагать на возвышенных местах. При дорожных и речных изысканиях теодолитные ходы, как правило, будут разомкнутые и приближаться к прямолинейным, т. е. углы поворота между сторонами близки к 180°. При съемке отдельных участков ходы обычно замкнутые, так как линии хода совмещают с границами самих участков или угодий. В случае большой вытянутости замкнутого хода в наиболее узком его месте делают перемышку - диагональный ход .

Пункты теодолитного хода закрепляют деревянными кольями толщиной около 6 см, столбами или железными трубами на бетоне. Часто при инженерных работах такие точки используют как реперы при нивелировании, поэтому основания столбов следует зарывать в землю ниже глубины промерзания грунта. Над поверхностью земли кол не должен выступать более чем на 5 см. Установленный знак окапывают канавкой.

После закрепления точек теодолитного хода на местности приступают к угловым и линейным измерениям.

Особое внимание обращают на привязку прокладываемого хода к пунктам существующей геодезической сети съемочного обоснования.

Из соответствующих каталогов геодезической сети выписывают дирекционные углы  $\alpha_n$  - начальный и  $\alpha_k$  - конечный, взятые по направлению хода для опорных сторон АВ и CD. Оттуда же выписывают координаты исходных пунктов, к которым примыкает теодолитный ход.

При измерении поворотного угла между сторонами хода теодолит центрируют над вершиной угла. Точность центрирования должна быть тем выше, чем короче стороны, образующие угол. Например, при расстоянии более 150 м нужно центрировать с точностью до 1 см, а при меньших расстояниях - 0,5 см. После приведения теодолита в рабочее положение измеряют угол, обычно правый по ходу. Измеряют все углы хода, в том числе и примычные, одним полным приемом - при двух положениях вертикального круга, с перестановкой лимба между полуприемами на некоторый малый угол (1-2°). При измерении углов оптическим теодолитом расхождение между значениями угла, полученными в полуприемах, не должно превышать 0,8'. Теодолитные ходы бывают 1 и 2 разряда

Стороны в теодолитных ходах 1 разряда измеряют с относительными ошибками не ниже 1 : 2000, стороны ходов 2 разряда - не ниже 1 : 1000. Для этой цели используют мерные ленты и оптические дальномеры.

**Съемка контуров ситуации.** С закрепленных на местности пунктов теодолитного хода снимают ситуацию. Чтобы элементы ситуации изобразить на плане в их подобном виде, на местности намечают и снимают характерные точки на их контурах (границах) - главным образом точки поворота границ.

В зависимости от условий местности, наличия съемочной сети и геодезических приборов применяют следующие способы съемки ситуации.

Способ обхода применяют для съемки вытянутых объектов (дорог, каналов) или обособленных элементов ситуации (лес, болото).

Криволинейную границу участка разбивают на отрезки 1-2, 2-3, ... (рис.1.32, а), которые для данного масштаба съемки можно считать прямыми.

Отклонения фактической границы от съемочных линий допускают не более двойной точности масштаба съемки. Например, точность масштаба 1 : 5000 равна 0,1 мм x 5000 = 0,5 м, следовательно, фактические границы от прямых  $d_1, d_2, \dots$  могут отклоняться не более 1 м.

Концы намеченных отрезков закрепляют кольями или столбами и получают полигон 1-2-3 ... Линии этого полигона измеряют лентой или дальномером, а горизонтальные углы  $\beta_1, \beta_2$  - угломерным прибором.

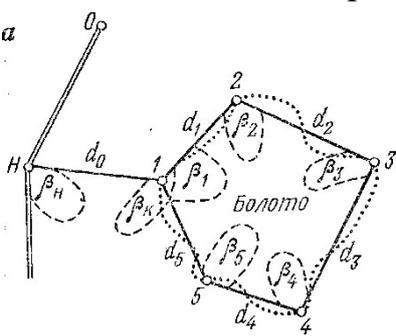
Полигон обязательно привязывают к линиям съемочной сети путем измерения примычных углов  $\beta_n$  и  $\beta_{ки}$  длины линии  $d_0$ .

Способ полярных координат. На границах элемента ситуации выбирают характерные точки 1, 2, 3, ... (рис.1.32, б) и угломерным прибором измеряют углы  $\beta_1, \beta_2$ , между опорной линией, например ВС и направлениями на характерные точки, а лентой или дальномером измеряют расстояния  $d_1, d_2, \dots$ . Этот способ применяют для съемки извилистых контуров в открытой местности.

Способ перпендикуляров применяют при съемке вытянутых объектов, например, каналов, дорог, а также при городских съемках.

