

**Министерство науки и образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»**

«Инженерная геодезия»

*Методические материалы
для обучающихся по направлению 07.03.01
Архитектура Профиль "Архитектура"*

Воронеж 2022

Составители:

Доцент Кафедры «Кадастр недвижимости, землеустройства и геодезии» к.т.н.Хахулина Н.Б.

Ассистент Кафедры «Кадастр недвижимости, землеустройства и геодезии» Невинская Н.В..

Введение

Геодезия — наука о производстве измерений на местности, о форме и размерах Земли, способах изображения ее и объектов на ней находящихся на планах, картах, фотопланах, а также в виде трехмерных и цифровых моделей. Геодезия возникла в глубокой древности в связи с потребностью выполнения строительных, сельскохозяйственных и др. работ. Геодезия имеет широкое применение в различных областях науки и производственной деятельности. В настоящее время значимость геодезии существенно возросла в связи с проведением высокотехнологичных работ требующих точной информации и широкого применения цифровых технологий.

В связи с многообразием решаемых проблем геодезия подразделяется на ряд дисциплин: высшая геодезия, топография, фотограмметрия, архитектурная фотограмметрия, инженерная геодезия и др. Высшая геодезия определяет размеры и форму Земли, рассматривает методы и средства создания геодезических сетей. Топография занимается съемкой местности для создания карт, планов, цифровых моделей местности. Фотограмметрия разрабатывает приемы и методы обработки аэрокосмических и наземных снимков с целью получения точной метрической информации, а также решения задач мониторинга. Архитектурная фотограмметрия решает проблемы обмеров и исследований памятников архитектуры, а также фотограмметрической съемки центров исторических городов. Инженерная геодезия изучает комплекс геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных сооружений.

Знание основ геодезии необходимо практически для всех специалистов, работающих с использованием точных метрических данных о земной поверхности и объектах производства работ, будь то архитектура или строительство, выполнение архитектурных, реставрационных, дизайнских или других проектов.

Студентам, обучающимся по направлению подготовки (специальности) 07.03.01. – «Архитектура» (квалификация «бакалавр») требуются комплексные знания различных разделов геодезии, основы которых будут рассмотрены далее.

Глава 1. Основные понятия и положения Геодезии

1.1. Форма и размеры Земли

Геодезические измерения проводятся для получения метрической информации об объектах и территории их окружающей, о взаимном расположении объектов, получения различных характеристик этих объектов и в целом для хозяйственной деятельности на данной территории. Геодезические измерения выполняют на физической поверхности Земли, поэтому важно знать форму (фигуру) Земли и ее параметры.

Под формой Земли понимается не, физическая ее поверхность со всеми неровностями, а некоторая воображаемая уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью воды в океанах и морях в спокойном ее состоянии, мысленно продолженная под материками, при условии перпендикулярности ее во всех своих точках к отвесным линиям, т. е. к линиям направления силы тяжести.

Такая уровенная поверхность называется поверхностью геоида, а геометрическое тело, ограниченное ею, называется геоидом.

Современные исследования показали, что поверхность геоида представляет собой сложную фигуру, которую нельзя выразить какой-либо простой математической формулой, поэтому для решения различных измерительных задач используют вспомогательную поверхность, с одной стороны, простую и достаточно хорошо изученную в математическом отношении и, с другой стороны, возможно близкую к поверхности геоида.

При решении многих задач, не требующих высокой точности, в качестве первого приближения к поверхности геоида принимают поверхность шара радиуса 6371 км. Однако специальные исследования, начатые в конце XVII века, показали, что точнее Землю считать не шаром, а эллипсоидом вращения, т. е. геометрическим телом, полученным в результате вращения эллипса во-

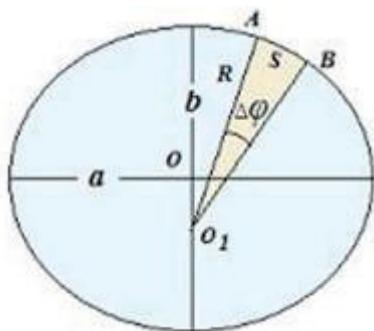


Рис. 1.1

круг его малой оси. Эллипсоид, наиболее близко подходящий по своим размерам к геоиду, называют *земным эллипсоидом*, или *сфероидом*. Показано на рис. 1.1. Размеры земного эллипсоида определяются величинами его полуосей, большой и малой. Большую полуось a эллипсоида называют *экваториальной полуосью*, а малую полуось b — *полярной полуосью*.

Величина дроби $\alpha = \frac{a-b}{a}$ определяет полярное сжатие эллипсоида.

Центр общеземного эллипсоида помещают в центре масс Земли, ось вращения совмещают со средней осью вращения Земли, а размеры принимают такие, чтобы обеспечить наибольшую близость поверхности эллипсоида к поверхности геоида. Для уменьшения отклонений геоида от эллипсоида, последний ориентируется в теле Земли. Эллипсоид с определенными параметрами и ориентированный в теле Земли, называется *референц-эллипсоидом*. В разных странах приняты референц-эллипсоиды с разными параметрами, что обусловлено особенностями географического положения и стремлением свести к минимуму величины отклонений геоида от референц-эллипсоида.

В России размеры эллипсоида были получены выдающимся геодезистом Ф.Н. Красовским в 1946 г. Эллипсоид Красовского имеет параметры: $a=6378245\text{м}$; $b=6356863\text{м}$; $\alpha=1/298,3$. Общеземной эллипсоид используют при решении глобальных геодезических задач, и в частности, при обработке спутниковых измерений. В настоящее время широко используются двумя общеземными эллипсоидами: ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г, Россия) и WGS-84 (Мировая геодезическая система 1984 г, США).

1.2. Общие понятия о системах координат

Координатами называются угловые или линейные величины, определяющие положение точки на какой-либо поверхности или в пространстве относительно линий или плоскостей, принятых за начальные.

Для определения положения точек в геодезии применяют пространственные прямоугольные, географические, плоские прямоугольные, полярные и биполярные системы координат, позволяющие сравнительно просто определять положение точек как непосредственно на местности, так и на карте.

Пространственные прямоугольные координаты. Начало системы координат расположено в центре O земного эллипсоида (рис. 1.2). Ось Z направлена вдоль оси вращения эллипсоида на север. Оси X и Y расположены в плоскости экватора, ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора с начальным — гринвичским меридианом, проходящим через центр обсерватории в городе Гринвич (близ Лондона). Ось Y направлена перпендикулярно осям Z и X на восток. Подобные системы называют геоцентрическими системами координат.

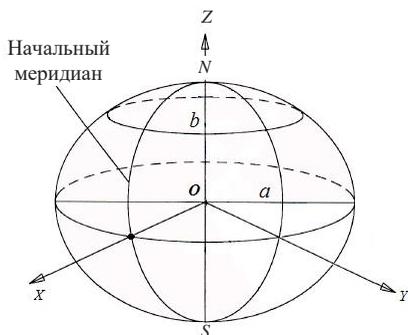


Рис.1.2

Географическими координатами называются угловые величины — широта и долгота, определяющие положение точек земной поверхности относительно плоскости экватора и плоскости одного из меридианов, принятого за начальный. В упрощенном виде за форму Земли можно принять шар.

В этом случае, *географической широтой* точки называется угол между нормалью к поверхности шара в данной точке и плоскостью экватора. Географическую широту принято обозначать буквой φ или B . Широты отсчитываются от экватора к полюсам. Величина широт изменяется от 0 до 90° . В Северном полушарии широты считаются северными, а в Южном — южными (рис. 1.3).

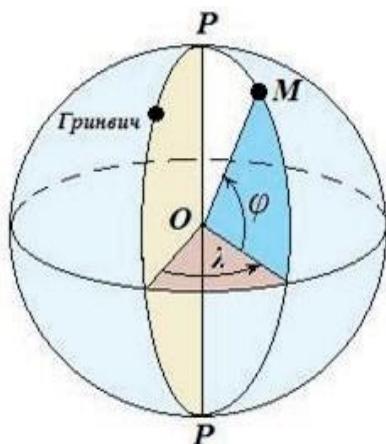


Рис. 1.3

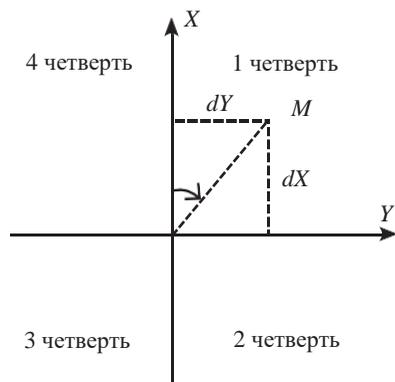


Рис. 1.4

Географической долготой точки называется двугранный угол между плоскостью меридиана, принятого за начальный, и плоскостью меридиана данной точки. Географическую долготу принято обозначать буквой λ или L . Долготы, отсчитываемые к востоку от Гринвичского меридиана, называются восточными, а к западу — западными. Величина долгот изменяется от 0 до 180° .

Географические координаты могут быть определены для любой точки земной поверхности из астрономических наблюдений или геодезических измерений.

Плоские прямоугольные координаты определяют в линейных величинах положение точки на плоскости относительно двух взаимно-перпендикулярных линий, называемых осями координат. Сущность плоских прямоугольных координат заключается в следующем. Основу системы составляют координатные оси: ось абсцисс X и ось ординат Y . Точка O , полученная в пересечении этих осей, является началом координат. Четыре прямых угла, образованных осями координат, называются координатными четвертями. Первая

четверть образована положительными направлениями осей абсцисс и ординат. Счет четвертей ведется по движению часовой стрелки. Положение любой точки, например точки M , будет определено, если измерены ее абсцисса X и ордината Y (рис. 1.4).

Полярные координаты определяют положение точки на плоскости относительно точки, называемой полюсом, и прямой линии, называемой полярной осью. Положение точки, например точки A , в полярной системе координат определяется расстоянием $OA = D$ относительно полюса O и горизонтальным углом (углом в горизонтальной плоскости) $POA = \alpha$ относительно полярной оси, или полярным углом (рис. 1.5).

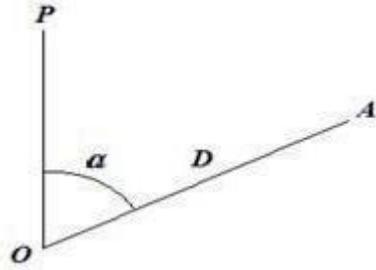


Рис. 1.5

1.3. Проекция Гаусса

Нельзя развернуть поверхность Земли на плоскость карты без разрывов и искажений. При создании карты, прежде всего, необходимо на бумаге построить основу. Такой основой является географическая сетка, состоящая из параллелей и меридианов. Построение основы для создания карты осуществляется по прямоугольным координатам, вычисленным, в определенной картографической проекции.

Немецкий математик Гаусс, разработал общую теорию такой проекции в 1825 году. *Рабочие формулы равноугольной проекции были даны Л. Крюгером в 1912 году, вследствие чего эту проекцию в литературе иногда называют проекцией Гаусса–Крюгера.*

В этой проекции поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, называемым зонами. Зоны ограничены меридианами (рис. 1.6). Размер зоны по долготе равен 6° . Центральный меридиан каждой зоны называется осевым. Отсчет зон идет от Гринвичского (нулевого) меридиана к востоку. Например, город Москва расположен в седьмой зоне, что соответствует 37 колонне по общемировой разграфке (системе разделения) топографических карт.

Проекцию Гаусса определяют следующие условия:

проекция равноугольная, т. е. сохраняет равенство углов и подобие бесконечно малых фигур;

один из меридианов, называемый осевым и экватор изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных прямых, по отношению к которым остальные меридианы и параллели располагаются симметрично.

масштаб изображения сохраняется только вдоль осевого меридиана.

В России принята система прямоугольных координат, основой которой является равноугольная поперечно–цилиндрическая проекция Гаусса.

Осевой меридиан зоны и экватор изображаются на плоскости прямыми линиями (см. рис. 1.6, б). Осевому меридиану принимают за ось абсцисс X , а экватор — за ось ординат Y . Их пересечение (точка O) служит началом координат данной зоны.

Чтобы избежать отрицательных ординат, условно в каждой зоне начало отсчета ординат перенесено на 500 км к западу. Перед значением ординаты указывается номер зоны.

С 1946 по 2002 гг. в России была установлена единая система координат СК-42. С 2002 года она заменена общегосударственной системой координат СК-95.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 г. «О единых государственных системах координат» приняты единые государственные системы координат:

геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011) — для использования при осуществлении геодезических и картографических работ (СК-95 и СК-42 являются действующими системами координат до 2017 г.);

общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года»

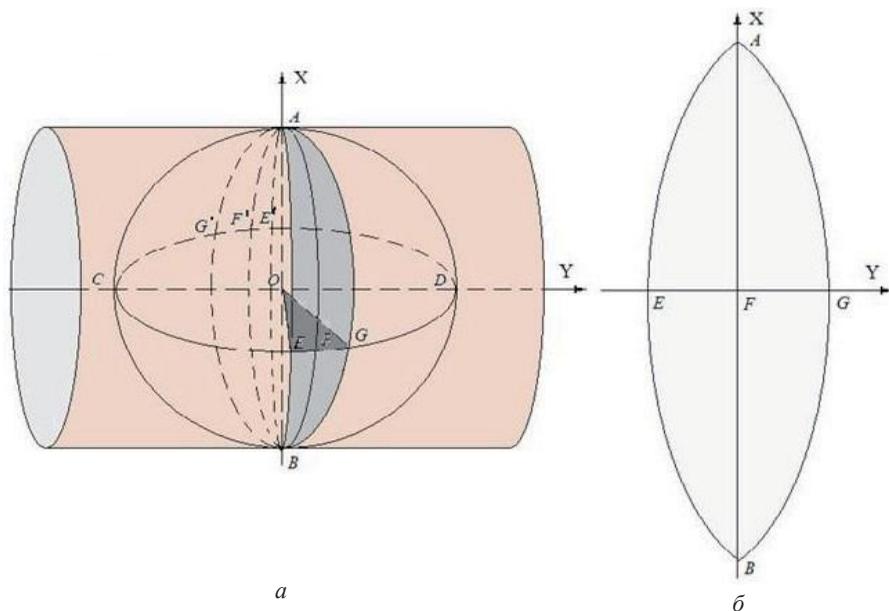


Рис. 1.6

(ПЗ-90.11) — для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

При выполнении работ на небольших участках земной поверхности зачастую используют условную или местную систему прямоугольных координат, в которых направления осей и начало координат назначают, исходя из удобства их использования в ходе выполнения работ и последующей эксплуатации объектов.

1.4. Системы высот

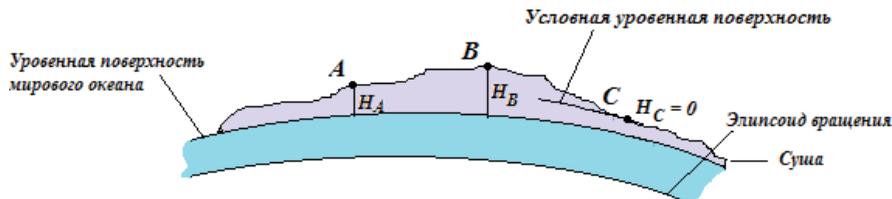


Рис. 1.7

для определения положения точки, находящейся на физической поверхности Земли относительно исходной уровенной поверхности, помимо плоских координат, необходима третья координата — высота H .

Высоты точек местности отсчитываются от уровенной поверхности мирового океана по направлению отвесной линии. Высоты бывают абсолютные H_A , H_B и относительные H_C .

В нашей стране с 1946 г. *счет абсолютных высот ведется от нуля Кронштадтского футштока (рис. 1.8), соответствующего среднему уровню Балтийского моря в спокойном его состоянии (Балтийская система высот).*

Высоты, отсчитанные от иной уровенной поверхности, называются относительными (на рис. 1.7 H_C). При съемке небольших участков, при обмерных работах, а также на стройплощадке часто применяют относительную или условную систему отсчета высот.

Численное значение высоты точки называется отметкой точки. Разность высот двух точек, называется превышением. Превышение h точки B над точкой A , равное разности высот точек A и B , определяется как $h = H_B - H_A$.

Зная высоту точки A , для определения высоты точки B на местности измеряют превышение h_{AB} . Высоту точки B вычисляют по формуле $H_B = H_A + h_{AB}$.

Измерение превышений и последующее вычисление высот точек называется нивелированием.



Рис. 1.8

Глава 2. Топографические карты и планы

2.1. Ортогональная проекция. Общие понятия

Участки земной поверхности, как правило, изображают на плоском листе бумаги. для решения различных практических и инженерных задач пользуются изображениями земной поверхности, которые представляют в виде планов и карт, либо в виде их электронных аналогов — цифровых моделей местности (ЦММ) или цифровых карт (ЦК), на которых представлены контуры объектов местности: лесов, угодий, рек и озер, дорог, зданий и сооружений, линий электропередач, линий связи, рельефа местности и других объектов согласно принятым условным обозначениям.

Картой называют уменьшенное и обобщённое изображение на плоскости значительных участков земной поверхности, полученное в определенных масштабе и проекции, а также с использованием условных знаков. для изготовления карты объекты местности проектируют на поверхность земного эллипсоида и полученное изображение переносят на плоскость. Такой перенос невозможно выполнить без искажений, определённых законом перехода от геодезических координат объектов к плоским координатам карты, то есть, *картографической проекцией.*

Топографические карты в России издают в поперечной цилиндрической проекции Гаусса — равноугольной проекции, в которой прямыми линиями без искажений изображаются осевой меридиан зоны и экватор.

В то же время небольшую часть поверхности Земли можно без ущерба для точности принять за плоскость и получить ее изображение на бумаге с сохранением полного подобия всех очертаний местности. Такое изображение называется планом.

В результате специальных расчетов установлено, что в средних широтах за плоскость может быть принят любой участок земной поверхности, составляющий по меридиану $20'$ и по параллели $30'$.

В геодезии используют ортогональный метод проектирования, при котором точки земной поверхности A, B, C, D, E, F (рис. 2.1) проектируют отвесными линиями на урвенную (горизонтальную) поверхность и получают горизонтальную проекцию соответствующих точек физической земной поверхности a, b, c, d, e, f .

Изображение местности, полученное в ортогональной проекции, оказывается весьма удобным для изучения геометрических соотношений между объектами местности. Это объясняется тем, что углы на таком изображении равны или весьма близки углам между соответствующими направлениями на местности, а расстояния — соответственно пропорциональны. Заметим что на горизонтальной плоскости

показываются не наклонные расстояния измеренные на местности называемые *наклонными дальностями*, а их горизонтальные проекции или *горизонтальные проложения*.