Из характерных точек контура а, б, в, ... (рис.1.32, в) опускают перпендикуляры на опорные линии I-II, II - III ... Лентой измеряют расстояния 1-1, 1-2 ... вдоль опорной линии от ее начала до оснований перпендикуляров в точках 1, 2, ... , а рулеткой - длины перпендикуляров 1-а, 2 - б, ... Результаты измерений записывают около соответствующих точек на абрисе, составляемом в поле. Перпендикуляры строят длиной до 20 м на глаз, до 100 м

а  
съемки  
деревьев,  
ных для  
опорных



между  
направлениями на снимаемый объект. По стороне и двум прилежащим к ней углам можно построить треугольник и получить положение снимаемой точки.

- экером, свыше 100 м – теодолитом.

Способ угловых засечек применяют для отдельных точек: отдельно стоящих столбов, башен, вышек и др., не доступных линейных измерений. С концов двух линий (см. рис. 1.32, г) угломерным прибором измеряют углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  опорными линиями СВ и ВА и

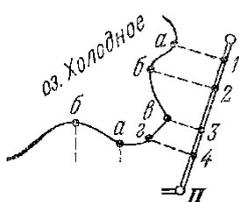
Способ линейных засечек применяют главным образом при отсутствии угломерных приборов, при коротких базисных линиях. При этом способе как минимум от трех опорных точек, например А, В, С, измеряют расстояния до снимаемой точки  $d_1, d_2, d_3$ . По известному основанию и длинам двух других сторон можно построить треугольник и получить положение определяемой

в

Рис. 1.32. Способы съемки подробностей местности.

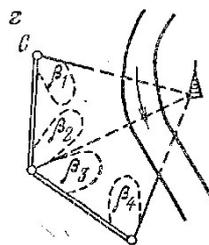
Абрис. В процессе съемки в полевом журнале простым карандашом глазомерно составляют схематический чертеж снимаемого участка, называемый абрисом (рис. 64). На нем записывают результаты измерений углов и длин линий, названия объектов и урочищ. Ориентируют абрис по странам света на глаз. Абрис является одним из основных документов, которым руководствуются при составлении плана. Все записи и изображения на абрисе должны быть четкими и разборчивыми, для чего пользуются линейкой и треугольником. Для участков больших размеров абрис составляют по частям на нескольких страницах.

при



**2.3.3**  
теодолитной

Прямая



Камеральные работы  
съемке

геодезическая задача.

Как уже указывалось, в геодезии принята система плоских прямоугольных координат, в которой относительно оси  $X-X$ , совпадающей с направлением

меридиана, и оси УУ, перпендикулярной к оси ХХ, определяют положение каждой точки, т. е. ее координаты Х и У; при этом счет четвертей идет по ходу часовой стрелки, согласно возрастанию азимутов и дирекционных углов (на рис. четверти показаны римскими цифрами).

При составлении планов ситуацию наносят от опорных точек и линий, их соединяющих. Поэтому на бумагу сначала наносят опорные точки по их координатам, которые вычисляют в первую очередь, решая прямую геодезическую задачу. Она состоит в том, что по известным координатам данной точки, а также по дирекционному углу и горизонтальному проложению линии от этой точки до определяемой вычисляют координаты определяемой точки. Например, известны координаты точки А ( $x_a, y_a$ ), горизонтальное проложение  $d$  линии АВ, дирекционный угол  $\alpha$  линии АВ/ На рис. видно, что  $x_b = x_a + BB_1$ ;  $y_b = y_a + AB_1$ . Отрезки  $BB_1$  и  $AB_1$ , представляющие собой проекции линии АВ на оси координат, или разность координат точек В и А, называют приращениями координат и обозначают  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Поэтому можно написать:

$$\begin{aligned}x_b &= x_a + \Delta x, \\y_b &= y_a + \Delta y,\end{aligned}$$

$\Delta x$  и  $\Delta y$  из прямоугольного треугольника  $ABB_1$  равны:

$$\Delta x = d \cos \alpha,$$

$$\Delta y = d \sin \alpha.$$

Тогда координаты точки В будут:

$$x_b = x_a + d \cos \alpha,$$

$$y_b = y_a + d \sin \alpha,$$

Данные формулы остаются справедливыми для вычисления приращений координат по румбам сторон, т. е.

$$\Delta x = d \cos r,$$

$$\Delta y = d \sin r.$$

Знаки приращений координат зависят только от направления линии, т. е. от названия румба.

Для северных направлений (СВ, СЗ)  $\Delta x$  имеет знак плюс, для южных направлений (ЮВ, ЮЗ) - знак минус. Для восточных направлений (СВ, ЮВ)  $\Delta y$  имеет знак плюс, а для западных направлений (СЗ, ЮЗ) - знак минус.

Для вычисления координат точек хода предварительно проводят уравнивание результатов полевых измерений.

**Уравнивание углов поворота сомкнутого теодолитного хода.** Из геометрии известно, что теоретическая сумма углов многоугольника

$$\sum \beta_i = 180^\circ (n-2),$$

где  $n$  - число углов хода. Однако практически измерение углов теодолитом сопровождается рядом ошибок, что приводит к некоторому отклонению суммы измеренных углов  $\sum \beta_n$  от теоретической; это отклонение носит название угловой невязки  $f_\beta$  и вычисляется так:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{п}} - \sum \beta_{\text{т}}$$

Эта невязка не должна превышать предельную величину, которую определяют по формуле:

$$\Delta\beta = \pm 1' \sqrt{n}$$

Необходимо, чтобы  $f_{\beta} \leq \Delta\beta$ .