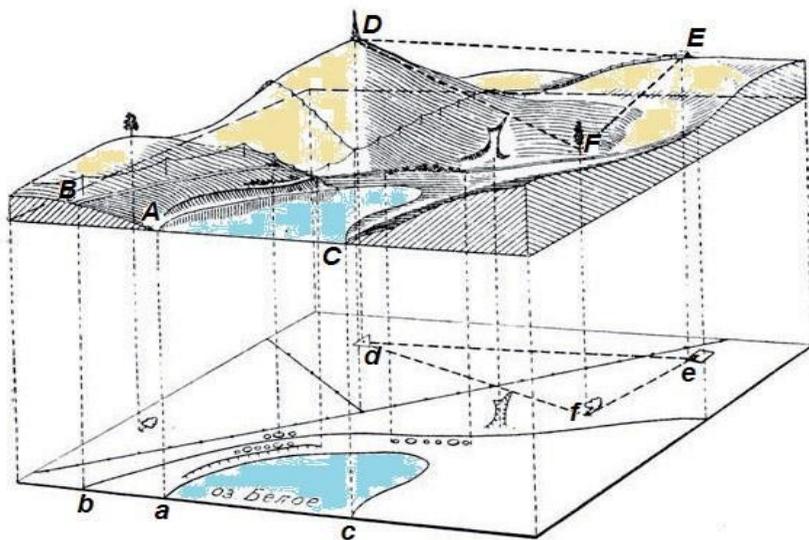


Рис. 2.1

Изображение контуров различных объектов оказывается по начертанию подобным соответствующим контурам в натуре. Таким образом, изображение местности, полученное в ортогональной проекции, позволяет производить измерение углов и расстояний, определять конфигурацию и взаимное расположение местных предметов, находить свое местоположение и направление движения или, как это принято называть, ориентироваться на местности.

2.2. Понятие условных знаков

Весьма важным вопросом для успешного использования карт и планов является вопрос о способах изображения на них различных качественных характеристик предметов местности.

Чтобы сделать карту достаточно наглядной и удобной, **применяют систему топографических условных знаков**. В этой системе для каждого предмета местности или группы однородных предметов устанавливается особое графическое изображение — знак. Из отдельных топографических условных знаков, расставленных на карте, графическим путем создается картина местности.

Из этого следует, что знание топографических условных знаков необходимо как для правильного их применения при создании карты, так и для успешного изучения местности по карте. Отметим, что уяснение по карте характера местности и расположения на ней тех или иных объектов называют *чтением карты*. Изображение местности топографическими условными знаками, называемое *картографическим изображением* (2.2).

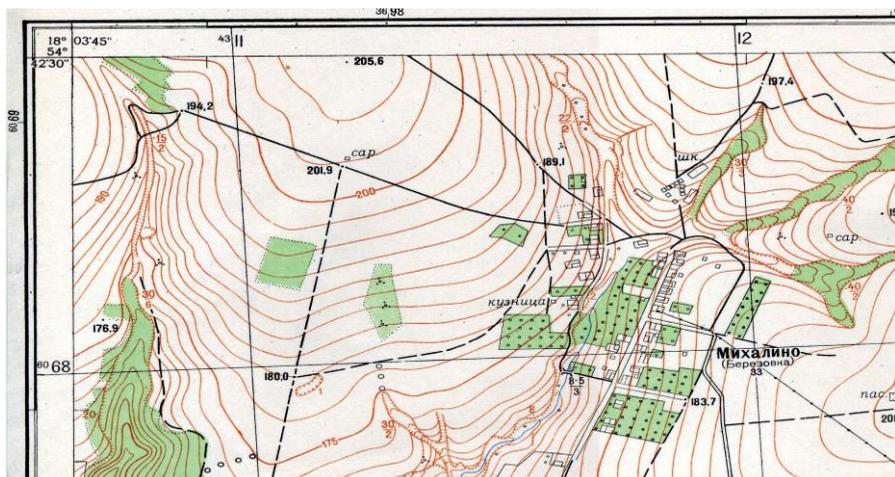


Рис. 2.2

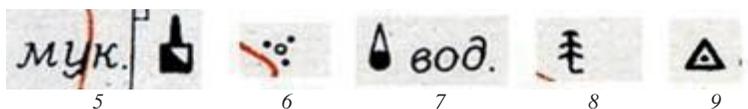
Условные знаки должны позволять легко читать карту, т. е. давать ясное представление о выраженной ими местности. для этого они должны быть по возможности наглядными (напоминать характер изображаемых предметов) и стандартными для всех топографических карт.

Условные знаки можно разделить на следующие группы: **масштабные, внесматбные, линейные, площадные и пояснительные**.

Масштабные условные знаки служат для изображения местных предметов, выражающихся в масштабе карты или имеющих четкие границы, при этом на карте сохраняется сходство контуров (очертаний, границ) изображающихся предметов и их ориентировка. Например: загон 1, пасека 2, отдельно стоящий сарай 3, отдельно стоящий двор 4. Контур таких объектов на карте вычерчивается тонкой сплошной линией или показывается пунктиром.



Внемасштабные условные знаки служат для показа местных предметов, не изображающихся в масштабе карты. По этим условным знакам невозможно судить о размерах соответствующих местных предметов. Определенная точка в каждом из этих знаков соответствует положению предмета на местности. У некоторых условных знаков эта точка располагается в центре знака (пункты триангуляции, склады горючего, колодцы, заводы и фабрики без труб и др. — 6, 7, 9). У других знаков — в середине основания (ветряные мельницы, деревянные и каменные, памятники и др.), в вершине прямого угла в основании знака (километровые столбы, указатели дорог, ветряные двигатели и др. — 8, в центре нижней части знака (заводы с трубами, радиомачты, постройки башенного типа и др. — 5.

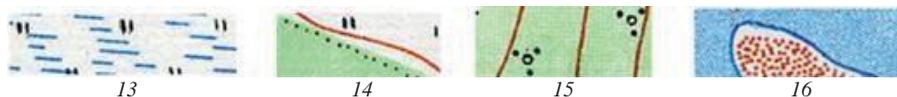


Линейные условные знаки служат для показа объектов местности, имеющих большую протяженность и небольшую ширину, как выражающихся в масштабе карты (широкие реки), так и не выражающихся в масштабе (ручьи, тропинки, проселочные дороги, линии электропередач и т.д.). Ширина таких условных знаков на карте выражена, как правило, вне масштаба, однако положению данных объектов местности соответствует продольная ось условного знака.

Например: ручей в овраге — 10; грунтовая дорога — 11; линия электропередачи — 12.



Площадные условные знаки служат для отображения однородных объектов, покрывающих большие участки земной поверхности (болота — 13, леса — 14, кустарники — 15, пашни, озера — 16 и т.д.), границы которых можно установить.



Контур таких объектов на карте вычерчивается точечным пунктиром и заполняется значками или отмывкой определенного цвета, отличающими его от других местных предметов. Порядок расположения заполняющих значков и отмывок строго определен и регламентируется ГОСТом на условные знаки соответствующих масштабов.

Пояснительные условные знаки служат для дополнительной характеристики изображаемых на карте местных предметов. Например, длина, ширина и грузоподъемность мостов; ширина и характер покрытия дорог, число дворов в населенных пунктах, глубина и характер грунта брода, направление и скорость течения рек, знаки пород леса средняя высота и толщина деревьев в лесу и т. д. Различные надписи на картах также носят характер пояснительных знаков; каждая из них делается установленным шрифтом и буквами определенного размера.

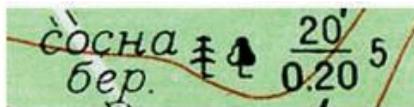
17— характеристика моста: длина 15 м, ширина 5 м, грузоподъемность 10 т. 18— характеристика отдельно лежащего камня: высота камня 2 м, камень лежит на отметке 144,9 м. 19— характеристика леса: основные породы деревьев – сосна и береза; средняя высота деревьев – 20 м; среднее расстояние между деревьями – 5 м, средний диаметр деревьев – 0.20 м.



17



18



19

Топографические карты издаются многокрасочными: объекты гидрографии (реки, озера) закрашивают голубым цветом, растительность – зеленым, элементы рельефа изображаются коричневым цветом и т.д., что значительно облегчает чтение карты.

Неровности земной поверхности называемые рельефом показываются на топографических картах горизонталями - линиями равных высот. Горизонтали показаны коричневым цветом и далее о них будет рассказано более подробно. Отдельные части рельефа, крутизна которых больше 45°, горизонталями на картах не изображают, их выражают специально установленными условными знаками. Так, склоны обрывистых оврагов изображают коричневыми зубчиками, рядом подписывается высота обрыва (рис. 2.3).

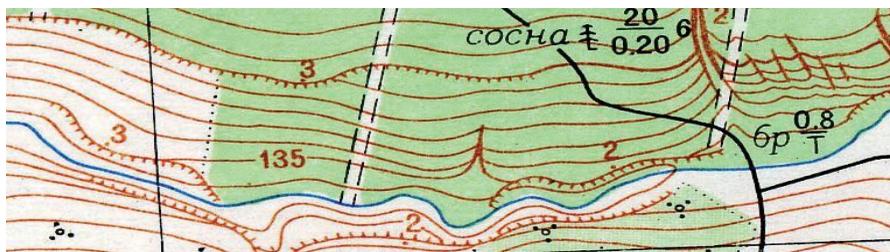


Рис. 2.3

Кроме того, горизонталями не могут быть выражены некоторые другие детали рельефа, например: курганы, ямы, камни, карстовые воронки и пр. Указанные элементы рельефа изображают установленными внемасштабными условными знаками.

2.3. Масштабы. Масштабный ряд топографических карт России

Численный масштаб. Итак, мы установили, что уменьшенное изображение местности, полученное в ортогональной проекции и вычерченное на бумаге в условных знаках называется топографической картой или планом. **Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане или карте называется масштабом.**

Степень уменьшения, или масштаб карты, выражают в виде простой дроби

$1 : M$. Такой масштаб называется *численным*. Знаменатель M численного масштаба является отвлеченным числом, показывающим, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения линий местности при изображении их на карте.

для топографических и обзорно-топографических карт и планов России установлен масштабный ряд (рис. 2.4).

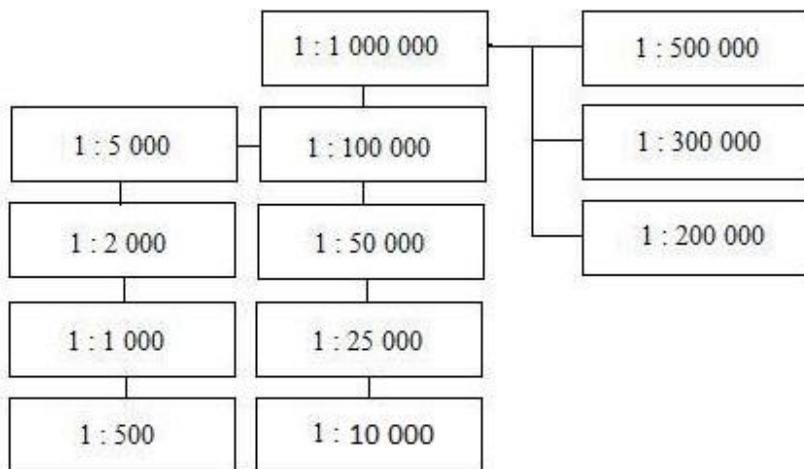


Рис. 2.4

В основе данного масштабного ряда лежит лист карты масштаба 1 : 1 000 000.

Масштабный ряд 1 : 500 000 – 1 : 200 000 является вспомогательным и используется в основном военными.

Масштабный ряд $1 : 100\ 000 - 1 : 10\ 000$ является основным масштабным рядом топографических карт.

Масштабный ряд $1 : 5\ 000 - 1 : 500$ является основным масштабным рядом топографических планов.

Так, на картах масштаба $1 : 5\ 000$, $1 : 10\ 000$ и $1 : 25\ 000$ горизонтальные проложения линий местности уменьшены соответственно в $5\ 000$, $10\ 000$, $25\ 000$ раз. Следовательно, если длину линии на карте обозначить через d , то ей будет соответствовать горизонтальное проложение линии местности длиной

$$S = d M$$

Задача 1. На карте масштаба $1 : 10\ 000$ длина линии $d = 1,73$ см. Определить длину соответствующего ей горизонтального проложения линии местности S . Согласно формуле, получим

$$S = 1,73 \text{ см} \times 10\ 000 = 17\ 300 \text{ см} = 173 \text{ м.}$$

Задача 2. Длина горизонтального проложения линии местности $S = 257$ м. Определить длину ее d , на карте масштаба $1 : 5\ 000$.

$$d = 257 \text{ м} : 5000 = 5,14 \text{ см.}$$

Чем больше знаменатель M численного масштаба, тем масштаб мельче, и, наоборот, чем меньше знаменатель M , тем крупнее масштаб. Так, масштаб $1 : 50\ 000$ мельче масштаба $1 : 25\ 000$ (вдвое), а масштаб $1 : 2\ 000$ крупнее масштаба $1 : 10\ 000$ (в пять раз).

Линейный и поперечный масштабы. Мы видели (задачи 1 и 2), что при пользовании численным масштабом приходится производить вычисления. При большом объеме работ они становятся обременительными. Поэтому чаще всего пользуются графическими построениями, называемыми *линейным* и *поперечным* масштабами.

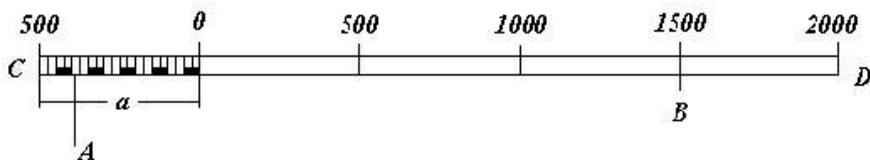


Рис. 2.5

для построения линейного масштаба на отрезке прямой CD (рис. 2.5), начиная от одного из его концов, откладывают последовательно несколько раз отрезок одинаковой длины a , называемый основанием масштаба (на рис. 2.5 основание $a = 2$ см). линейный масштаб с основанием $a = 2$ см называется *нормальным*. Затем линейный масштаб следует подписать; это делают, исходя из численного масштаба карты, для которой он построен. допустим, что масштаб карты $1 : 25\ 000$. Тогда основанию масштаба $a = 2$ см на местности соответствует горизонтальная линия длиной 500 м.

На конце первого основания справа ставят нуль и от него влево и вправо делают соответствующую оцифровку. для повышения точности измерений первое основание обычно делят на мелкие части. На рис 2.5 цена малого деления равна 25 м. доли этого деления приходится оценивать на глаз. длина указанного на рисунке горизонтального проложения линии AB местности $S = 1500 \text{ м} + 387 \text{ м} = 1887 \text{ м}$.

линейный масштаб во многих случаях не позволяет измерить расстояние с необходимой точностью, **более высокую точность измерений получают при помощи поперечного масштаба**. для построения его на отрезке прямой CD (рис 2.6) откладывают последовательно несколько раз основание масштаба a , которое на рис. 2.6 равно 2 см. В полученных точках восставляют перпендикуляры к линии CD . На двух крайних перпендикулярах откладывают $n=10$ равных отрезков и через одноименные точки проводят прямые, параллельные линии CD . Основания AC и BE делят на $m=10$ равных частей, нулевую точку A на основании AC соединяют с первой точкой F на основании BE , а через все остальные точки проводят линии, параллельные AF (т. е., соединяют первую точку нижнего основания со второй точкой верхнего основания и т. д.). Эти линии называются *трансверсалиями*.

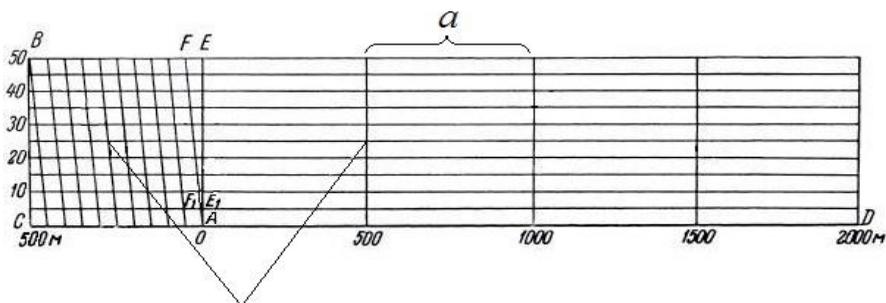


Рис. 2.6

Определим величину наименьшего деления F_1E_1 поперечного масштаба. Из подобия треугольников AFE и AF_1E_1 найдем: $F_1E_1 = 0.1FE$.

Подпишем поперечный масштаб (см. рис. 2.6) для карты, численный масштаб которой 1 : 25 000. Основанию масштаба $a = 2$ см на местности соответствует горизонтальная линия длиной 500 м. В этом случае длина отрезка FE составит 2 мм, или в масштабе $FE=50$ м, а наименьшему делению масштаба F_1E_1 — 5 м. Но раствор циркуля, на трансверсале, с уверенностью можно установить посредине линии.

Следовательно, *точность измерения длины линии равна половине наименьшего деления поперечного масштаба*.

если при помощи карты и поперечного масштаба требуется определить длину горизонтального проложения линии местности, то берут эту линию с карты в раствор измерителя и ставят его на поперечный масштаб таким образом, чтобы одна ножка измерителя приходилась на перпендикуляр справа от нуля, а вторая — на трансверсаль. При этом обе ножки должны находиться на одной горизонтальной линии или в середине между одноименными горизонтальными линиями. На рис. 2.6 измеренная линия составила 775 м. Аналогично можно решать обратную задачу, т. е. брать с поперечного масштаба в раствор измерителя длину горизонтального проложения линии местности для откладывания ее на карте данного масштаба.

Переходный масштаб. При работе с аэроснимками, как правило, знаменатель численного масштаба выражен не круглым числом. В этом случае удобно использовать переходный масштаб. для определения масштаба аэроснимка, на снимке измеряют несколько расстояний между четкими контурами. На топографической карте измеряют те же самые расстояния.

Вычислим масштаб аэроснимка на примере одной линии.

Например, измеренное расстояние на снимке составило 30,0 мм.

На карте масштаба

1:10000, это же расстояние, между теми же контурами составило 50,4 мм, что соответствует горизонтальному проложению линии местности в 504 м. Вычислим, чему соответствует линия в 1 см на снимке. для этого составим пропорцию:

$$504 \text{ м} - 3 \text{ см}$$

$$X \text{ м} - 1 \text{ см}$$

Решая пропорцию, получим:

$$X = \frac{504 \text{ м} \cdot 1 \text{ см}}{3 \text{ см}} = 168 \text{ м}.$$

Следовательно, масштаб аэроснимка равен 1:16 800

Основанию нормального сотенного масштаба в этом случае будет соответствовать линия длиной 336 м, а наименьшему делению — 3,36 м. Пользоваться таким масштабом неудобно. Чтобы избежать дробных величин, рассчитывают длину такого основания, которому соответствует целое число метров. Рассчитаем длину основания a , которому соответствует, например, 400 м. Имеем:

$$\frac{1 \text{ см}}{168 \text{ м}} = \frac{a}{400}$$

откуда

$$a = 1\bar{6}8\bar{1} \frac{400\bar{1}}{168\bar{1}} = 2,38\bar{1}.$$

если построить сотенный поперечный масштаб с основанием $a = 2,38$ см, то ему соответствует на местности горизонтальное проложение линии длиной 400 м. Наименьшему делению такого масштаба соответствует 4 м. Построенный таким путем масштаб называется *переходным*. При работе со снимком не будет ощущаться никаких неудобств.

Точность масштаба находится в прямой зависимости от остроты нормального зрения человеческого глаза, способного различить точку, диаметром 0,1 мм на расстоянии наилучшего зрения в 25 – 30 см. Так, например, размер диаметра кружка, полученного от укола остро отточенной иглы. Отсюда следует, что на карте можно изобразить лишь такие линии местности, которым в данном масштабе соответствует отрезок в 0,1 мм и больше. Поэтому *длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на карте данного масштаба 0,1 мм, называется точностью масштаба или графической точностью.*

Так, точность масштабов

1 : 10 000..... 1 м

1 : 25 000..... 2.5 м

1 : 50 000..... 5 м

1 : 100 000..... 10 м

Зная точность масштаба, можно решить следующие две задачи:

a) определить размер местных предметов и чётких контуров;

b) определить масштаб, в котором следует составлять карту, чтобы на ней изобразились подобными фигурами необходимые при проектировании предметы местности.

2.4 Ориентирование линий. Прямая и обратная геодезические задачи

Углы ориентирования. При ориентировании определяется направление какой-либо линии относительно исходного направления. Исходными направлениями для ориентирования в геодезии приняты: истинный (географический) меридиан, осевой меридиан зоны и магнитный меридиан. Различают следующие углы ориентирования линий: азимут (истинный и магнитный), румб, дирекционный угол.

Ориентирование линии местности относительно истинного меридиана производится посредством угла, называемого *азимутом*.

Азимут линии местности называется горизонтальный угол между северным направлением истинного меридиана, отсчитываемый по ходу часовой стрелки, до заданного направления.

Из определения видно, что азимуты могут иметь значения от 0° до 360° .

На рис. 2.7, NS — истинный меридиан точки M , A — истинный азимут линии BC в точке M . В геодезии принято различать *прямое* и *обратное* направление линии. Так, если BC считать прямым направлением линии, то CB будет обратным направлением той же линии. Известно, что $A_{обр} \neq A_{пр}$ и отличается на величину сближения меридианов γ .

По определению *сближением меридианов называется угол, образованный пересечением касательных линий к истинным меридианам в точках, расположенных на одной параллели*.

$$A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ \pm \gamma.$$

Истинные азимуты линий определяются из астрономических измерений.

Под влиянием земного магнетизма свободно подвешенная магнитная стрелка устанавливается в плоскости магнитного меридиана данной точки. Это свойство магнитной стрелки позволяет ориентировать относительно нее линии местности. *Горизонтальный угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением линии местности называется магнитным азимутом линии*. Этот угол отсчитывается от северного направления магнитной стрелки на восток, по ходу часовой стрелки. На рис. 2.7 $N_M S_M$ — магнитный меридиан, A_M — магнитный азимут линии BC в точке M .

В каждой точке магнитный и истинный меридианы образуют между собой угол δ , называемый *склонением магнитной стрелки*. Северный конец магнитной стрелки может отклоняться от истинного меридиана к востоку или к западу.

В зависимости от этого различают *восточное* и *западное* склонение. *Восточное склонение принято считать положительным, западное — отрицательным*.

На рис. 2.8 показан фрагмент зарамочного оформления листа карты.

На рис. 2.8 истинный меридиан обозначен линией со звездочкой (направление на Полярную звезду), магнитный меридиан отмечен стрелкой (магнитной), восточное склонение $+6^\circ 12'$. Величина и знак магнитного склонения могут изменяться даже в течении суток. Средняя величина склонения магнитной стрелки для данной территории на момент съемки указана под южной рамкой каждого листа топографической карты.

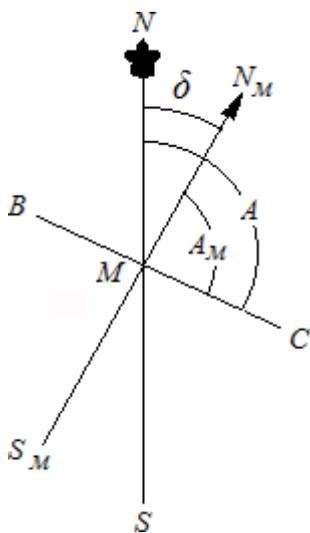


Рис. 2.7

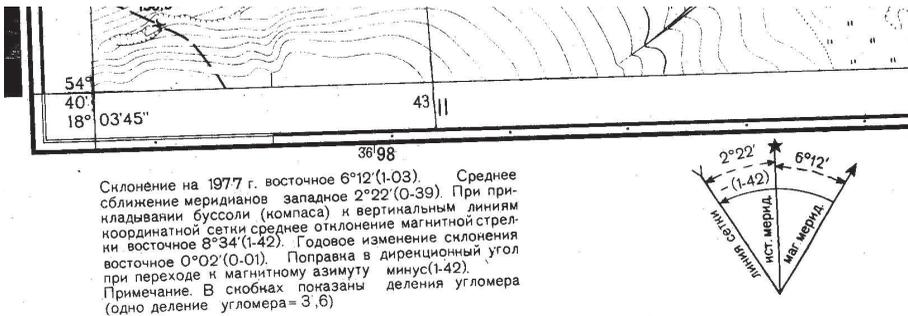


Рис. 2.8

Зная склонение магнитной стрелки в данной точке, можно осуществить связь между магнитным азимутом линии и её истинным азимутом. Из рис. 2.7 видно, что $A_{\text{ист}} = A_m + \delta$.

В геодезии принято, ориентирование линий местности производить относительно осевого меридиана зоны.

Горизонтальный угол между северным направлением осевого меридиана зоны или линией параллельной ему (т.е. вертикальной линией координатной сетки), отсчитываемый по ходу часовой стрелки и направлением данной линии местности называется дирекционным углом.

дирекционные углы α имеют значения от 0° до 360° . Пусть NS (рис. 2.9) — осевой меридиан зоны, а ND и $N'B$ — направления, ему параллельные; дирекционный угол линии DB в любой точке ее равен α . В отличие от азимута дирекционный угол линии в любой ее точке сохраняет свою величину.

Из рис. 2.9 видно, что прямой и обратный дирекционные углы линии разнятся между собой на 180° , т. е. $\alpha_{\text{обр}} = \alpha_{\text{пр}} \pm 180^{\circ}$. легко установить связь между дирекционным углом и азимутом линии. Пусть ND и NB — направления истинных меридианов в точках D и B :

$$A_{\text{ист}} = \alpha + \gamma \text{ с учётом знака } \gamma.$$

На рис. 2.9 γ представляет сближение истинного меридиана данной точки с осевым меридианом зоны (NS). В точке M , расположенной на осевом меридиане зоны, $\gamma = 0$, поэтому в данной точке азимут и дирекционный угол линии равны между собой. Так как в любой точке линии дирекционный угол сохраняет свою величину, а прямой и обратный дирекционные углы различаются на 180° , предпочтительно во всех возможных случаях ориентирование линий местности производить с помощью дирекционных углов.

Зная магнитное склонение и сближение меридианов можно осуществить связь между всеми ориентирующими углами.

Магнитный азимут можно измерить с помощью буссоли (точного компаса), тогда значение дирекционного угла вычисляется по формуле

$$\alpha = A_{\text{магн}} + \delta - \gamma.$$

Величина сближения меридианов рассчитывается по формуле

$$\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi,$$

где $\Delta\lambda$ — разность долгот данного и осевого меридианов; φ — широта. На топографических картах указывается сближение меридианов для средней долготы и широты данного листа.

дирекционный угол можно измерить по карте или вычислить по координатам точек линии.

Тогда магнитный азимут $A_{\text{маг}}$ можно вычислить с учетом знаков сближения меридианов и склонения магнитной стрелки как $A_{\text{маг}} = \alpha + \gamma - \delta$ или $A_{\text{маг}} = \alpha - \Pi$, где $\Pi = \delta - \gamma$, — поправка.

Горизонтальный угол между ближайшим направлением осевого меридиана зоны (северным или южным) и направлением линии местности называется румбом. Румб — всегда острый угол от 0° до 90° . К градусной величине румба добавляют его наименование: СВ (северо-восток), ЮВ (юго-восток), ЮЗ (юго-запад), СЗ (северо-запад). Например, СВ: $80^\circ 54'$.

На рис. 2.10 показаны румбы и дирекционные углы для различных направлений линий на местности.

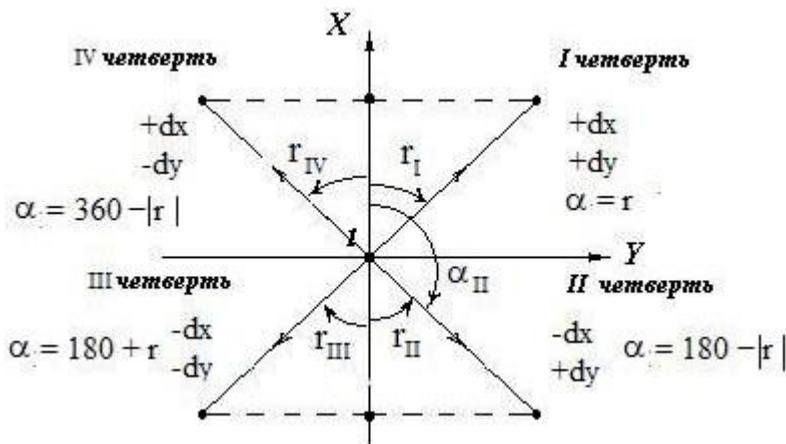


Рис. 2.10

Прямая геодезическая задача

На рис. 2.11 показана прямоугольная геодезическая система координат. В данной системе имеем направление $nn26-1$ и точку 1 . данное направление задано дирекционным углом α до точки 1 и измерено расстояние — S . Требуется определить приращение координат dx и dy от точки $nn26$ до точки 1 , и *определить прямоугольные координаты $X_1 Y_1$*

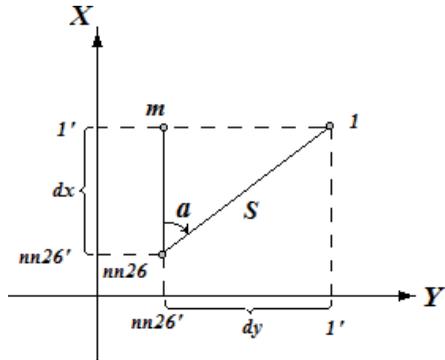


Рис. 2.11

Спроектируем точки $nn26$ и 1 на соответствующие оси координат. Тогда отрезки $1' - nn26'$ соответственно равны приращениям координат точки 1 относительно $nn26 - dx$ и dy .

Проведем линию, параллельную оси X из $nn26$ в точку m . Образовался прямоугольный треугольник с вершинами $nn26, m, 1$. Угол α задает направление линии S .

Решая прямоугольный треугольник, определим dx и dy . Косинусом угла прямоугольного треугольника называется отношение прилежащего катета к гипотенузе $\cos \alpha = \frac{m - nn26}{S} = \frac{dx}{S}$. Тогда $dx = S \cos \alpha$.

Синусом – отношение противолежащего катета к гипотенузе

$$\sin \alpha = \frac{1 - m}{S} = \frac{dy}{S}, \quad dy = S \sin \alpha.$$

Полученные формулы применяются для вычисления приращений координат.

Координаты точки 1 получим из следующих выражений :

$$X_1 = X_{nn26} + dx; \quad Y_1 = Y_{nn26} + dy.$$

Обратная геодезическая задача

Обратимся к рис. 2.12. если известны координаты точек 1 и 2 , то мы можем вычислить дирекционный угол направления $1-2$ и длину горизонтального проложения S между ними.

Найдем приращения координат точки 2 относительно точки 1 :

$$\begin{aligned} dx_2 &= X_2 - X_1; \\ dy_2 &= Y_2 - Y_1 \end{aligned}$$

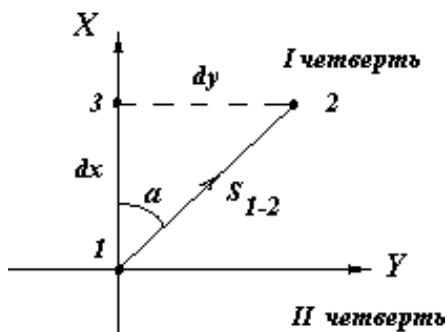


Рис. 2.12

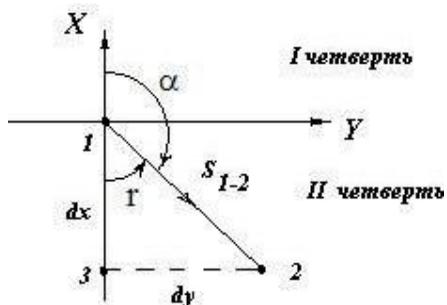


Рис. 2.13

Из прямоугольного треугольника 123 (см. рис. 2.12) следует, что отношение dy к dx есть тангенс острого угла α для I четверти системы прямоугольных координат. Но если точка 2 будет расположена во второй четверти, то это будет уже не дирекционный угол α , а румб $-r$ (рис. 2.13). Следовательно, отношение dy к dx : тангенс румба дирекционного угла: $\operatorname{tg} r = \frac{dy}{dx}$.

Чтобы перейти от румба к дирекционному углу, необходимо выполнить анализ приращений координат, на основании которого выполнить преобразование румба к нужному дирекционному углу (см. рис. 2.10).

2.5. Координатные сетки топографических карт

Современные топографические карты позволяют достаточно точно определять географические и прямоугольные координаты любой точки местности, изображенной на карте. для этого на карту наносятся координатные сетки: географическая сетка и сетка прямоугольных координат. для того, чтобы пользоваться данными сетками, делается специальное за рамочное оформление.

На рис. 2.14 представлен фрагмент учебной карты масштаба 1:10 000, имеющий условную номенклатуру (номер) – У-34-37-В-4, с подписями выходов линий координатных сеток.

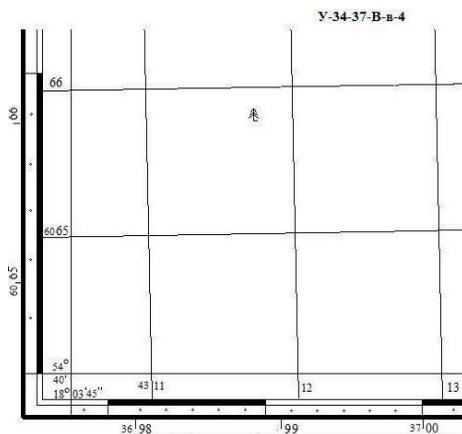


Рис. 2.14

Километровая сетка прямоугольной зональной системы координат проекции Гаусса – Крюгера

Сетка квадратов, нанесенная на лист карты, называется *километровой сеткой*. Она служит для определения прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера. Вертикальные линии сетки параллельны линии осевого меридиана, а горизонтальные линии параллельны плоскости экватора. По наклону вертикальных линий километровой сетки можно судить о том, с какой стороны от осевого меридиана расположен данный лист карты. В нашем случае сетка наклонена влево – к западу. Это говорит о том, что данный лист карты расположен к западу от осевого меридиана.

Горизонтальные линии сетки служат для определения абсцисс – X прямоугольных координат, а вертикальные линии – для ординат Y (рис. 2.15).

Выходы километровой сетки на рамку листа карты подписаны.

Нижняя горизонтальная линия километровой сетки имеет внутри рамки подпись: 6065. Это означает, что данная линия расположена в 6065 км от плоскости экватора.

для остальных линий километровой сетки, в подписях, тысячи км опускаются. Подписываются только километры. Например, следующая линия имеет подпись 66. т.е. она расположена в 6066 км от плоскости экватора.

Вертикальные линии так же подписаны. левая вертикальная линия имеет подпись 4311. В данной подписи значащими цифрами являются три цифры отсчитанные справа налево. В нашем случае – 311 км. данная величина является **преобразованной ординатой** Y . для того, чтобы установить принадлежность координат к колонне, перед значащими цифрами преобразованных ординат указывают номер зоны. Колонна 34, а зона 4. В остальных подписях вертикальных линий километровой сетки номер зоны и сотни километров опускаются.

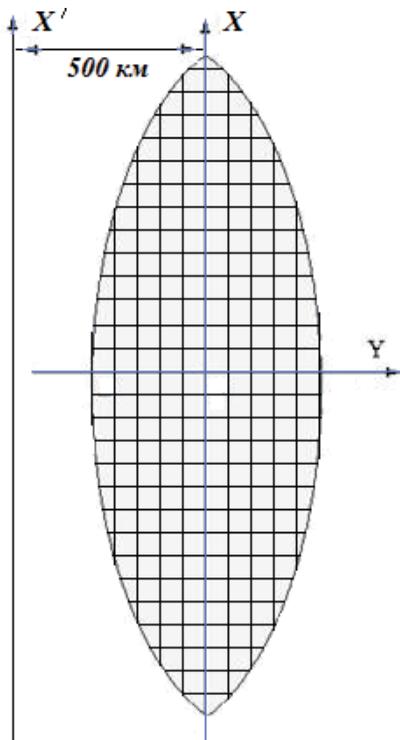


Рис. 2.15

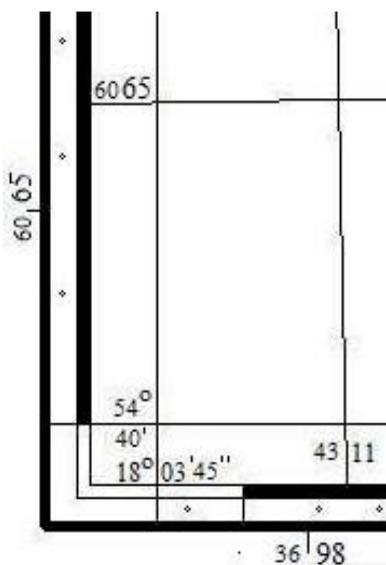


Рис. 2.16

Подписи с внешней стороны рамки соответствуют выходам линий километровой сетки для соседней (третьей) зоны (рис. 2.16).