В том случае, когда полученная угловая невязка допустима, т. е. меньше или равна предельной, в углы вводят поправки. Можно считать, что все углы измеряют с одинаковой точностью, поэтому угловую невязку нужно разделить на число измеренных углов и полученную поправку внести в каждый угол поровну с обратным знаком невязки. При таком распределении каждый исправленный угол будет иметь дробные значения минут, что создает неудобство при дальнейших вычислениях. Обычно угловую невязку распределяют проще: в первую очередь вводят поправки в углы с дробными долями минут так, чтобы округлить их до половины минуты. Оставшуюся часть невязки распределяют по пол минуте на углы, ограниченные более короткими сторонами, так как в этом случае из всех перечисленных ошибок особенно скажется влияние неточного центрирования прибора и установки вехи над точкой наведения.

**Вычисление дирекционных углов сторон теодолитного хода.** После уравнивания измеренных углов приступают к вычислению дирекционных углов сторон теодолитного хода. В замкнутом теодолитном ходе ABCDE (рис. 67, а) правые углы хода  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$  исправлены. Если через каждую из вершин хода ABCDE провести прямые, параллельные осевому меридиану, тогда  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  будут дирекционные углы, которые требуется вычислить для решения прямой задачи. Дирекционный угол одной из сторон, например АВ, должен быть известен. Если он равен  $\alpha_1$ , то, продолжив прямую АВ, получим:

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2,$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + 180^\circ - \beta_3, \quad \text{и т. д.}$$

В общем виде:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n$$

### **Вычисление, уравнивание приращений координат и вычисление координат пунктов теодолитного хода.**

Сумма приращений координат в замкнутом ходе теоретически должна быть равна нулю. Практически же вследствие неизбежных ошибок при измерении, особенно линий, в этих приращениях появятся невязки. Для замкнутого хода невязки будут равны:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{п}}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{п}},$$

где  $f_x$  и  $f_y$  – невязки в приращениях координат.

По невязкам приращений координат находят абсолютную линейную невязку:

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

В точности выполненных работ убеждаются по относительной линейной невязке:

$$f_{отн} = f_{abc}/L,$$

где  $L$  – периметр хода.

Относительную невязку выражают простой дробью с единицей в числителе. В теодолитных ходах 1 разряда относительная невязка не должна превышать 1:2000 и в ходах 2 разряда 1:1000.

Если невязка допустима, вычисленные приращения исправляют. Невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют так, чтобы поправки в приращениях были пропорциональны длине сторон со знаком, противоположным знаку невязки. Найденные поправки алгебраически суммируют с соответствующими приращениями и получают исправленные приращения координат, сумма которых должна быть равна теоретической. По исправленным приращениям координат от точек с известными координатами последовательно вычисляют координаты всех точек хода.

### **Составление плана по результатам теодолитной съемки.**

Планы вычерчивают на хорошей чертежной бумаге, размер листа зависит от размера участка и выбранного масштаба плана. При построении плана по координатам опорных точек в первую очередь строят координатную сетку. Для этого применяют специальную линейку Дробышева. Это металлическая линейка с шестью вырезами посередине. Один из краев каждого выреза скошен: у первого выреза, помеченного нулем, – по прямой линии, у всех остальных по дугам окружностей с радиусами 10, 20, 30, 40, 50 см от начального штриха. Конец линейки скошен по дуге радиуса 70,711 см. Этой линейкой можно построить координатную сетку на площади квадрата со стороной 50 см, а также на площади прямоугольника со сторонами (катетами) 30, 40 см и диагональю 50 см

Для построения сетки квадратов линейку кладут параллельно нижнему краю листа бумаги и, отступив от него на 5-7 см, проводят по скошенному краю линейки тонкую линию. Затем линейку сдвигают и по скошенному краю каждого выреза пересекают прочерченную линию штрихами.

Укладывают линейку вдоль левого края листа совмещают нулевой штрих с точкой А – пересечением прямой с крайним левым штрихом; следят, чтобы ось линейки была примерно перпендикулярна к прямой АВ. Проводят штрихи по каждому скошенному вырезу.

Кладут линейку по диагонали, совместив нулевой штрих с крайним правым штрихом в точке В. По концу линейки прочерчивают дугу, пересекающую последний верхний штрих в точке С. Таким образом построен прямоугольный треугольник АВС со сторонами 50; 50; 70,711 см

Точно так же строят второй треугольник, для чего укладывают линейку, г)

сначала по линии BD, а затем по диагонали AD и получают второй треугольник ABD. Проверяют верхнюю сторону CD, отклонение может быть допущено не более 0,2 мм. На стороне CD по прорезям линейки отмечают 10-сантиметровые отрезки. Полученные противоположные штрихи соединяют тонкими линиями. Координатная сетка должна быть построена очень точно, так как ошибки в сетке сказываются на точности построения плана. Для контроля построения сетки циркулем-измерителем проверяют равенство диагоналей всех квадратов.