Ордината называется преобразованной потому, что всем ординатам зоны добавлены 500 км. Сделано это для того, чтобы все ординаты зоны были бы положительными. Таким образом, можно сказать, что осевой меридиан зоны условно смещен к западу на 500 км. Чтобы узнать удаление точки от осевого меридиана, достаточно вычесть из ординаты точки 500 км. Например, точка имеет преобразованную ординату $Y = 4312435$ м. тогда получив не преобразованную ординату узнаем удаление точки от осевого меридиана $312435 - 500000 = -187565$ м. Знак « - » говорит о том, что точка расположена к западу от осевого меридиана.

Географическая координатная сетка

левый нижний угол листа карты (см. рис. 2.16) имеет подписи: $54^{\circ}40'$ — это широта параллели, образующая южную рамку листа карты; $18^{\circ}03'45''$ — это долгота меридиана, образующего западную рамку трапеции листа карты. Следовательно, внутренняя рамка листа карты образована параллелями и меридианами.

Вдоль параллелей и меридианов идут чередующиеся черные и белые полосы, которые представляют минутную оцифровку географической сетки координат. Каждая черная и белая полоска — это одна угловая минута. Каждая минута разделена точками на шесть частей. Это секундная оцифровка, каждая такая часть состоит из 10 угловых секунд. Минутная и секундная оцифровка по вертикали позволяет определить географическую широту φ , а по горизонтали, географическую долготу λ объекта, представленного на карте.

если соединить прямыми линиями одноименные точки географической сетки левого и правого края рамки карты, то получим истинные параллели, а верхние и нижние — истинные меридианы, которые и представляли бы географическую сетку координат. Однако на карту данная сетка не накладывается (как километровая сетка) ввиду того, что

географическими координатами пользуются крайне редко и для того, чтобы не перегружать информацией лист карты.

Определение координат точек по топографической карте

для определения координат точек объекта на карте, необходимо сначала установить положение объекта на листе карты. На карте таких объектов может быть достаточно много, поэтому информацию об объекте детализируют. Например, необходимо определить координаты отдельно стоящего хвойного дерева (рис. 2.17). для этого указывают координаты юго-западного угла квадрата километровой сетки карты, в котором находится объект, после чего находят его положение в данном квадрате – «квадрат 6511, северо-восточная часть, отдельно стоящее хвойное дерево». После этого приступают к определению координат.

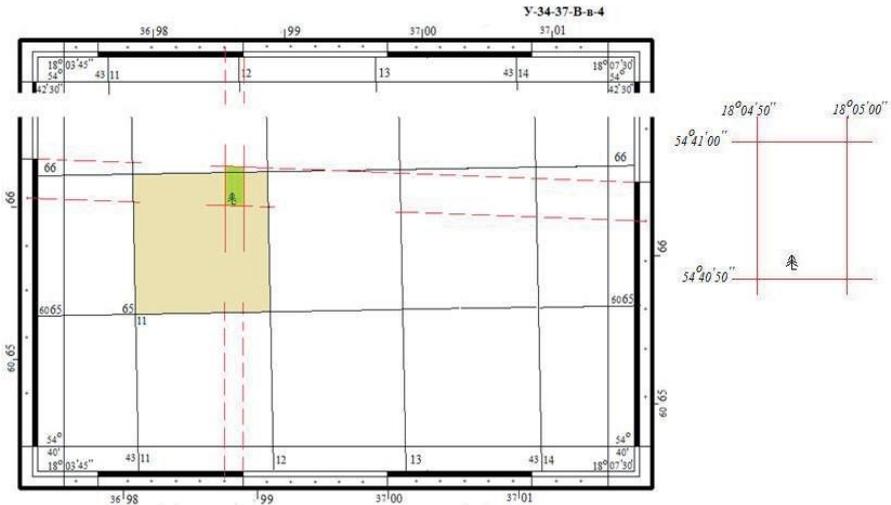


Рис. 2.17

Определение географических координат

После идентификации объекта, на географической сетке выбирают одноименные десятисекундные интервалы по широте и долготы. С помощью длинной линейки и карандаша строится квадрат географической сетки, состоящий из параллелей и меридианов, который покрывает объект. На увеличенном фрагменте показаны подписи линий сетки географической системы координат. Измеряется расстояние (до 0,1 мм) от нижней параллели — $54^{\circ}40'50''$ до верхней — $54^{\circ}41'00''$. для карты, представленной на рис. 2.17, это расстояние составит 31,0 мм на 10'' географической сетки по широте. Затем измеряют рассто-

яние от нижней параллели — $54^{\circ}40'50''$ до интересующей нас точки объекта (в данном случае, угол основания дерева). Предположим, что эта величина составляет 1,3 мм.

Выполним аналогичное измерение от северной параллели — $54^{\circ}41'00''$ до угла основания дерева. Предположим, что эта величина составила 29,6 мм.

Контролем правильности измерений будет служить сумма двух измерений $1,3 \text{ мм} + 29,6 \text{ мм} = 30,9 \text{ мм}$. данная сумма должна совпадать с размером широтной рамки географической сетки — 31,0 мм, с допуском $\pm 0,2 \text{ мм}$. данный допуск — предельная графическая погрешность измерений по карте. если контроль выполнен, то решаем пропорцию:

$$31,0 \text{ мм} — 10$$

$$1,3 \text{ мм} — x,$$

тогда

$$x = \Delta\varphi = \frac{1,3 \text{ мм} \times 10''}{31 \text{ мм}} = 0,42''.$$

Широта интересующей нас точки будет равна широте южной параллели — $54^{\circ}40'50''$ плюс $\Delta\varphi = 0,42''$ — $\varphi = 54^{\circ}40'50,42''$.

Аналогичным образом определяется долгота объекта, только измерения ведутся от меридианов.

Определение прямоугольных координат

для определения прямоугольных координат используется километровая сетка.

На рис. 2.18 приведен квадрат 6511, ограниченный линиями километровой сетки, в котором находится интересующий нас объект. линии километровой сетки параллельны осям зональной системы координат Гаусса – Крюгера, поэтому, зная масштаб карты (в нашем случае 1:10 000), можно дважды, с контролем, определить прямоугольные координаты объекта.

для определения абсциссы X объекта, восстановим перпендикуляр от интересующей нас точки до горизонтальной линии сетки 6065 и измерим его — 80,2 мм. Умножив его на масштаб, получим приращение координаты X объекта относительно линии километровой сетки 6065 км: $8,02 \text{ см} \times 10000 = 80200 \text{ см}$ или +802 м.

Тогда координата определяемой точки будет найдена из следующего выражения:

$$X = 6065000 \text{ м} + 802 \text{ м} = 6065802 \text{ м}.$$

для контроля можно выполнить те же измерения от верхней горизонтальной линии до объекта — 19,8 мм, что в масштабе карты

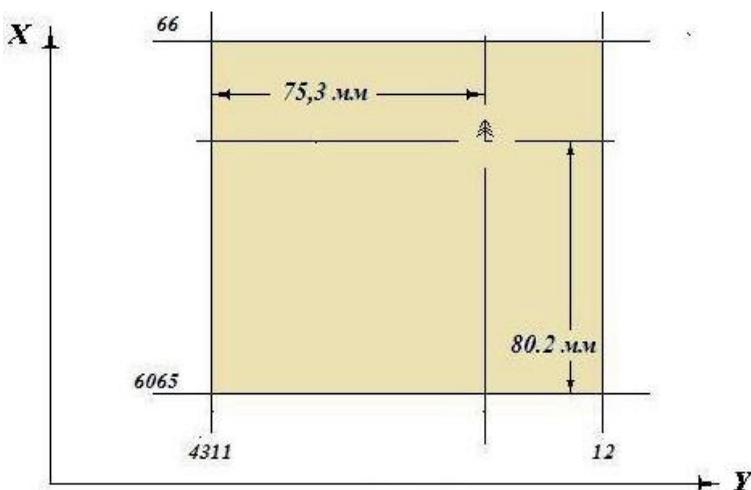


Рис. 2.18

составит 198 м. Значения абсцисс убывают к югу, следовательно, из координаты 6066 км необходимо вычесть полученное приращение:

$$X = 6066000 \text{ м} - 198 \text{ м} = 6065802 \text{ м.}$$

Значения ординат объекта получают аналогичным образом, выполняя измерения от западной (левой) и восточной (правой) вертикальных линий километровой сетки. На рис. 2.18 измеренное расстояние от западной (левой) линии километровой сетки составило 75,3 мм или 753 м в масштабе карты. Тогда ордината объекта

$$Y = 311000 \text{ м} + 753 \text{ м} = 311753 \text{ м.}$$

для контроля полученного значения Y , выполним измерения от восточной линии сетки — 24,7 мм. Получим расстояние в 247 м в масштабе карты. Поскольку значения ординат возрастают к востоку, необходимо из ординаты восточной линии километровой сетки вычесть полученное расстояние

$$Y = 312000 \text{ м} - 247 \text{ м} = 311753 \text{ м.}$$

2.6. Изображение рельефа на топографических картах

Основные формы рельефа местности

Совокупность неровностей поверхности Земли называется *рельефом местности*. Рельеф местности оказывает большое влияние на жизнедеятельность человека. При проектировании и строительстве любых

объектов необходимо учитывать характер рельефа местности. Любое проектирование производится с помощью топографических карт или с использованием цифровых моделей местности. Рельеф местности является важнейшим элементом содержания топографических карт. Подробному и достаточно точному изображению его придается большое значение.

Несмотря на кажущееся многообразие неровностей земной поверхности, рельеф любого места можно расчленить на пять основных форм (рис. 2.19).

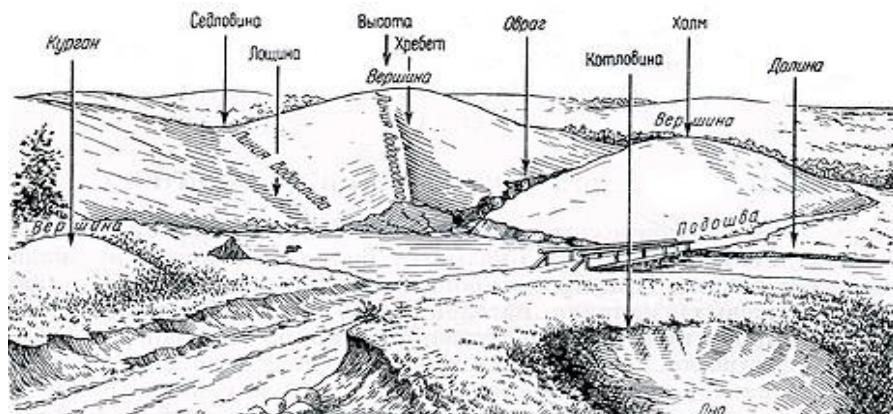


Рис. 2.19

Гора, холм – это возвышенность на местности, конусообразная форма рельефа. *Наивысшая точка ее называется вершиной. Боковая поверхность горы (холма) состоит из скатов. Линия слияния их с окружающей местностью называется подошвой, или основанием горы. Иногда на скате горы имеется площадка, именуемая уступом.*

Котловина (впадина) — форма рельефа, противоположная горе и представляющая собой замкнутое углубление. *Самая низкая точка ее — дно. Боковая поверхность ее состоит из скатов; линия их слияния с окружающей местностью называется бровкой.*

Хребет – это возвышенность, вытянутая и постепенно понижающаяся в каком-либо направлении. *У хребта два ската; в верхней части хребта они сливаются, образуя водораздельную, линию, или водораздел.*

Лощина — форма рельефа, противоположная хребту и представляющая собой вытянутое в каком-либо направлении и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. *два ската лощины, сливаясь между собой в самой низкой части ее, образуют водосливную линию*

(или *талъвег*), по которой стекает вода, попадающая на скаты, образуя часто ручьи или реки.

Седловина — это место, которое образуется при слиянии скатов двух соседних гор или водоразделов двух хребтов. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях.

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины являются характерными точками рельефа.

Водораздел хребта и водослив лощины — характерные линии или структурные линии рельефа.

Сущность способа изображения рельефа местности горизонталями

В 1674г., после публикации карты окрестностей Парижа, сделанной французским топографом дю Вивье, картографический мир начал оживленно обсуждать штриховку, которую он ввел для обозначения холмов и гор.

Французский инженер-топограф Жан Луи Дюпуэн-Триэль на карте 1791г. использовал для этого горизонтали, или линии равной высоты.

До 1850 г. было опробовано более 80 различных систем обозначения рельефа. При этом применялись всевозможные комбинации горизонталей и теней, а также цвета различных оттенков. По этой причине к карте всегда необходимо было прикладывать подробный «ключ» или легенду, чтобы читатель мог понять, что имел в виду картограф при использовании штрихов, горизонталей или цвета.

Только в 1840–1850 гг. идея изображения рельефа горизонталями получила полное признание.

К изображению рельефа местности на топографических картах предъявляется ряд требований:

быстрое определение абсолютных высот точек местности;

быстрое определение направления скатов и их крутизны;

карта должна давать хорошее пространственное представление об изображенном на ней рельефе местности, о взаимном расположении отдельных форм рельефа и ситуации местности.

Рельеф местности начали изображать на картах примерно с XV в. С тех пор известно несколько способов его изображения — перспек-

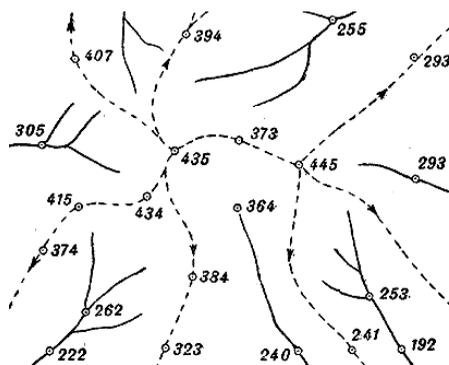


Рис. 2.20

тивный (или картинный — рис. 2.19), отметками точек и структурными линиями (рис. 2.20), штриховкой, отмывкой (*географические карты атласов*), точечным пунктиром, цветной пластикой, горизонталями.

Перечисленным выше требованиям лучше всего удовлетворяет способ горизонталей в сочетании с отметками характерных точек местности. Этим способом в настоящее время изображают рельеф местности на топографических картах. Понятие о горизонтали можно получить, если представить себе сечение физической поверхности Земли плоскостью, параллельной уровенной поверхности. В результате этого на поверхности участка местности образуется след от сечения, представляющий собой замкнутую кривую, обладающую определенным свойством — все точки ее имеют одинаковую высоту над уровнем моря. **Кривая, все точки которой имеют одинаковую высоту, называется горизонталью.**

допустим, что уровенная поверхность P расположена на высоте H от начала отсчета высот. В этом случае горизонталь BF имеет абсолютную высоту (отметку) H . ее проекция на горизонтальную плоскость Q представляет замкнутую кривую bfb , являющуюся изображением горизонтали с отметкой H . Уменьшенное изображение горизонтальной проекции кривой BFB представляет горизонталь bfb с высотой H на карте.

Чтобы изобразить горизонталями рельеф участка местности (рис. 2.21), необходимо представить сечение поверхности этого участка рядом уровенных поверхностей P, T, W , расположенных на одинаковом расстоянии h . Расстояние (h) между соседними секущими рельеф плоскостями называется высотой сечения рельефа. Уменьшенная проекция следа сечения рельефа данными плоскостями на исходную плоскость

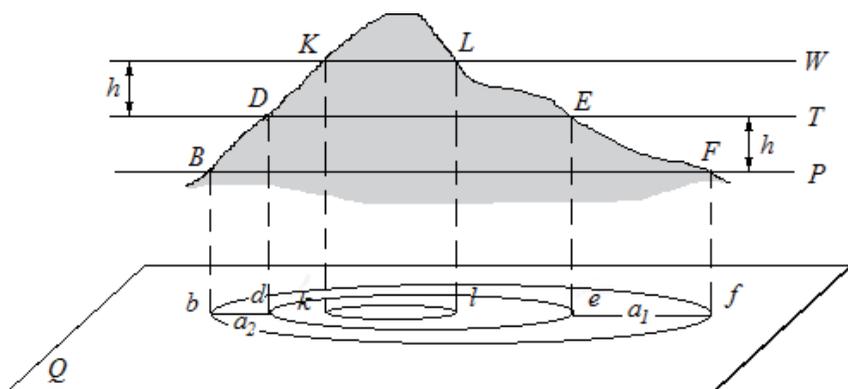


Рис. 2.21

(карта, план) представляют горизонтали bfb , ded , fmf , klk с соответствующими отметками H , $H+h$, и $H+2h$.

На рис. 2.21 видно, что скат горы на участке EF имеет меньшую крутизну, чем скат на участке BD .

Сравнивая эти участки скатов с их горизонтальными проекциями $ef = a_1$ и $bd = a_2$, приходим к выводу, что с уменьшением крутизны ската расстояние между горизонталями на плоскости увеличивается. Следовательно, по расстояниям между горизонталями на карте можно судить о крутизне скатов.

Горизонтали на местности, так же как и на карте, не могут пересекаться.

На рис. 2.22 показано, как изображаются горизонталями основные формы рельефа местности. Как видно из рисунка 2.22, изображения горы и котловины, так же как хребта и лощины, сходны между собой. Чтобы различать их, у некоторых горизонталей ставят *бергитрихи* — черточки, перпендикулярные горизонталям, указывающие направление ската.

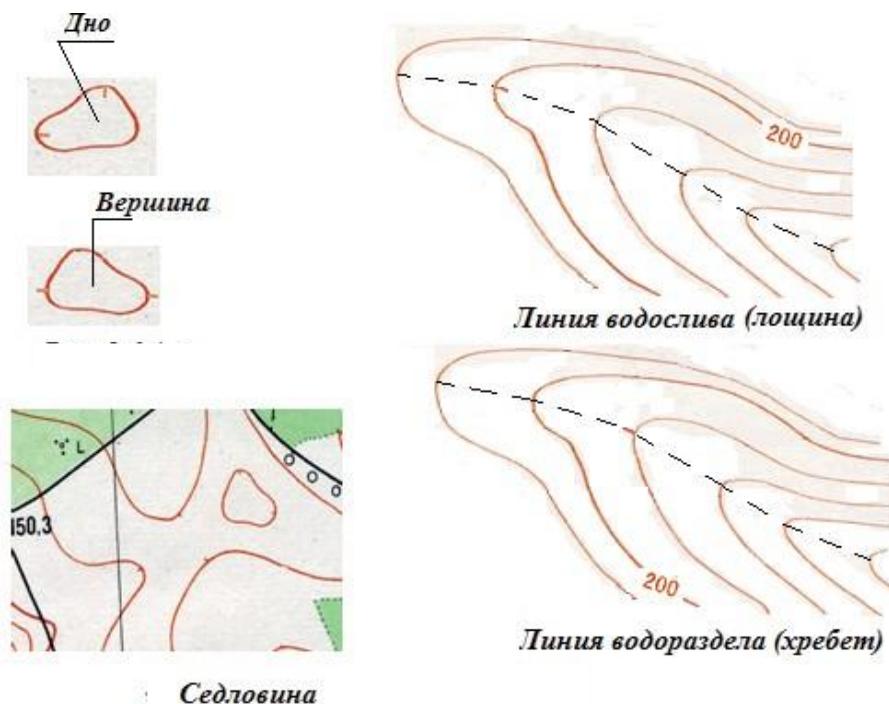


Рис. 2.22

Отметки некоторых горизонталей подписывают на карте, при этом цифры располагают так, чтобы их верх был направлен в сторону повышения ската.

Таким образом, по отметке одной горизонтали и известной высоте сечения рельефа можно определить высоты других горизонталей.

для более детального изображения рельефа местности на картах наряду с горизонталями служат отметки характерных точек местности. **Принято на каждом квадратном дециметре карты подписывать от 5 до 15 отметок характерных точек местности.**

Крутизна и направление ската

Рассмотрим часть ската BC (рис. 2.23) между соседними секущими уровнями поверхностями и его изображение на карте. Вследствие ограниченности рассматриваемого участка уровенные поверхности можно заменить горизонтальными плоскостями P и Q .

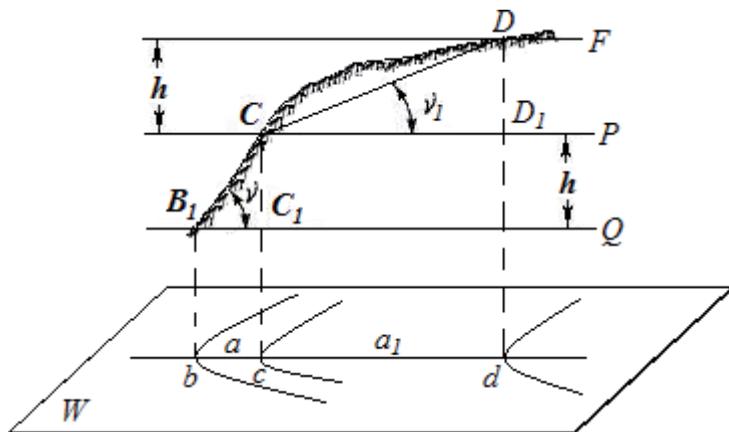


Рис. 2.23

Крутизну линии местности BC можно характеризовать углом, v , который она образует с горизонтальной плоскостью Q . Из прямоугольного треугольника CC_1B следует

$$\operatorname{tg} v = \frac{CC_1}{BC_1} = \frac{h}{a},$$

где h — высота сечения рельефа; a — горизонтальное проложение линии BC , называемое **заложением** и являющимся кратчайшим расстоянием между горизонталями.

Величину заложения BC_1 можно определить, измерив на карте расстояние между соответствующими точками b и c , тогда угол наклона линии местности получим прямым вычислением.

Преобразуем формулу к следующему виду

$$v^\circ = 57.3^\circ \frac{v}{a}.$$

Рассмотрим пример. Пусть заложение линии cb (см. рис. 2.23) $a = 89$ м и высота сечения рельефа $h = 2,5$ м. Тогда определим крутизну соответствующей линии местности CB как:

$$v^\circ = 57.3^\circ \frac{2.5\text{ м}}{89\text{ м}} = 1.6^\circ.$$

Заложение cb (см. рис. 2.23), нормальное к горизонталям, является кратчайшим. Оно называется заложением ската. Заложению ската $cb = a$ соответствует линия местности CB наибольшей крутизны, называемая линией ската. Она принимается за направление ската в данной точке C . *Направление ската нормально (перпендикулярно) к горизонталям.*

Крутизна линии местности может определяться уклоном i под которым понимают тангенс угла наклона линии к горизонту, т. е.

$$i = \text{tg } v = \frac{h}{a}.$$

Уклон линии обычно выражается в процентах или в промилях (тысячные доли единицы).

Пример. *Определим уклон линии CB , заложение которой $a = 89$ м, высота сечения рельефа $h = 2,5$ м.*

$$i = \frac{2,5\text{ м}}{89\text{ м}} = 2,8\% = 28\text{‰}.$$

Таким образом, по карте с горизонталями легко вычислить крутизну (угол наклона или уклон) любой линии местности.

Наряду с вычислением по формулам крутизну линии местности по топографической карте можно определять с помощью специальных графиков, называемых масштабами заложений. Масштаб заложений для углов наклона строят, задавшись различными углами наклона скатов v , при определенной высоте сечения рельефа h , вычислив соответствующие им заложения:

$$a = h \text{ tg}(v).$$

Затем линию KL (рис. 2.24) делят на отрезки равной длины. Напротив полученных точек подписывают углы наклона линий местности v , для которых вычислены заложения a . В этих точках восстанавливают

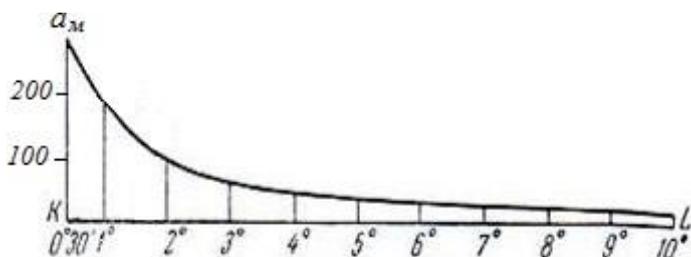


Рис. 2.24

перпендикуляры к линии KL , являющейся основанием масштаба заложений, и на них *в масштабе карты* откладывают соответствующие углам наклона ν заложения a . Полученные точки соединяют плавной кривой.

Масштаб заложений для уклонов (рис. 2.25) строят аналогично изложенному. Задавшись уклонами i линий местности, вычисляют по формуле $a = h/i$ соответствующие им заложения a (при данной высоте сечения рельефа h) и откладывают их *в масштабе карты* на перпендикулярах к основанию масштаба заложений.

На рис. 2.24 и 2.25 масштабы заложений построены для карты масштаба 1:10 000 с высотой сечения рельефа $h = 2,5$ м.

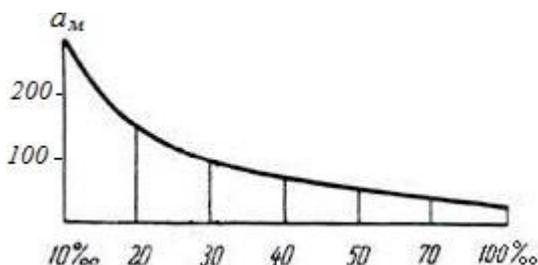


Рис. 2.25

Такие графики показывают под южной рамкой топографической карты.

Зависимость высоты сечения рельефа от масштаба карты

Высота сечения рельефа тесно связана с масштабом карты. Человек с нормальным зрением способен различить на бумаге две линии, если они проведены с интервалом не менее чем 0,1 мм, если интервал будет меньше, то две линии сольются в одну. данная величина — $\Delta_R = 0,1$ мм, называется *графической точностью*, или остротой нормального человеческого зрения.

Предельная графическая точность составляет 0,2 мм. Исходя из этого, минимальное заложение горизонталей на карте, для четкого их чтения, не должно превосходить предельной графической точности.

Вычислим высоту сечения рельефа как:

$$h = a \operatorname{tg} v$$

Вычислим минимальное заложение горизонтали в зависимости от масштаба карты

$$a = 0,2\text{мм} \times M,$$

где M – знаменатель численного масштаба карты.

Получим:

$$h = 0,2\text{мм} \times M \times \operatorname{tg}(v).$$

Необходимо отметить, что рельеф с углами наклона свыше 45° относится к категории высокогорного и отображается на картах специальными условными знаками (обрыв, скала, уступ и т.д.). Следовательно, предельный угол наклона рельефа, отображаемого горизонталями, составит 45° , а $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$, тогда:

$$h = 0,2\text{мм} \times M$$

Выполним расчет высоты сечения рельефа для карт масштаба 1:10 000 и 1:50 000.

для этого преобразуем 0,2 мм в метры — 0,0002 м. Знаменатель численного масштаба M – безразмерная величина.

$$h_{10\,000} = 0,0002 \times 10\,000 = 2 \text{ м};$$

$$h_{50\,000} = 0,0002 \times 50\,000 = 10 \text{ м}$$

Необходимо отметить, что данный расчет является весьма условным. Конкретная величина сечения рельефа обусловлена определёнными характеристиками местности – залесенность, всхолмленность и т.д. Поэтому инструкцией по топографическим съемкам, при составлении карт и планов различных масштабов, установлен некоторый допуск на высоту сечения рельефа, приведенный в табл. 2.2.

Таблица 2.2

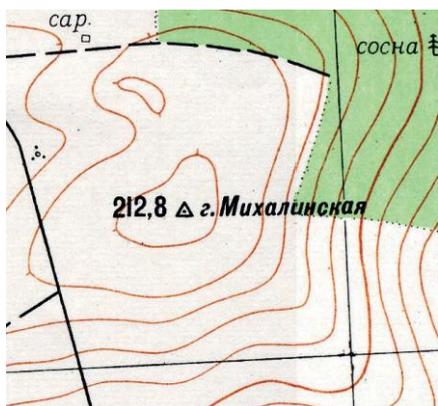
Характер местности	Высота сечения рельефа, м			
	Масштаб карты			
	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000
Плоскоравнинная	0,5–1	1–2,5	2,5	10
Равнинная и всхолмленная с преобладанием углов наклона до 6°	1–2	2,5	5	10
Горная и предгорная, а так же песчаные пустыни	5	5	5	10
Высокогорная	–	–	10	20

если при данной высоте сечения некоторые характерные особенности рельефа не могут быть выражены, то их отображают с помощью полу горизонталей и четверть горизонталей, которые проводятся соответственно через половину или четверть высоты сечения рельефа.

для удобства чтения горизонталей, некоторые из них утолщают и подписывают. При высоте сечения, кратной целому метру (1, 2, 5, 10 ...м), утолщают каждую пятую горизонталь, в остальных случаях (0,5, 2,5 ...м) – каждую четвертую. Основание цифр подписанной горизонтали показывает направление ската.

Решение задач по карте с горизонталями

Определение отметки горизонтали по данной отметке точки и известной высоте сечения рельефа



Задача решается, исходя из следующих двух положений:

- отметка горизонтали должна быть кратна высоте сечения рельефа;
- разность между отметкой данной точки и отметкой ближайшей к ней горизонтали должна быть меньше высоты сечения рельефа (или, в крайнем случае, равна ей).

На рисунке горизонтали проведены с высотой сечения рельефа $h = 2,5$ м. Требуется определить отметку ближайшей к точке – геодезический знак – $\Delta 212,8$ м горизонтали.

Очевидно, что отметка этой горизонтали меньше отметки данной точки. Исходя из вышеизложенного, отметка горизонтали $H = 212,5$ м. Это число меньше 212,8 м и кратно 2,5 м. если предположить, что искомая отметка равна 210,0 м (это число также кратно 2,5 м), то окажется, что $212,8 \text{ м} - 210,0 \text{ м} = 2,8 \text{ м}$, т. е. больше 2,5 м, чего не может быть при высоте сечения рельефа $h = 2,5$ м.

Определение высот точек местности

Отметка точки, находящейся на горизонтали, равна отметке этой горизонтали.

если точка расположена между горизонталями с разными высотами, то ее высота определяется интерполированием между отметками этих горизонталей.

Например, требуется определить отметку точки K на рисунке представляющем часть карты масштаба $1 : 10\,000$ с высотой сечения рельефа $h_c = 2,5$ м.

Точка K расположена между горизонталями с отметками $147,5$ м и 145 м, следовательно, ее отметка больше 145 м, но меньше $147,5$ м. Определим, какую часть заложения ската FT составляет отрезок TK . В данном случае точка K расположена посередине между горизонталями, значит $TK = 0,5TF$. Поэтому можно считать, что точка K выше горизонтали с отметкой 145 м на $0,5 h_c$, т. е. на половину высоты сечения. Следовательно, ее отметка $H_K = 146,25$ м.

Аналогично определяется отметка точки G , расположенной между горизонталями с отметками 145 м и $142,5$ м.

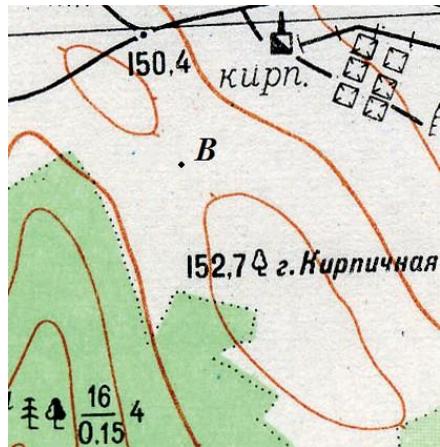
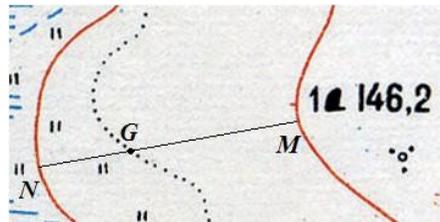
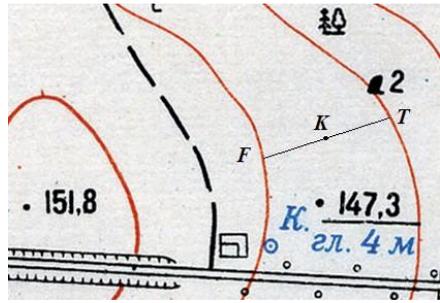
В этом случае отрезок NG составляет $1/3$ заложения MN следовательно, $H_G = 142,5$ м + $1/3 h_c = 143,3$ м, то есть, отметка точки получена как отметка «нижней» горизонтали плюс превышение точки относительно «нижней» горизонтали.

$$H_i = H_n + h_n,$$

где превышение точки относительно нижней горизонтали — $h = \frac{l_1}{a} h_c$;

где l_1 — участок заложения от нижней горизонтали до определяемой точки.

Или $H_i = H_v + \frac{l_2}{a} h_c$, где превышение точки относительно верхней горизонтали — $h = \frac{l_2}{a} h_c$, l_2 — участок заложения от верхней горизонтали до определяемой точки.



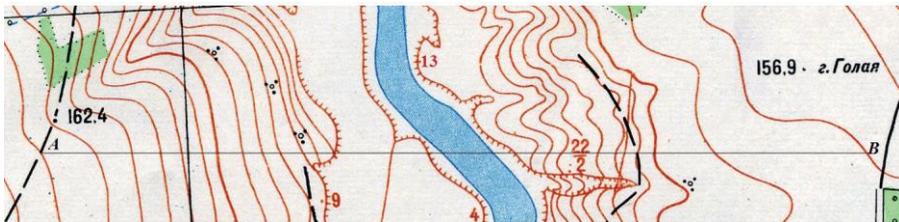
В примере $H_G = 145 \text{ м} - 2/3 h_c = 143,3 \text{ м}$ длины отрезков l_1 и l_2 можно измерить, тогда $l_1 + l_2 = a$

если точка расположена между одноименными горизонталями (точка B на рис.) или внутри замкнутой горизонтали, то ее отметку можно определить лишь приближенно, считая, что ее отметка больше или меньше высоты этой горизонтали на $0,5h$ ($H_B \approx 151,25 \text{ м}$).

Тогда если точка лежит на дне котловины её отметка будет определяться как $H_i = H_a - \frac{1}{2} h_c$, если точка лежит на вершине её отметка будет определяться как $H_i = H_a + \frac{1}{2} h_c$.

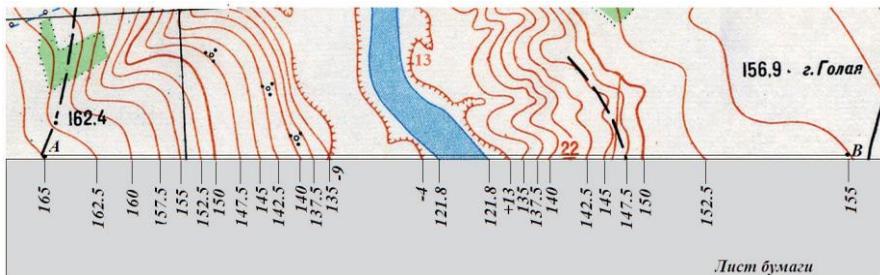
На рисунке точка B расположена на «седловине» и для определения её отметки можно применять любую из последних формул.

Построение профиля местности по заданному на карте направлению

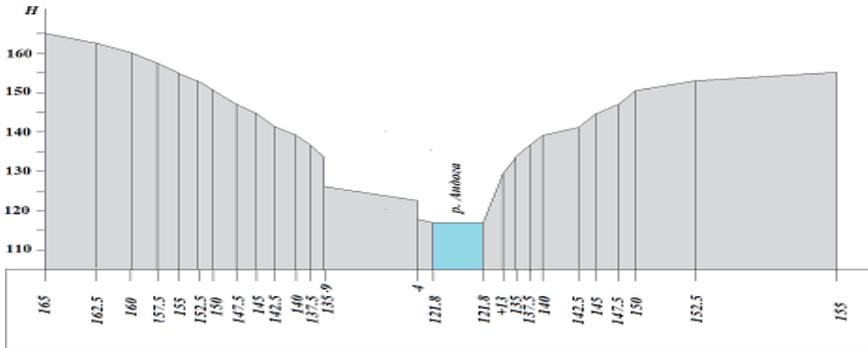


Пусть требуется построить профиль местности по линии, заданной точками A с отметкой 165 м и B с отметкой 155 м . для этого переносят указанную линию на бумагу с сохранением масштаба карты и отмечают на ней пересечения, в которых линия профиля пересекает горизонтали, а также характерные точки и линии рельефа и местности.

Построенная линия называется основанием профиля. Во всех намеченных на основании профиля точках восстанавливают к нему перпендикуляры и откладывают на них в выбранном масштабе снятые



с карты высоты точек местности. Высоты уреза реки определяют интерполированием между соседними горизонталями по линии водослива. Полученные точки соединяют прямыми линиями.



Чтобы профиль был более выразительным, вертикальный масштаб его принимают в 10 и более раз крупнее масштаба карты. Отметки (высоты) точек подписаны на профиле от линии условного горизонта в выбранном масштабе.