Построение плана. Если координаты вычисляют от условного начала  $X = 0$ ,  $Y = 0$  и значения этих координат невелики, то одну из вертикальных линий сетки принимают за ось X, а одну из горизонтальных - за ось Y. В их пересечении  $x = 0$ ,  $y = 0$ . Намечая начало координат, учитывают размер плана и назначают начальными такие линии сетки, при которых точки с самыми малыми и самыми большими значениями координат разместятся в пределах сетки координат, а план – в центре листа.

Если координаты вычислены в общегосударственной зональной системе, левой крайней линии придают значение ординаты, близкое к наименьшему значению ординаты точки хода, а нижней горизонтальной линии придают абсциссу, близкую к наименьшей абсциссе хода.

Затем относительно известных линий и точек, руководствуясь абрисом, наносят на план подробности, снятые на местности. Способы нанесения контурных точек те же, какие были применены для их съемки на местности. Однако действия совершают при этом в обратном порядке.

## **Лекция № 2.1**

**Геометрическое нивелирование. Задачи и виды нивелирования. Сущность геометрического нивелирования. Влияние кривизны Земли на результаты геометрического нивелирования.**

**Классификация нивелиров. Устройство нивелиров, поверки и юстировки. Нивелирные рейки. Ведение журнала нивелирования. Продольное и поперечное нивелирование. Вычисление отметок связующих и промежуточных точек.**

**Нивелирование поверхности. Создание съемочного обоснования для нивелирования поверхности разбивкой сетки квадратов. Обработка результатов измерений, контроль полевых измерений.**

**Сущность геометрического нивелирования. Классификация нивелиров**

Высоту точек местности определяют измерением превышений  $h$  между ними.

Зная высоту  $H_A$  начальной точки А над уровнем моря или какой-либо другой уровенной поверхностью MN, высоту  $H_B$  определяемой точки В находят по формуле

$$H_B = H_A + h.$$

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

Геометрическое нивелирование ведут способом из середины. На начальной (задней) и определяемой (передней) точках ставят отвесно рейки с делениями, обозначенными снизу вверх. Между рейками ставят нивелир. Его визирную ось приводят в горизонтальное положение и наводят последовательно на заднюю и переднюю точки и берут отсчеты, превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней рейке. Отметку точки В вычисляют также через высоту линии визирования, которую называют горизонтом прибора ГИ,

$$ГИ = H_A + z; \quad H_B = ГИ - П.$$

В отдельных случаях применяют способ нивелирования вперед. На передней точке ставят рейку, на задней точке - нивелир. Приводят его визирную ось в горизонтальное положение и измеряют высоту нивелира  $i$ . В трубу читают на рейке отсчет П, тогда  $h = i - П$ , т. е. превышение равно высоте прибора минус отсчет (взгляд) вперед.

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

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

#### *Нивелиры и нивелирные рейки*

**Нивелир Н-3**, как и НВ-1, имеет зрительную трубу, наглухо скрепленную с цилиндрическим уровнем, и подставку (рис.1.33). Зрительная труба 30-

кратного увеличения дает обратное изображение. Ее наводят на рейку сначала приближенно, визируя по мушке при отпущенном закрепительном винте, затем - точно с помощью

наводящего винта, глядя в трубу. Приближенно горизонтируют (нивелируют) прибор по круглому уровню, действуя подъемными винтами. Точно приводят луч визирования в горизонтальное положение при помощи цилиндрического контактного уровня, действуя элевационным винтом. Наблюдатель отсчитывает рейку, видимую в поле зрения трубы (рис. ) рядом с изображением уровня в тот момент, когда половинки концов пузырька пришли в контакт.

**Нивелир Н-ЗК (НС-4)** имеет компенсатор, помещенный в зрительной трубе между объективом и сеткой нитей. Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм: одна подвешена на двух парах тонких скрещивающихся стальных нитей, другая наглухо скреплена с корпусом трубы. При наклоне зрительной трубы на небольшой угол (до  $\pm 15'$ ) подвижная призма наклоняется в противоположную сторону на угол, рассчитанный так, чтобы направить горизонтальный луч, идущий от рейки на высоте центра объектива, точно на перекрестие сетки нитей. Компенсатор начинает работать после приближенного горизонтирования нивелира по круглому уровню. Нивелир Н-10 имеет зрительную трубу с увеличением  $23\times$ , скрепленный с ней контактный цилиндрический уровень и горизонтальный круг. На рейку трубу наводят вручную. Роль подставки в нивелире выполняет шаровая пята. Наклоняя в ней прибор, его приближенно горизонтируют по круглому уровню. Точно приводят визирную ось трубы в горизонтальное положение элевационным винтом. Горизонтальный круг можно отсчитать с точностью до  $0,1^\circ$ .