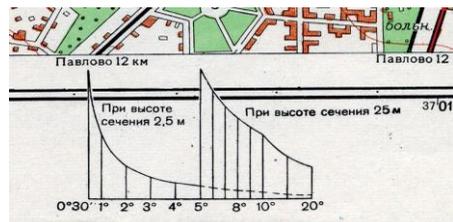
С помощью профиля можно решать ряд задач. Например, установить, имеется ли взаимная видимость между двумя точками местности. для этого достаточно соединить их на профиле прямой линией. если эта линия не пересекает линии профиля, то взаимная видимость между точками имеется. если взаимной видимости между точками нет, то по профилю можно установить, на какую величину надо поднять одну из них, чтобы взаимная видимость появилась

По профилю хорошо видны участки, имеющие минимальную и максимальную крутизну скатов, пользуясь данными с профиля легко вычислить крутизну (угол наклона или уклон) на выбранном участке.

Проведение на карте линии заданного уклона

Пусть требуется провести на карте линию с предельным углом наклона $\nu = 1^{\circ},5$.

для решения; задачи возьмем в раствор измерителя заложение, соответствующее заданному углу наклона по графику масштаба заложений. данный график впечатывается под южной границей листа карты (смотри рисунок)



или вычисляется по формуле

$$a = \frac{h}{v} \rho^\circ = \frac{2,5}{1,5^\circ} \cdot 57,3^\circ = 95,51.$$

На карте масштаба 1 : 10000 вычисленное заложение составит 9,6 мм. Раствором циркуля (*равным* 9,6 мм) из исходной точки засекают ближайшую горизонталь в заданном направлении. далее тем же раствором измерителя из полученной точки засекают следующую горизонталь и получают еще одну точку проектируемой линии и т. д. если заложение между горизонталями больше раствора циркуля, то линию, между горизонталями проводят по кратчайшему расстоянию. Соединив все точки, получим линию с заданным углом наклона.

Следует отметить, что данная задача имеет несколько решений; из них выбирают наиболее приемлемое.

Глава 3. Геодезические измерения

3.1. Элементы теории погрешностей геодезических измерений

Общие понятия о измерениях

Неотъемлемой и основной частью геодезических работ являются всевозможные измерения земной поверхности и объектов, на ней расположенных. данные измерения выполняют с различными целями: создание топографических карт и планов, определение координат и высот точек земной поверхности; выполнения обмерных работ; выноска инженерных проектов в натуру для строительства и др.

Выполнить измерение — значит сравнить измеряемую величину с эталоном, принятым за единицу меры. Например, в России принята метрическая система мер.

Метрическая система [была введена «Метрической конвенцией», принятой на Международной дипломатической конференции 17 государств (Россия, Франция, Великобритания, США, Германия, Италия и др.) 20 мая 1875 г.] — общее название международной десятичной системы единиц, основанной на использовании метра и килограмма.

В настоящее время метрическая система официально принята во всех государствах мира, кроме США, либерии и Мьянмы (Бирма).

Измерить какую либо величину можно непосредственно, например отрезок линии на карте с помощью линейки. Такие измерения носят названия *непосредственные* или *прямые измерения*.

Однако выполнить прямые измерения не всегда возможно. Например, измерить длину окружности непосредственно – задача достаточно трудоемкая. Но, измерив вспомогательную величину (в нашем случае радиус окружности), легко вычислить длину самой окружности. *Вспомогательные измерения, позволяющие получить необходимый результат, называются косвенными измерениями.*

Измерения могут быть *равноточными* и *неравноточными*.

Равноточные – измерения, выполнены в одинаковых условиях, одним и тем же инструментом, одним и тем же методом.

Пример равноточных измерений – многократные измерения одной и той же линии на карте с помощью линейки и численного масштаба.

Неравноточные – измерения – это одни и те же измерения, но выполненные инструментами разной точности, различными методами, в разнородных внешних условиях.

Пример неравноточных измерений – последовательное измерение одной и той же линии на карте с помощью:

линейки и численного масштаба;

измерителя и поперечного масштаба.

данные измерения будут неравноточными по следующим причинам:

В первом случае цена деления мерного прибора – линейки – составляет 1 мм. Следовательно, степень доверия к измерениям ограничивается миллиметрами.

Во втором случае, в качестве мерного прибора выступает поперечный масштаб. В зависимости от основания поперечного масштаба (1 или 2 см), цена деления – t трансверсали вверх на одну позицию составит 0,1 – 0,2 мм. Следовательно, степень доверия к измеренной линии – десятые доли миллиметра.

Из приведенных выкладок видно, что измерения, выполненные с помощью поперечного масштаба значительно точнее, чем измерения, выполненные обычной линейкой. Мерные приборы, применяемые для измерения одной и той же величины, имеют разную точность. Вследствие этого данные измерения не равноточные.

для того чтобы судить о размерах какого либо предмета, его достаточно измерить один раз. Такие измерения называются *необходимыми*.

для того чтобы судить о точности размера какого либо предмета, его необходимо измерить несколько раз. Такие измерения, выполненные сверх необходимых, называются *избыточными* измерениями.

Избыточные измерения позволяют выявить грубые промахи и просчеты, повысить точность окончательного результата, оценить качество самих измерений.

Погрешности результатов измерений

Опыт показывает, что при самых тщательных многократных измерениях одной и той же величины отдельные результаты несколько разнятся между собой и отличаются в ту или другую сторону от действительного размера. Это происходит вследствие того, что процесс измерения неизбежно сопровождается погрешностями.

Появление погрешностей обусловлено несколькими факторами:

точностью мерного прибора;

внешними условиями в процессе измерений;

личными ошибками (как правило – погрешность округления) и т.д.

В первом случае погрешности называются инструментальными, во втором — погрешностями внешних условий, в третьем — личными.

Под погрешностью результата измерений Δ , понимают разность между этим результатом l и точным (истинным) значением X — измеренной величины:

$$\Delta = l - X \quad (3.1)$$

Принято говорить, что

погрешность равна разности между тем, что есть, и тем, что должно быть.

Следует отметить, что аналогичным путем вычисляются *невязки* полученных результатов, под которыми понимают несоответствие между измеренным (или вычисленным) значением той или иной величины и ее теоретическим (истинным) значением. Так, если измерены (например, транспортиром) углы плоского треугольника и оказалось, что их сумма равна $179^\circ 30'$, то разность между полученной и теоретической или истинной суммой углов плоского треугольника ($X = 180^\circ$) является невязкой f в сумме измеренных углов. В приведенном примере $f = 179^\circ 30' - 180^\circ = -30'$. Следовательно, погрешность Δ и невязка f результата измерений вычисляются по одной и той же формуле (3.1).

По характеру действия погрешности разделяются на следующие виды:

- грубые;
- систематические;
- случайные.

Производя измерения, мы вправе ожидать появления погрешностей Δ , не превосходящих по своей величине определенного предела. Этот предел зависит от выше перечисленных факторов, приводящих к погрешностям измерений. В математической статистике за такой предел принята величина

$$\Delta_{пред} \leq 3m \quad (3.2),$$

где m – средняя квадратическая погрешность измерений.

В процессе геодезических измерений за величину m принимают точность мерного прибора.

Грубые погрешности. В процессе измерений могут появиться погрешности, превышающие данный предел. Такие погрешности называются грубыми. Грубые погрешности выявляются на стадии измерений и исключаются из общего ряда.

Систематические погрешности. В рядах измерений, содержащих систематические погрешности, обычно заметна некоторая закономерность между отдельными результатами. Характер указанной закономерности зависит от источника возникновения систематической погрешности. Так, если эталон меры, которым измеряют линии местности, определен с некоторой ошибкой, то результаты будут искажены систематической погрешностью, величина которой будет пропорциональна длине линии. В некоторых случаях систематическая погрешность сохраняет величину и знак. Такие систематические погрешности называются постоянными.

Причины появления систематических погрешностей в каждом от-

дельном случае должны быть изучены. Такие погрешности необходимо исключить полностью или уменьшить их влияние на результаты измерений. Величина систематической погрешности должна быть установлена в процессе обработки ряда измерений, после этого ослабить ее влияние можно введением в результаты измерений соответствующей поправки.

Случайные погрешности. Случайные погрешности измерений являются неизбежными. Устранить их влияние на результаты измерений невозможно. В рядах измерений, в которых преобладающими являются случайные погрешности, отсутствует какая-либо видимая закономерность. Между отдельными результатами не наблюдается никакой взаимосвязи – последующий результат может отличаться от предыдущего в ту или другую сторону.

Случайные погрешности измерений появляются в результате взаимодействия элементарных ошибок, источниками которых являются наблюдатель, инструмент и внешние условия. Поэтому борьба за уменьшение влияния случайных погрешностей измерений сводится к повышению качества инструментов, совершенствованию способов измерений и выбору наиболее благоприятных условий для их проведения. Эффективной мерой также является увеличение, в определенных пределах, числа избыточных измерений.

В теории погрешности измерений рассматриваются результаты, содержащие лишь случайные ошибки.

Свойства случайных погрешностей измерений

Закономерности, которым подчиняются случайные погрешности измерений, проявляются при массовых измерениях. Они выявляются тем сильнее, чем больше измерений в данном ряду. *Закономерности, которые проявляются при массовых явлениях, называются статистическими.*

В математической статистике выявлены следующие четыре свойства случайных погрешностей:

при данных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превосходить известного предела (3.2);

равные по абсолютной величине положительные и отрицательные случайные погрешности одинаково возможны, они одинаково часто встречаются в измерениях;

среднее арифметическое из случайных погрешностей одинаково точных измерений стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений;

$$\frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = \lim \frac{[\Delta_i]}{n} = 0; \quad (3.3)$$

малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие.

Руководствуясь свойствами случайных погрешностей измерений, можно из ряда измерений одной и той же величины найти наиболее надежное ее значение.

доказано что, *простая арифметическая средина стремится к ее истинному значению при неограниченном возрастании числа измерений.*

На практике часто имеет место сравнительно небольшое число измерений одной и той же величины. Тем не менее, и в этих случаях наиболее надежным значением будет простая арифметическая средина. Но возникает вопрос: а какова точность полученного результата? Что принять за критерий оценки точности?

Такой критерий – *средняя квадратическая погрешность* - предложил Карл Фридрих Гаусс (1777–1855 гг.). Сущность оценки точности ряда равнозначных измерений основывается на рассмотрении всего ряда случайных погрешностей.

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{n}}. \quad (3.4)$$

Формула (3.4) называется формулой Гаусса. данная формула используется для оценки ряда равнозначных измерений, когда истинная величина известна.

Средняя квадратическая погрешность является надежным критерием для оценки точности измерений. Она обладает следующими тремя достоинствами.

При вычислении средней квадратической погрешности каждая погрешность возводится в квадрат. Нетрудно проследить, что сумма квадратов погрешностей значительно возрастает за счет больших по абсолютной величине погрешностей. Следовательно, *на величину средней квадратической погрешности оказывают сильное влияние большие по абсолютной величине ошибки, которые по существу и определяют качество произведенных измерений.*

Формула (3.10) предусматривает, что число погрешностей n стремится к бесконечности. На практике число погрешностей чаще всего бывает сравнительно небольшим. Однако и при сравнительно небольшом числе погрешностей (≥ 10) средняя квадратическая погрешность вычисляется достаточно надежно. Поэтому можно сказать, что средняя квадратическая погрешность является устойчивым критерием для оценки точности измерений.

Во многих случаях истинное значение X измеренной величины неизвестно, поэтому не могут быть вычислены случайные ошибки Δ по

формуле (3.1), равно как невозможно найти среднюю квадратическую погрешность одного измерения по формуле (3.4). В таких случаях оценку точности измерений производят по отклонениям v отдельных измерений от простой арифметической середины.

По отклонениям v_i можно вычислить среднюю квадратическую ошибку одного измерения. В теории ошибок измерений доказывается, что

$$m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}. \quad (3.5)$$

Это формула Бесселя, по которой обычно производится оценка точности ряда равноточных измерений одной величины. Знаменатель подкоренного выражения $(n - 1)$ представляет число избыточных измерений. Следовательно, с увеличением (до некоторого предела) числа избыточных измерений точность результатов повышается.

По величине средней квадратической погрешности можно определить предельную ошибку $\Delta_{пред}$ (3.2), которая может иметь место при данных условиях измерений.

$$\Delta_{пред} \leq 3m$$

В технических инструкциях по производству геодезических измерений устанавливается более жесткий допуск, а именно

$$\Delta_{пред} \leq 2m \quad (3.6)$$

В среднем лишь пять погрешностей из 100 превосходят предел, установленный формулой (3.6).

В ряде случаев средняя квадратическая погрешность недостаточно показательна. Так, если линия длиной S измерена со средней квадратической погрешностью m_s , то нагляднее точность измерений характеризуется дробью:

$$\frac{m_s}{S} = \frac{1}{T}. \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) называется относительной погрешностью и выражается аликвотной дробью, в числителе которой стоит единица.

Средняя квадратическая погрешность функции общего вида
дана функция

$$U = f(x, y, z, \dots, w) \quad (3.8)$$

аргументы X, Y, Z, \dots, W которой независимо измерены со средними квадратическими ошибками $m_x, m_y, m_z, \dots, m_w$. В теории ошибок измерений

доказывается, что средняя квадратическая ошибка функции (3.8) выражается следующей формулой:

$$m_{\bar{f}} = \left| \left(\frac{df}{dx} \right)^2 m_x^2 + \left(\frac{df}{dy} \right)^2 m_y^2 + \left(\frac{df}{dz} \right)^2 m_z^2 + \dots + \left(\frac{df}{dw} \right)^2 m_w^2 \right|, \quad (3.9)$$

где частные производные от функции вычислены со значениями измеренных аргументов

X, Y, Z, \dots, W .

Квадрат средней квадратической погрешности функции общего вида равен сумме произведений квадратов частных производных от функции по каждому аргументу на квадраты средних квадратических ошибок соответствующих аргументов.

Пример 1. *Определить среднюю квадратическую погрешность (СКП) определения площади круга, если измеренный радиус круга составил $R = 15$ м, а СКП измерения радиуса составила $m_R = 0.03$ м.*

Площадь круга вычисляется по известной формуле:

$$S = \pi R^2$$

В данной формуле одна переменная – R . Согласно формуле (3.9) продифференцируем данное выражение по переменной R и вычислим СКП площади круга.

$$(dS)^2 = (2\pi R)^2 \times (m_R)^2 \rightarrow dS = 2\pi R \times m_R = 2,826 \text{ м}^2.$$

Пример 2. *Определить СКП прямоугольной площади участка, выделенного под строительство жилого дома, если измерения линий во время разбивочных работ выполнялись нитяным дальномером. СКП измерения линий нитяного дальномера $m_a = m_b = 0,1$ м.*

Размер участка 20 x 30 метров.

Площадь прямоугольника вычисляется как

$$S = ab$$

В данной формуле две переменных – a и b . Согласно формуле (3.9) продифференцируем данное выражение

$$(dS)^2 = b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2 \rightarrow dS = \sqrt{b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2} = 3,61.$$

Уравнивание результатов геодезических измерений

Уравнивание – это процесс математической обработки геодезических измерений с целью получения наиболее надежных значений определяемых величин и оценки их точности. Как правило, точность оценивается по

величинам полученных невязок f показывающих отклонение результата функции измеренных величин от теоретического значения. Практическая невязка не должна быть более допустимой невязки – $f_{доп}$. допустимая невязка устанавливается для каждого вида работ, исходя из точности применяемых инструментов, а также методов и условий измерений.

В случае получения по результатам оценки точности измерений допустимых невязок, в данные измерений вводят поправки со знаком, обратным знаку невязки.

Основным способом уравнивания результатов измерений является способ наименьших квадратов, при котором ставится условие: сумма квадратов поправок в измеренные значения должна быть минимальной:

$[v^2] = \min$ – для равноточных измерений;

$[pv^2] = \min$ – для неравноточных измерений.

Где величина p – вес, показывает степень доверия к полученному результату измерения.

Необходимо иметь ввиду, что обязательными условиями выполнения геодезических работ являются:

- контроль измерений и расчетов;
- оценка точности полученных результатов.

Точность производства разных видов геодезических работ регламентируется соответствующими инструкциями.

Как правило, до начала работ составляется проект производства геодезических работ, где даётся пред расчёт точности конечных результатов.

3.2. Основные принципы геодезических измерений

Непосредственными результатами измерений на местности являются: длины линий, горизонтальные и вертикальные углы. Остальные значения вычисляются в зависимости от метода измерений и используемых приборов.

Углы в горизонтальной плоскости, измеряемые от исходного направления до заданного, называют горизонтальными, показано на рис. 3.1.

Углы в горизонтальной плоскости, измеряемые от исходного направления до заданного, называют горизонтальными, показано на рис. 3.1.

Вертикальные углы — это углы, расположенные в вертикальной плоскости.

Принципы измерения углов

Пусть требуется измерить горизонтальную проекцию угла ABC (см. рис. 3.1), образованного линиями

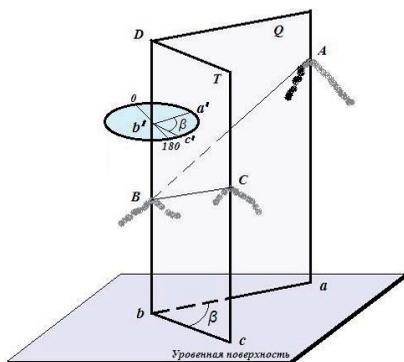


Рис. 3.1

местности AB и BC . Горизонтальной проекцией данного угла является угол $abc = \beta$, полученный путем ортогонального проектирования сторон BA и BC на урoвеньную поверхность. Таким образом, интересующий нас угол abc является двугранным углом между отвесными проектирующими плоскостями Q и T , проходящими соответственно через стороны BA и BC данного угла. Угол abc можно измерить при помощи угломерного круга (см. рис. 3.1), установленного горизонтально (параллельно урoвеньной поверхности), и так, что отвесное ребро двугранного угла Db проходило через его центр b' . Радиусы $b'a'$ и $b'c'$ этого круга (лимба) находятся соответственно в проектирующих плоскостях Q и T . Поэтому угол $a'b'c'$ равен искомому углу abc . Если оцифровка делений на круге возрастает по ходу часовой стрелки, то очевидно, что величина угла β равна разности отсчетов по кругу в точках c' и a' .

Одной из основных частей геодезических приборов является лимб (горизонтальный круг). Во время измерения угла плоскость лимба должна занимать горизонтальное положение, а центр — устанавливаться на отвесной линии, проходящей через вершину B измеряемого угла. На плоскость лимба проектируются стороны BA и BC .