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

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

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

Рейка РН-3 (рис. 1.35.) имеет цену деления 1 см. Каждый ее дециметр оцифрован прямыми или перевернутыми цифрами. Изготавливают складные (длиной 3 и 4 м) и цельные (длиной 1,5 и 3 м) рейки. В шифр рейки включают ее характеристики. Например, РН-3П-3000С: РН - рейка нивелирная, 3 - для точных работ, П - нивелирами прямого изображения, 3000-3-метровая, С - складная

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

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

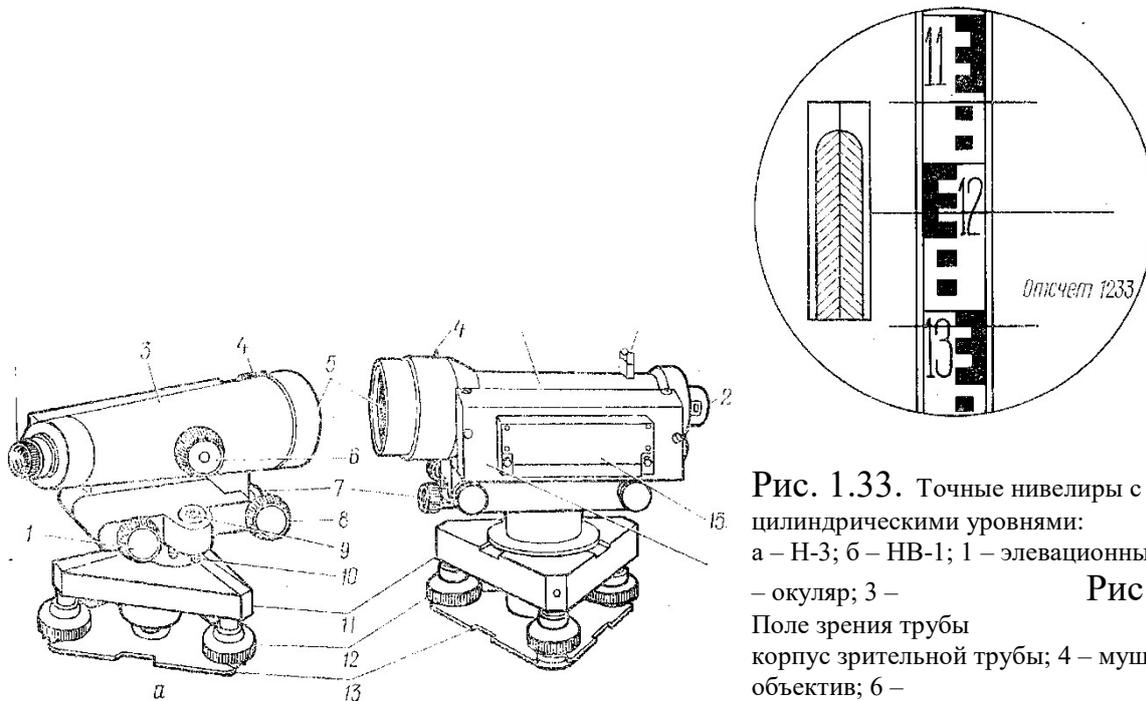


Рис. 1.33. Точные нивелиры с цилиндрическими уровнями:  
 а – Н-3; б – НВ-1; 1 – элевационный винт; 2 – окуляр; 3 –  
 Рис. 1.34  
 Поле зрения трубы  
 корпус зрительной трубы; 4 – мушка; 5 –  
 объектив; 6 –

уровнем  
 головка кремальеры; 7,8 – закрепительный и наводящий винты;  
 9 – круглый уровень; 10 – исправительные винты круглого уровня;  
 11 – подставка; 12 – подъемные винты; 13 – пружинящая пластина;  
 14 – целик; 15 – крышка коробки уровня с зеркалом; 16 – коробка  
 с цилиндрическим уровнем.

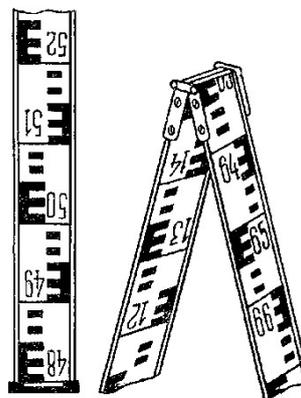


Рис. 1.35 Нивелирная рейка.

### Проверки нивелиров и реек

В нивелирах проверяют и при необходимости исправляют установку круглого уровня и сетки нитей, а также соблюдение основного условия геометрического нивелирования. Ось круглого уровня должна быть

параллельна оси нивелира; проверяют и исправляют так же, как и цилиндрический уровень теодолита. Вертикальная нить сетки должна лежать в отвесной плоскости; выполняют так же, как и соответствующую поверку теодолита.

Основное условие геометрического нивелирования состоит в том, что визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальна, а в нивелирах с цилиндрическими уровнями, кроме того, и параллельна оси уровня. Для проверки этого условия на ровном участке местности откладывают отрезок 50 м. На концах линии забивают колышки. Над одним из них устанавливают нивелир, причем так, чтобы окуляр проектировался на центр колышка, а над другим – рейку. После того как нивелир приведен в рабочее положение, делают отсчет  $a_1$  по рейке и рулеткой или рейкой измеряют высоту нивелира  $i_1$ . Затем нивелир и рейку меняют местами и получают соответствующие значения  $a_2$  и  $i_2$ . Погрешность из-за не параллельности визирной оси и оси уровня ( $x$ ) вычисляют по формуле:

$$x=(a_1+a_2):2-(i_1+i_2):2.$$

Если  $x$  больше 4 мм, то вносят исправление. Для этого, вращая специальный элевационный винт, устанавливают на рейке верный отсчет  $a_2'=a_2-x$ . Ослабив боковые винты, совмещают концы пузырька с помощью вертикальных исправительных винтов уровня.

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

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

### *Погрешности и точность нивелирования*

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

Стремясь направить луч визирования горизонтально, его отклоняют от уровня поверхности, проходящей через трубу нивелира, на отрезок  $k$ . Следовательно, в отсчет вносится погрешность, вызываемая кривизной Земли. Правда, она несколько уменьшается потому, что лучи света в атмосфере несколько искривляются, как бы огибая Землю. Однако при величине плеча 100 м и более становится заметной ошибка в превышении из-

за кривизны Земли и атмосферной рефракции. Но если рейки ставить на одинаковом расстоянии от нивелира, например в точках *B* и *D*, то погрешности за кривизну Земли и рефракцию, равные по абсолютной величине, но разные по знаку, компенсируются и не влияют на результаты нивелирования. В связи с этим лучше применять нивелирование из середины с допустимым неравенством плеч 5-10 м; нивелирование вперед – в исключительных случаях и только при длине плеча не более 100 м.

Рейка должна стоять вертикально; проседание ее устраняют установкой на колья и башмаки. Если на рейке уровень отсутствует и отсчет более 1000 мм, ее покачивают в створе линии визирования и за правильный отсчет принимают самый малый из наблюдаемых.

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

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

## **Лекция № 2.2**

**Геодезические работы при проведении лесохозяйственных мероприятий**

**Геодезические работы при изысканиях и строительстве лесных дорог.**

**Полевые геодезические работы по укладке и разбивке трассы лесовозной дороги. Разбивка пикетажа и поперечников. Разбивка главных точек кривых.**

**Геометрическое нивелирование трассы и привязка ее к реперам и маркам. Обработка журнала нивелирования. Составление продольного и поперечного профилей.**

**Геодезические работы при проведении лесохозяйственных мероприятий**

Цель геодезических работ, которые выполняют при изысканиях линейных сооружений (лесохозяйственных и лесовозных дорог; осушительных каналов, лесных полос и др.), - обеспечение строительного проектирования данными о топографии местности в полосе расположения трассы. К ним относятся план, профиль, материалы топографической съемки, выполненные при геологических, гидрогеологических и других изысканиях.

Предварительно выполняют камеральное трассирование, определяя наиболее

целесообразное размещение вариантов трассы и выбирая лучший из них исходя из экономических показателей. Камеральное трассирование ведут по топографическим картам масштабов 1:1 0000-1:50000, а при их отсутствии - по карте масштаба 1:100000, аэроснимкам или материалам предварительной съемки узких (ДО 300 м) полос местности - наиболее приемлемых вариантов трассы. Выбранный вариант трассы выносят на местность. По оси трассы ведут горизонтальную и вертикальную съемки способами проложения теодолитного и нивелирного ходов. С использованием материалов теодолитной съемки составляют план трассы, а по материалам продольного нивелирования ее профиль.

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

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

**Проложение теодолитного хода.** При определении планового положения трассы по ее оси прокладывают теодолитный ход, измеряя углы между смежными участками трассы, а также их длину. Горизонтальные углы измеряют теодолитом одним приемом с точностью до  $\pm 0,5\%$ . Правильность измерения грубо контролируют по разности магнитных азимутов (румбов) направлений, определяемых при измерении углов. Расстояния измеряют землемерными лентами или дальномерами двойного изображения в одном направлении. Правильность измерений контролируют при разбивке пикетажа. Участки с наклоном  $15^\circ$  и более приводят к горизонту. По результатам измерения горизонтальных углов вычисляют углы  $\epsilon$  поворота трассы. Углом поворота называют угол, составленный продолжением