К вертикальным углам относятся углы наклона. Углом наклона линии называют угол v между направлением линии и её проекцией на горизонтальную плоскость. Углы наклона выше горизонта — положительные, ниже горизонта — отрицательные. Зенитное расстояние — угол z между направлением в зенит и направлением линии (рис. 3.2).

Измерение вертикальных углов производят с целью определения горизонтальных проложений измеренных длин наклонных линий, определения превышения отдельных точек земной поверхности методом тригонометрического нивелирования, определения широты и долготы точек земной поверхности и др.

Приборы и методы измерения горизонтальных и вертикальных углов будут описаны в следующих разделах.

Принципы измерений длин линий и приборы

Расстояния в геодезии измеряют мерными приборами и дальномерами. Мерными приборами называют ленты, рулетки, проволоки, которыми расстояние измеряют путём

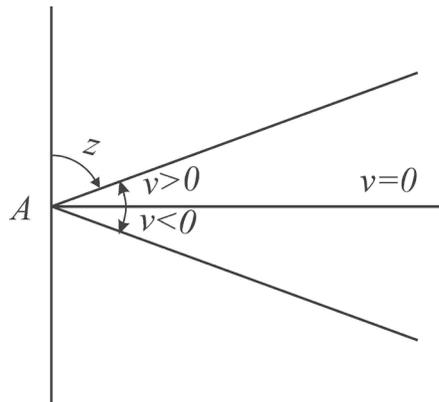


Рис. 3.2

уложения мерного прибора в створе измеряемой линии. дальномеры применяют оптические, лазерные и светодальномеры.

Мерные ленты изготавливают из стальной полосы шириной до 2,5 см и длиной 20, 24 или 50 м. Наиболее распространены 20-метровые ленты. На концах лента имеет вырезы для фиксирования концов втыкаемыми в землю шпильками. На ленте отмечены метровые и дециметровые деления. для хранения ленту наматывают на специальное кольцо. К ленте прилагается комплект из шести (или одиннадцати) шпильек.

Рулетки — узкие (до 10 мм) стальные ленты длиной 20, 30, 50, 75 или 100 м с миллиметровыми делениями. для высокоточных измерений служат рулетки, изготовленные из инвара — сплава, имеющего малый коэффициент линейного расширения.

длину линии измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Расхождение не должно превышать $1/2000$ (при неблагоприятных условиях — $1/1000$). За окончательное значение принимают среднее.

Измеренные расстояния исправляют поправками за компарирование (сравнение с эталоном) и за температуру.

для определения горизонтального проложения d используется формула $d = D \cos \nu$, где D измеренное наклонное расстояние (рис. 3.3).

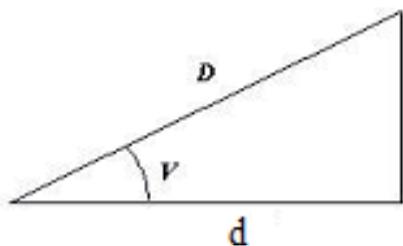


Рис. 3.3

Нитяной дальномер. дальномеры предназначены для измерения расстояний косвенным способом. Различают оптические дальномеры и электронные. Простейшим оптическим дальномером является нитяной дальномер, который имеется в зрительных трубах оптических геодезических приборов. В поле зрения зрительной трубы видна сетка нитей (рис. 3.4).

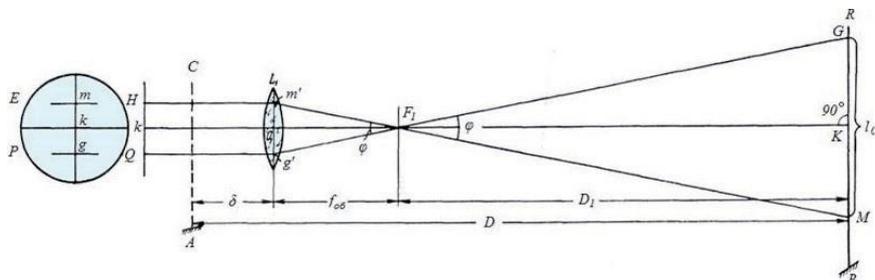


Рис. 3.4

Сетка нитей таких труб кроме креста нитей в точке k имеет две дополнительные нити m и g , называемые дальномерными. Вместе с дальномерной рейкой они позволяют определять расстояния между точками местности.

Пусть требуется определить расстояние D от точки A , над которой установлен (центрирован) теодолит (CA — его ось вращения), до точки B , в которой установлена дальномерная рейка R . Рассмотрим частный случай, когда рейка перпендикулярна линии визирования kK . Построим ход лучей, идущих параллельно оптической оси, от точек m и g дальномерных нитей через объектив L_1 зрительной трубы к рейке. Лучи преломятся в объективе L_1 и, пройдя через его передний фокус F_1 , встретят рейку в точках M и G . Таким образом, наблюдатель будет видеть между дальномерными нитями mg отрезок MG рейки. его длина l_0 , измеренная в делениях рейки, является дальномерным отсчетом. Очевидно, что независимо от расстояния до рейки угол φ между лучами F_1G и F_1M остается постоянным. С изменением расстояния D до рейки будет изменяться дальномерный отсчет l_0 . Таким образом, нитяной дальномер относится к дальномерам с постоянным углом φ . Из рисунка следует, что искомое расстояние:

$$D = D_1 + f_{\text{об}} \pm \delta.$$

Но для дальномера с постоянным углом

$$D = Kl_0 + c,$$

где K — коэффициент дальномера $= 100 \pm 1\%$, определяется из исследований дальномера; l_0 — дальномерный отсчет по рейке (число делений рейки между дальномерными нитями); $c = f_{\text{об}} + \delta$ — постоянное слагаемое (определяется из исследований дальномера).

для некоторых видов работ величиной постоянного слагаемого можно пренебречь.

Упрощенно расстояние от инструмента до рейки определится из выражения $D = 100 \times l_0$,

Пример определения расстояния. На рис. 3.5. показано поле зрения зрительной трубы наведенной на рейку.

дальномерный отсчет по рейке — l_0 состоит из разности двух отсчетов.

1. Отсчета по верхней дальномерной нити = 1258 мм
2. И нижней дальномерной нити = 1153 мм

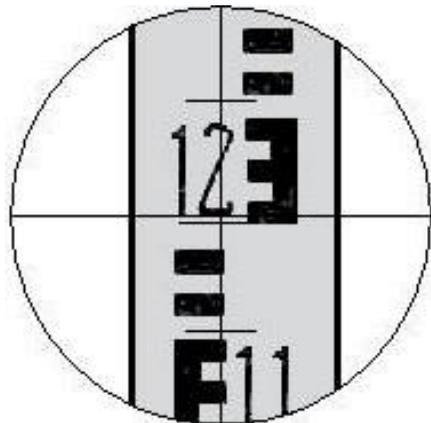


Рис. 3.5

дальномерный отсчет в данном случае будет равен $l_0 = 1258 - 1153 = 105$ мм.

если коэффициент дальномера $K=100$, то умножим дальномерный отсчет на 100 и получим расстояние в миллиметрах. В одном метре 1000 мм, получим расстояние до рейки в нашем примере

$$D = \frac{l_0}{1000} = \frac{105 \cdot 100}{1000} = 10,5 \text{ м.}$$

Следовательно, чтобы получить расстояние до рейки, дальномерный отсчет необходимо поделить на 10 или просто отделить последнюю цифру запятой.

Это выражение верно, если рельеф ровный и угол наклона склона к горизонту не превышает 3° . В противном случае необходимо вычислить значение горизонтального приложения d по измеренному наклонному расстоянию D и углу наклона визирной линии к горизонту ν , так как при отсчете по рейке она не перпендикулярна к визирному лучу, получим:

$$d = D \cos^2 \nu$$

Точность измерения линий нитяным дальномером равна $1/300$ от длины линии. Например, при расстоянии 100 м погрешность измерения составит 0,3 м. Очевидно, что такая точность допустима в тех случаях, когда при съемке определяется положение так называемых нечетких контуров (границ лесов, болот и др.) или при съемке рельефа местности.

Светодальномер. Светодальномер – прибор, измеряющий расстояние по времени прохождения его световым сигналом.

В комплект светодальномера входят приёмопередатчик и отражатель. Приёмопередатчик 1 (рис. 3.6) устанавливают на штативе на одном конце измеряемой линии, а отражатель 2 на специальной вешке или тоже на штативе – на другом.

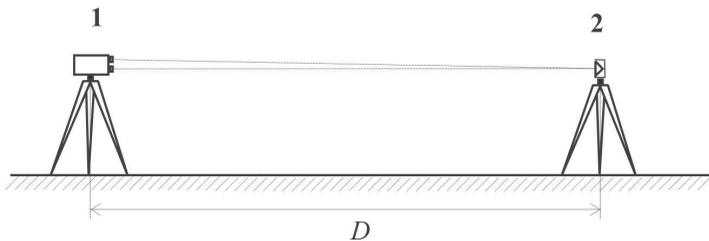


Рис. 3.6

Приёмопередатчик излучает световой сигнал, принимает его после возвращения от отражателя, измеряет время t , прошедшее от излучения до приёма, и вычисляет расстояние:

$$D = vt/2.$$

Здесь v – скорость света (при средних условиях $v \approx 299710$ км/с).

Время t необходимо измерять с высокой точностью. Так, для точности в расстоянии 1см время надо знать с ошибкой не более 10^{-10} с.

Измерение времени выполняется фазовым или импульсным методом.

В геодезии, где требуется высокая точность измерения расстояний, применяются преимущественно фазовые дальномеры.

Измеренное расстояние исправляют поправками за атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, влияющими на скорость света. для получения горизонтального проложения вводят поправку за наклон или получают величину горизонтального проложения как $d = D \cos v$, где D – измеренная наклонная дальность. Современные электронные приборы вводят такие поправки согласно настройкам пользователя автоматически.

Отражатели бывают призмённые и плёночные. Основным элементом призмённого отражателя является стеклянная трипельпризма отражающая световые лучи. для увеличения дальности измерений изготавливают многопризмённые отражатели.

Плёночный отражатель представляет собой отражающую свет пластиковую плёнку, на которую нанесён симметричный рисунок. дальность измерений с плёночными отражателями меньше, чем с призмённым. Но зато плёночный отражатель можно закрепить там, где установить призмённый отражатель невозможно, например – приклеить в нужном месте на сооружение. Это удобно для наблюдения за деформациями объекта на протяжении длительного времени или других работ.

Существуют дальномеры, позволяющие измерять расстояния до объектов без отражателя. Таким дальномером например, являются «лазерные рулетки». Световой луч наводят на нужные объекты и измеряют расстояния до 80–200 м с точностью 1,5–3мм относительно начальной точки заданной на рулетке.

лазерными рулетками фирмы «Бош» (Германия) измеряются расстояния от 0,2 до 60 м с погрешностью 3мм. Рулетка «DISTO» фирмы «Leica» предназначена для измерения расстояний от 0,2 до 100 м с погрешностью 3 мм. К недостаткам лазерных рулеток следует отнести то, что они пригодны к работе при температуре не ниже минус 10° , кроме того, при ярком солнечном свете возможности измерить максимальную дальность снижаются в 2–3 раза.

Так же лазерные без отражательные дальномеры используются во многих моделях современных электронных тахеометров.

Нивелирование. Общие положения

*Рельеф — очень важная характеристика местности. Знание рельефа необходимо для проектирования линейно-протяженных объектов, плотин, аэродромов, строительных площадок и т.д. Знание рельефа — это знание абсолютных высот характерных точек местности. **Определение высот точек местности — суть нивелирования.***

Нивелирование выполняется различными инструментами и способами.

При этом различают несколько основных способов:

- 1) геометрическое нивелирование – нивелирование горизонтальным лучом;
- 2) тригонометрическое (геодезическое) – нивелирование наклонным лучом;
- 3) стереофотограмметрическое нивелирование;
- 4) барометрическое;
- 5) гидростатическое.

Геометрическое нивелирование основано на применении нивелира, прибора который обеспечивает горизонтальное положение линии визирования. линия визирования проходит через перекрестие сетки нитей нитяного дальномера зрительной трубы и центр объектива, на рис. 3.4 показана – *kK*.

Тригонометрическое нивелирование производится путем измерения угла наклона визирной линии к горизонту и расстояния между нивелируемыми точками. Углы наклона измеряются теодолитом, расстояния – мерной лентой или дальномером.

Стереофотограмметрическое нивелирование — это определение высот точек местности посредством измерения стереопар аэрокосмических снимков.

Барометрическое нивелирование основано на определении превышений по разности атмосферного давления в различных по высоте точках местности. Разность давления измеряется с помощью барометров-анероидов. При этом учитывается разница температуры воздуха. Точность определения высот точек из барометрического нивелирования невысока – от 0,5 до 2 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкостей в сообщающихся сосудах оставаться на одном уровне. По разности отсчетов шкал двух одинаковых сосудов получается разность высот точек (превышение). Гидростатическое нивелирование применяется для определения небольших превышений при наблюдениях за осадками зданий и

промышленных сооружений, при архитектурных обмерах, при монтаже технологического оборудования и др.

Геометрическое и тригонометрическое нивелирование производится для получения рельефа при производстве топографических съемок, или для проектирования различного рода инженерных сооружений.

Геометрическое нивелирование называют иногда «**нивелированием горизонтальным лучом**». Геометрическое нивелирование выполняется с помощью нивелира и рейки. Рейки бывают: деревянные или пластиковые, складные или раздвижные длиной 3–5 м. Чаще всего рейки имеют сантиметровые деления, подписываются дециметры. Подписи дециметровых делений рейки могут иметь прямое или обратное изображение в зависимости от применяемых нивелиров. Рейки могут быть одно и двухсторонние. На одной стороне двухсторонней рейки нанесены черные деления, на другой – красные. Начало счета черных делений рейки – нулевой отсчет называется «пяткой» рейки. Начальный отсчет красной стороны рейки 4 700, 4 800 или другое число более 3 000. Рейка устанавливается на точке «пяткой» вниз и приводится в отвесное положение или «на глаз» или с помощью круглого уровня, если на рейке он есть. Отсчет по рейке берется с точностью 1 мм, при этом десятые доли сантиметрового деления оцениваются «на глаз».

Предположим, что необходимо определить превышение h точки В над точкой А местности. При этом мы имеем нивелир и геодезическую шашечную или штриховую **рейку, начало отсчета у которой определяется от земли.**

Основным способом нивелирования является способ «**нивелирование из середины**», общая идеология которого приведена на рис. 3.7, где a и b — отсчеты по рейкам R и $R1$. При этом R – задняя, а $R1$ – передняя рейки.

Тогда, как видно из рисунка, превышение h точки **В** над точкой **А** определится из следующего соотношения: **$h=a-b$.**

Превышение h может быть положительным ($a > b$) или отрицательным ($a < b$).

для контроля отсчеты берутся по черной и красной сторонам рейки. Превышение подсчитывается дважды, как разность отсчетов по черным сторонам реек и как разность отсчетов по красным сторонам. По известной высоте точки А – H_A и измеренному превышению h вычисляется высота точки В – H_B : **$H_B = H_A + h$.**

Определение превышений при одном положении нивелира называется «**работа на станции**» или «**станцией**». Вполне очевидно, что при определении высот точек земной поверхности по

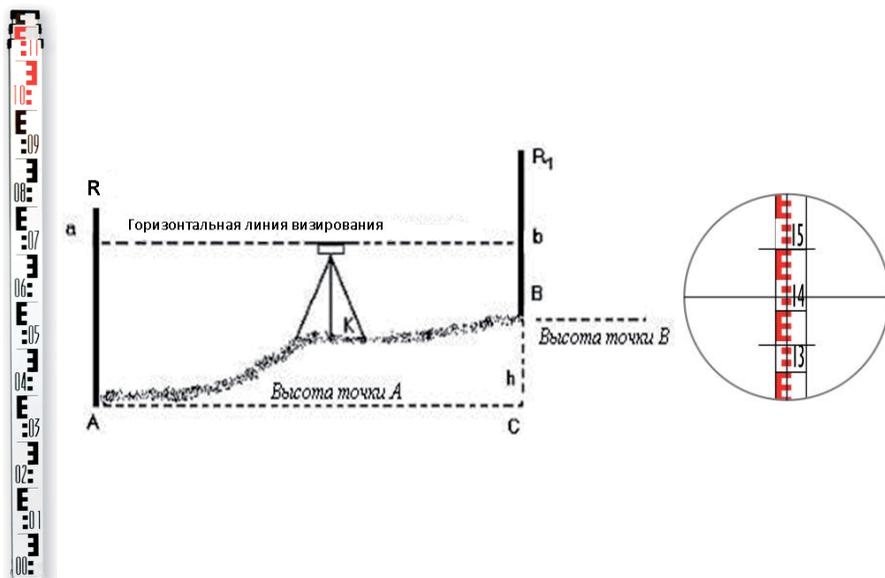


Рис. 3.7

определенным линиям значительной протяженности, потребует выполнения работ на нескольких станциях. Совокупность данных работ называется **сложным нивелированием**. если такое нивелирование выполнено между исходной точкой отметка (высота) которой известна и определяемой точкой, то такой участок нивелирования называют **нивелирной секцией** (рис. 3.8). Точки, отметки которых известны или определяются, закрепляются определёнными знаками, сохраняющими их положение неизменным, их называют нивелирными реперами или марками в зависимости от типа закрепления. Последовательность секций от исходного репера с известной отметкой (высотой), до другого называют **нивелирным ходом**.

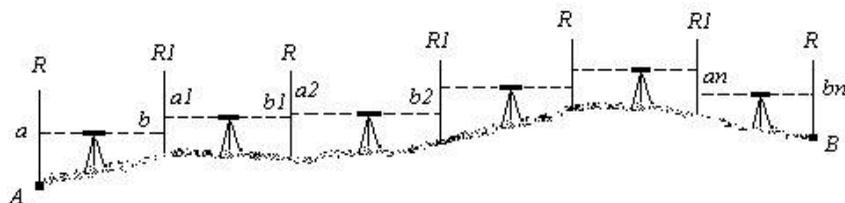


Рис. 3.8

На рис. 3.8 приняты следующие обозначения:

R и RI — нивелирные рейки, которые чередуются по ходу нивелирования; $a, b, a_1, b_1, \dots, a_n, b_n$ — отсчеты по рейкам на станциях нивелирования.

Тогда превышения на станциях определяются из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} h_1 &= a - b \\ h_2 &= a_1 - b_1 \\ &\dots \dots \dots \\ h_n &= a_n - b_n \end{aligned}$$

Выполнив алгебраическое сложение превышений, полученных на промежуточных станциях между точками А и В, получим искомое превышение:

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n,$$

или

$$h = \sum h_i = \sum (a_i - b_i) = \sum a_i - \sum b_i.$$

Отсюда

$$H_B = H_A + h.$$

Сложное нивелирование проводят между исходными и определяемыми реперами.