предыдущего направления трассы и последующим ее направлением. Если измеряют правые по ходу горизонтальные углы, то углы поворота вычисляют по формулам

$$\begin{aligned}\theta_{\text{п}} &= 180^\circ - \beta, \\ \theta_{\text{л}} &= \beta - 180^\circ.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{послед}} &= \alpha_{\text{пред}} + \theta_{\text{п}}, \\ \alpha_{\text{послед}} &= \alpha_{\text{пред}} - \theta_{\text{л}}.\end{aligned}$$

**Пикеты и плюсовые точки.** При повторном измерении линий трассу разбивают на пикеты - отрезки длиной 100 м по горизонтальному проложению. Концы 100-метровых отрезков, называемых также пикетами, нумеруют порядковыми числами 0, 1, 2 и т. д. Нулевой пикет (ПК0) ставят в начале трассы, в конце первой сотни метров ПК 1, второй ПК2 и т. д. При такой системе обозначения номер пикета указывает на его удаление (в сотнях метров) от начала трассы. Перегибы линий рельефа закрепляют на трассе плюсовыми точками. Такую точку обозначают номером предыдущего пикета с добавлением расстояния (в целых метрах) от этого пикета до нее, например ПК0+60, ПК1+63 и т. д. Каждую пикетную и плюсовую точку закрепляют колом, забиваемым почти вровень с землей. Рядом с ним ставят другой кол - сторожок и на затесе пишут номер точки. Точку окапывают канавкой. Откладывают пикеты землемерной лентой.

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

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

пояснительными надписями, указывая углы поворота - их положение, величину и направление (румб).

**Кривые.** Для обеспечения высокой скорости, плавности и безопасности движения транспорта дорожные трассы в местах поворота строят в виде кривых. Простейшая кривая - дуга окружности. Ее вписывают в угол поворота и рассчитывают в зависимости от величины этого угла, вычисленного при проложении теодолитного хода, и радиуса кривой, установленного исходя из технических требований и топографических условий местности. На лесовозных дорогах, например, радиус кривых должен быть не менее 400 м на магистралях и 150 м на ветках и усах (лишь в стесненных условиях разрешаются 50-30 м. Для разбивки пикетажа на кривой сначала вычисляют элементы кривой:

тангенс	$T=Rtg(\theta/2),$
кривая	$K=\pi R\theta^{\circ}/180^{\circ},$
биссектриса	$B=R(sec(\theta/2)-1),$
домер	$D=2T-K.$

Необходимость вычисления домера вызвана тем что линейные измерения ведут по тангенсам (на них же первоначально ставят и пикеты), а длину трассы исчисляют, по кривой. Ее элементы обычно рассчитывают по таблицам В. Н. Ганьшина и Л. С. Хренова (таблицы для разбивки круговых и переходных кривых.) и др.

**Расчет пикетажного значения начала и конца кривой.** Исходной величиной для расчета служит пикетажное значение вершины угла поворота, установленное при разбивке пикетажа на прямом участке трассы. Вычитая из него длину тангенса, получают пикетажное значение начала кривой, добавив к этому числу длину кривой,- пикетажное значение ее конца. Контролируют вычисления, пользуясь касательными к окружности. Если к пикетажному значению начала кривой добавить длину двух тангенсов или к значению вершины угла - тангенс, тогда результат больше пикетажного значения конца кривой на величину домера. Вычтя из него домер, вновь получают пикетажное значение конца кривой. Расхождение между первым и вторым результатами не должно превышать 1 см, что возможно за счет округлений, допускаемых при расчете элементов кривой. Расчет записывают в пикетажном журнале.

	При м е р:		Контроль
) ВУ1 •	ПК1 + 68,00	ВУ1 _ •	.. ПК1 + 68,00
-Т	- 89,39	+Т •.	..... + 89,39

---

НК	ПК0 + 78,61	$\Sigma =$	ПК2+57,39
+К	$\begin{matrix} 1 + \\ 68,13 \end{matrix}$	-Д.....	- 10,66
КК	ПК2 + 46,74	КК	
ПК2 + 46,73			

Определение положения главных точек кривой на трассе.

Эту работу выполняют по предварительно составленному разбивочному чертежу .

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

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

### **Полевые работы при нивелировании**

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

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

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

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

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

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

уровень в контакт).

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

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

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

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

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

### **Камеральная обработка результатов горизонтальной и вертикальной съемок трассы**

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

**Увязка превышений** предусматривает устранение несоответствия между

суммой полученных превышений

$\sum h_{np}$  и ее теоретическим значением  $\sum h_m$  в ходе. В замкнутом ходе  $\sum h_m$  равна нулю, в разомкнутом - разности отметок конечного  $H_k$  начального  $H_n$  реперов.

Невязки в замкнутом и разомкнутом ходах вычисляют по формулам

$$f_h = \sum h_{np}$$

$$f_h = \sum h_{np} - (H_k - H_n)$$

Если невязка не превышает допустимую, в средние превышения вводят одинаковые поправки  $\omega_h$  (с округлением до целых миллиметров) со знаком, обратным знаку невязки. В нивелирном журнале их указывают над средними превышениями, а ниже - исправленные превышения.

**Вычисление отметок.** Высоту связующих точек вычисляют по (35) последовательным алгебраическим суммированием исправленного превышения с отметкой задней связующей точки. Правильность вычислений на каждой странице журнала контролируют по соблюдению равенства

$$H_n - H_1 = \sum h_{испр}$$

В котором  $H_n$  и  $H_1$  - отметки связующих точек, записанных на данной странице соответственно последней и первой в графе «Отметка»;  $\sum h_{испр}$  - сумма исправленных превышений на данной странице.

Высоту промежуточных точек рассчитывают, определив высоту связующих через горизонт нивелира, который находят по (37) дважды - по отметкам задней и передней связующих точек и отсчетам по черным сторонам реек, стоявших на этих точках. В журнал записывают среднее из двух определений. Отметку любой промежуточной точки, отnivelированной с данной станции, находят как разность между горизонтом нивелира и отсчетом по рейке, стоявшей на ней.

**План и профиль трассы.** План составляют в масштабах 1:1 000-1:5000.

Вершины углов поворота наносят на план по их координатам. На предварительных изысканиях трассу можно наносить по измеренным румбам и расстояниям. На плане показывают ситуацию в снятой полосе местности, положение главных точек кривых и поперечников с надписями их пикетажных обозначений. Профиль трассы составляют на миллиметровой бумаге в том же горизонтальном масштабе, что и план. Его вертикальный масштаб в 5-10 раз крупнее горизонтального. Сначала делают разграфку сетки профиля, руководствуясь требованиями к этому документу. Заполнение сетки начинают с нанесения пикетов в графу «Расстояния». Их концы обозначают вертикальными черточками, под которыми указывают номера пикетов. Внутри последних отмечают положение плюсовых точек с указанием расстояний от них до пикетов или соседних промежуточных точек. Расстояния между пикетами не указывают, если между ними нет плюсовых точек. Над каждой черточкой в графе «Отметки земли» записывают округленную до 0,01 м высоту соответствующих пикетов и плюсовых точек. Ниже, в графе «План трассы», схематически показывают кривые участки и соединяющие их прямые. Дужкой, обращенной выпуклостью вверх,

обозначают кривую, вписываемую в правый угол поворота, дужкой вниз - в левый. На схеме указывают данные об элементах кривых, длину и румб прямых вставок. В графе «Ситуация» вычерчивают условный план местности с показом данных о грунтах.

Профильную линию строят от верхней линии сетки (линии условного горизонта). На перпендикулярах к ней откладывают в вертикальном масштабе чертежа отрезки, соответствующие отметкам точек, уменьшенным на число, равное отметке линии условного горизонта. Ее выбирают так, чтобы самая нижняя точка профильной линии была на 5-7 см выше линии условного горизонта. Соединив верхние концы отрезков прямыми линиями, получают профиль трассы. Поперечные профили строят один под другим справа от продольного профиля по правилам, рассмотренным выше.

### **Проектирование по профилю**

При проектировании линейных сооружений (дорог, каналов и др.) на профиль наносят проектную линию и используют его для вычисления проектных и рабочих, а также данных о положении точек нулевых работ.

Требования к проектной линии зависят от назначения и характера дороги. В частности, уклоны должны быть максимально пологими: не более 40% на лесовозных дорогах и 60% на лесохозяйственных. Расстояние между вершинами переломов проектной линии (шаг проектирования) должно обеспечивать размещение вертикальных кривых, необходимых для обеспечения плавности движения и видимости пути. Земляные работы должны быть минимальными при соблюдении баланса, т.е. равенства объемов насыпей и выемок.

Проектные отметки вычисляют по уклону проектной линии, а уклон – по высотам отдельных фиксированных точек этой линии: местам примыкания к другим дорогам, рассчитанным или заданным высотам мостовых переходов и др. С использованием отметок таких точек, уклон проектной линии вычисляют по формуле:

$$i = (H_k - H_n) / S,$$

$H_k, H_n$  – проектные отметки конца и начала линии;  $S$  – длина горизонтального проложения линии.

Отметки всех других точек данной проектной линии получают по формуле:

$$H_{\text{послед}} = H_{\text{пред}} + iS_j,$$

где  $i$  – уклон, вычисленный по;  $H_{\text{послед}}$ ,  $H_{\text{пред}}$  – проектная отметка предыдущей и последующей точек;  $S_j$  – длина горизонтального проложения линии, соединяющей эти точки.

Рабочая отметка – разность между проектной отметкой и отметкой земли.

Точка нулевых работ – точка пересечения проектной линии с профилем земли. Она расположена на месте перехода насыпи в выемку или выемки в насыпь. При проектировании рассчитывают удаление точки нулевых работ от ближайших к ней пикетов и плюсовых точек трассы, а также ее высоту. Результаты расчетов оформляют графически на профиле трассы.