Нивелирные ходы могут быть замкнутые и разомкнутые. В замкнутых ходах в конце измерений возвращаются к исходной точке (реперу). Разомкнутый ход опирается на две точки с известными отметками. При съемке участка под строительство, а также при обмерах объектов архитектуры высотным обоснованием служит, как правило, нивелирный ход, проложенный по точкам теодолитного хода – теодолитно-высотный ход.

для замкнутого нивелирного хода теоретическая сумма превышений равна нулю, следовательно, полученная сумма средних превышений является невязкой хода fh . В разомкнутых нивелирных ходах теоретическая сумма превышений равна разности отметок конечной – H_k и начальной – H_n точек хода. Невязка разомкнутого нивелирного хода определяется из выражения:

$$fh = \sum h - (H_k - H_n).$$

допустимая невязка хода $fh_{\text{доп}}$ доп. Вычисляется для хода технического нивелирования по одной из формул:

$$fh_{\text{доп}} = + 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \text{ где } L - \text{длина хода (км)}$$

$$\text{или } fh_{\text{доп}} = + 10 \text{ мм} \sqrt{n}, \text{ где } n - \text{число станций в ходе.}$$

если невязка хода не превышает допустимой, ее распределяют с обратным знаком пропорционально на все превышения, вводят поправки.

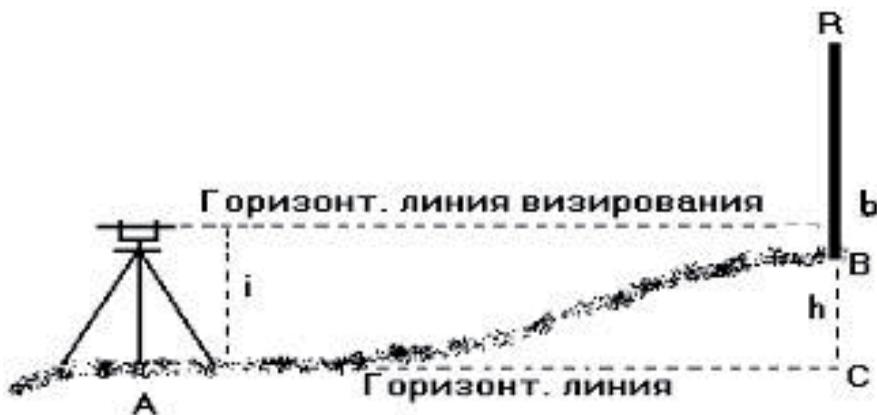


Рис. 3.9

Сумма исправленных превышений должна быть равна нулю в замкнутом ходе. Отметки точек вычисляются путем последовательного суммирования отметки предыдущей точки и исправленного превышения (с учетом знака превышения).

В некоторых случаях, когда необходимо определить несколько превышений с одной станции, используют другой вид геометрического нивелирования, который называется «*нивелирование вперед*».

Как правило, данный вид нивелирования используется при решении прикладных инженерных задач в строительстве, например при нивелировании по квадратам, благоустройстве городских и застроенных территорий (выполнении проекта вертикальной планировки) и ряде других задач.

Общая идеология *нивелирования вперед* приведена на рис. 3.9.

Нивелир стоит над точкой A , которая имеет высоту H_A .

Требуется определить превышение h точки B относительно точки A . для этого измеряют высоту инструмента – i относительно точки A и берут отсчет b по рейке R .

Тогда превышение точки B над точкой A определится из следующего соотношения:

$$h = i - b.$$

если с одной станции измеряются высоты нескольких точек, то целесообразно выполнять расчет этих высот по горизонту инструмента. Горизонтом инструмента на станции называется отметка визирного луча нивелира, очевидно, что $H_{ГН}$ определится из выражения:

$$H_{ГН} = H_A + i.$$

Высота определяемой точки $H_B = H_{ГИ} - b$.

Классификация нивелиров

По ГОСТ 10528-90 «Нивелиры. Технические условия» все нивелиры по точности разделяются на три группы:

высокоточные – для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 0,5 мм на 1 км двойного хода;

точные – для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 3 мм на 1 км двойного хода;

технические – для определения превышений со средней квадратической ошибкой не более 10 мм на 1 км двойного хода.

По этому ГОСТу изготавливаются следующие нивелиры:

высокоточный Н-05, предназначенный для нивелирования I и II классов;

точный Н-3 и его модификации – для нивелирования III и IV классов;

технический Н-10 и его модификации – для нивелирования, проводимого с целью получения высотного обоснования топографических съемок и инженерно-геодезических изысканий.

Цифры, стоящие в шифрах нивелиров за буквой Н, обозначают средние квадратические погрешности (в мм) измерения превышений на 1 км двойного хода.

В зависимости от устройства, применяемого для приведения визирной оси в горизонтальное положение, нивелиры всех типов выпускаются в двух вариантах: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. При наличии компенсатора в шифре нивелира добавляется буква **К**.

Нивелир типа Н-3 может изготавливаться с лимбом для измерения горизонтальных углов. В этом случае в шифре нивелира добавляется буква **Л**. Тогда нивелир Н-3 с компенсатором и лимбом будет иметь шифр НЗКЛ.

действующий ГОСТ предусматривает следующие основные параметры для нивелиров НЗ:

- 1) среднюю квадратическую ошибку превышения на станции не более 2 мм при расстоянии от нивелира до реек 100 м;
- 2) увеличение зрительной трубы не менее 30^х;
- 3) наименьшее расстояние визирования не более 2 м;
- 4) коэффициент нитяного дальномера $100 \pm 1\%$;
- 5) цену деления уровня на 2 мм : установочного – $10 \gg \pm 2$, уровня при трубе – $15 \gg \pm 1,5$;
- 6) массу нивелира не более 3 кг.

В ГОСТе указываются и другие технические требования, касающиеся как изготовления приборов в целом, так и отдельных его деталей, в нем же рекомендуются методы испытаний и исследований нивелиров.

Нивелир Н-3. Точный нивелир Н-3 — нивелир с цилиндрическим контактным уровнем 1, элевационным винтом 2 и неотъемлемой подставкой (трегером) 3.

Внешний вид прибора представлен на рис. 3.10. Зрительная труба нивелира имеет внутреннюю фокусировку — выполняемую с помощью винта 4.



Рис. 3.10

для предварительной установки оси прибора в отвесное положение имеется установочный (круглый) уровень 5.

для закрепления положения зрительной трубы имеется закрепительный винт 6; для точного наведения трубы на рейку служит наводящий винт 7. Подставка нивелира (трегер) имеет три подъемных винта 8. В центральной части пластины укреплен втулка 9 с резьбой, в которую ввинчивается становой винт, скрепляющий нивелир со штативом.

Схема оптики трубы и призмной системы уровня представлена на рис. 3.11, где 1 уровень с призмным блоком; 2,3 ромбические призмы, которые смещают луч, не меняя направления, 4 сетка нитей, нанесенная на стеклянной

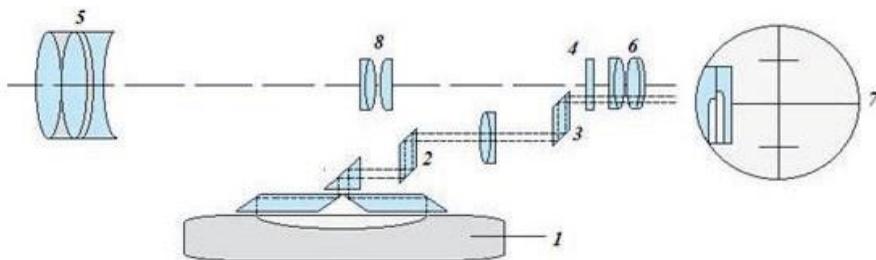


Рис. 3.11

пластинке, 5 трехлинзовый объектив, 8 фокусирующая линза, 6 окуляр. Призменная система уровня позволяет осуществить оптический контакт концов пузырька цилиндрического уровня, по которому происходит установка пузырька в нуль-пункт. Изображение концов пузырька выводится в поле зрения окуляра – 7.

Нивелир Н-ЗКЛ. Точный нивелир (Н-3), с компенсатором (К) и лимбом (Л) (рис. 3.12). Предназначен для развития нивелирных сетей, а так же производства инженерных и разбивочных работ, для чего снабжается лимбом с целью измерения горизонтальных углов.

Нивелир состоит из собственно нивелира (1) и съемной взаимозаменяемой подставки (трегера 2) с подъемными винтами (3).

Сам нивелир состоит из объектива 4, окуляра 5, микрометра, для снятия отсчетов по горизонтальному кругу 6, установочного круглого уровня с зеркальцем 7, фрикционного (бесконечного) наводящего винта 8, оптического коллиматора для грубого наведения нивелира на рейку 9.

Поле зрения окуляра нивелира представлено на рис. 3.1.

для снятия отсчетов по горизонтальному кругу используется простой индексный микроскоп, представленный на рисунке 3.14.

Приведение прибора в рабочее положение выполняется с помощью подъемных винтов трегера и установочного уровня, с ценой деления 10'.

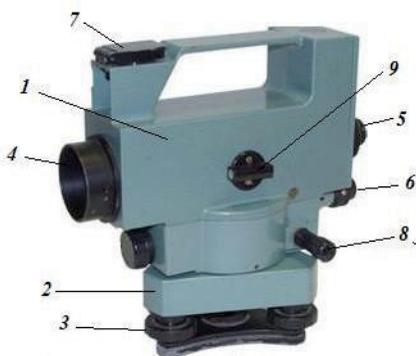


Рис. 3.12

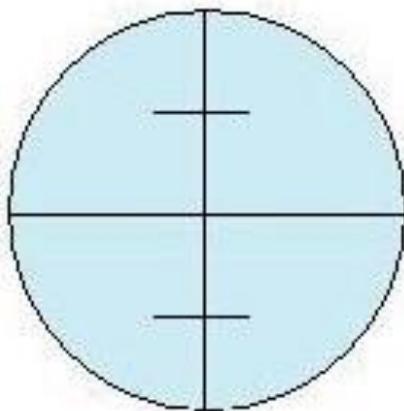


Рис. 3.13

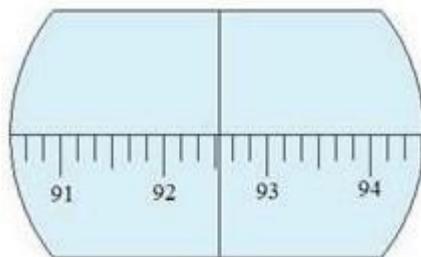


Рис. 3.14

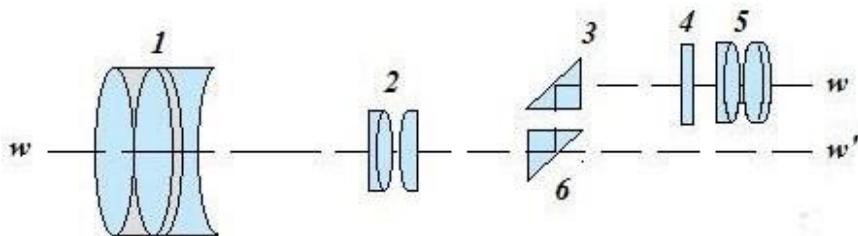


Рис. 3.15

для приведения визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение, нивелир снабжен призмным компенсатором (рис. 3.15), обрабатывающим погрешность установки оси вращения прибора в пределах $15'$.

Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм 3 и 6, которые служат для передачи изображения, построенного объективом 1, в плоскость сетки нитей 4. Призма 6 подвешена в верхней части корпуса нивелира на двух парах скрещивающихся стальных нитей (торсионках).

При горизонтальном положении визирной оси, луч ww' , проходя через фокусирующую линзу 2, отразится от центральной точки скошенного края призмы 6 под углом 90° . Отраженный луч попадет на центральную точку скошенного края призмы 3 и отразившись под углом 90° , окажется в перекрестие сетки нитей. Торсионная система устроена таким образом, чтобы при наклоне зрительной трубы, в пределах работы компенсатора, вертикальная грань призмы 6 оставалась в вертикальном положении. При этом, визирный луч ww' будет не горизонтален и отразится в призме 6 не в центре скошенной грани. Угол отражения визирного луча в призме 6 будет отличаться от 90° на угол наклона визирной оси и как следствие, отраженный луч не попадет в центр скошенной грани призмы 3. Следовательно, изображение, построенное объективом, сместится относительно сетки нитей на линейную величину угла наклона зрительной трубы.

Кроме того, компенсатор снабжен демпфером, чтобы погасить колебания призмы 6. Время отработки колебаний приблизительно 2 с.

Ошибка установки линии визирования в горизонтальное положение не более $0,5''$. Перед тем, как снять отсчет по рейке, рекомендуется слегка постучать по штативу карандашом или пальцем. При этом сетка нитей должна выполнить колебательные движения относительно шкалы рейки вверх – вниз. Это говорит о правильной работе компенсатора. Если колебательные движения отсутствуют, значит диапазон работы компенсатора превышен или он неисправен.

На рис. 3.16 и 3.17 представлены дальнейшие модификации нивелира Н-ЗКл – 3НЗ-Кл (см. рис. 3.16) и 4Н-ЗКл (см. рис. 3.17).



Рис. 3.16



Рис. 3.17

Нивелир 4Н-3Кл относится к нивелирам технической точности. Нивелир выполнен в виде единого оптико-механического блока, включающего в себя зрительную трубу прямого изображения с нитяным дальномером, самоустанавливающийся компенсатор, автоматически приводящий визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение, лимб для измерения горизонтальных углов и жидкостный уровень для установки прибора в рабочее положение.

Технические характеристики нивелира 4Н-3КЛ

Зрительная труба	
Увеличение	23x
Наименьшее расстояние визирования, м	1,2
Изображение	Прямое
Угол поле зрения	2°
Коэффициент нитяного дальномера	100±1
Компенсатор	
Тип демпфирования	Магнитный
диапазон работы	15'
Систематическая погрешность работы компенсатора на 1' на- клона оси нивелира	0,5"
Горизонтальный круг	
диаметр,мм	107
Цена деления лимба	1°
допустимая СКП измерения горизонтального угла	0,5°
Точность нивелирования	
допустимая СКП на 1 км двойного хода, мм	2,5

Наряду с оптическими нивелирами производства России и стран СНГ применяются также нивелиры зарубежных фирм: Sokkia (Япония), Trimble и др.

Цифровые нивелиры отличаются от оптических наличием электронного устройства, снимающего отсчеты по специальной штрих – кодовой рейке. Наблюдатель наводит прибор на рейку, фокусирует изображение и нажимает кнопку. На экране дисплея получается значения отсчета по рейке и расстояния до нее. Применение цифровых нивелиров исключает ошибки в отсчете и существенно повышает производительность труда.

лазерные нивелиры предназначены в основном для выполнения геодезических разбивочных, строительно-монтажных и отделочных работ. лазерный нивелир дает видимый (красный) луч и работает без приемника излучения. Прибор незаменим в условиях слабой освещенности, в то же время, при ярком солнечном свете радиус действия видимого луча уменьшается.

Производство технического нивелирования

Как уже отмечалось выше, в процессе нивелирования определяются превышения h_i между соседними точками и отметки их высоты H_i .

Нивелир, последовательно, устанавливается между точками хода (рис. 3.18).

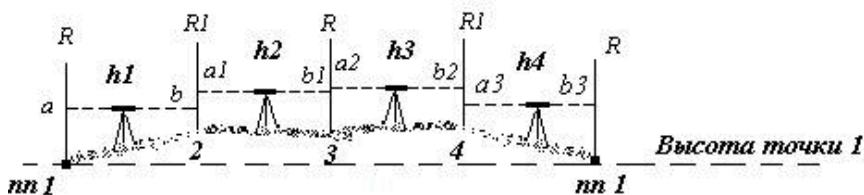


Рис. 3.18

Рассмотрим производство технического нивелирования на примере соответствующем заданию 5. Где в качестве исходной известна отметка высоты точки IIII.

Требуется выполнить нивелирование и определить отметки высот точек – 2, 3 и 4 замкнутого нивелирного хода.

На точки хода (рис. 3.19), закрепленные на местности, устанавливаются рейки R и RI , как показано на рис. 3.18.

Порядок работы на станции нивелирования следующий:

1. Установка штатива, выполняется на удобном для наблюдений месте, желательно на равных расстояниях до реек. Верхняя площадка штатива (головка) должна быть горизонтальна, ножки штатива выдвинуты

на длину удобную для наблюдений. Перед началом работы проверяется устойчивость штатива.

2. Горизонтирование прибора выполняется по установочному круглому уровню. (*горизонтирование* – процесс приведения оси вращения прибора в вертикальное положение).

Нивелир закрепляется на штативе с помощью закрепительного винта. Подъёмные винты подставки (трегера) должны находиться в среднем положении. далее, с помощью подъёмных винтов приведём пузырёк уровня в центр ампулы (нуль-пункт) выполняя действия показанные на рис. 3.20, а, б. Сначала вращением винтов *A* и *B* в противоположных направлениях (см. рис. 3.20, а) добиваются установки пузырька уровня на прямой перпендикулярной линии соединяющей центры винтов *A* и *B* и проходящей через центр винта *C*.

Затем вращая только винт *C* можно привести пузырёк круглого уровня в центр (см. рис. 3.20, б).

3. Установка зрительной трубы для наблюдений, включает в себя:

наведение зрительной трубы на рейку с помощью визира;

установку зрительной трубы «по глазу», так что бы наблюдатель чётко видел изображение сетки нитей. Этого добиваются вращением окулярного кольца.

установку зрительной трубы «по предмету», выполняют вращением фокусировочного винта, пока изображение рейки в поле зрения трубы не станет чётким, как показано на рис. 3.21.

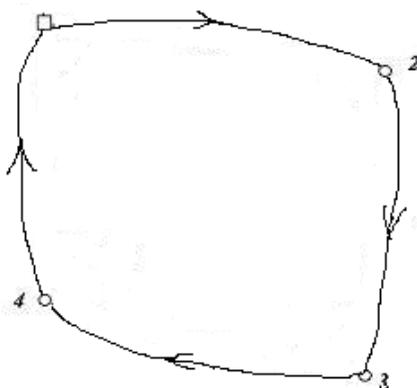


Рис. 3.19

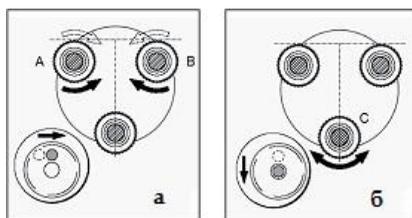


Рис. 3.20

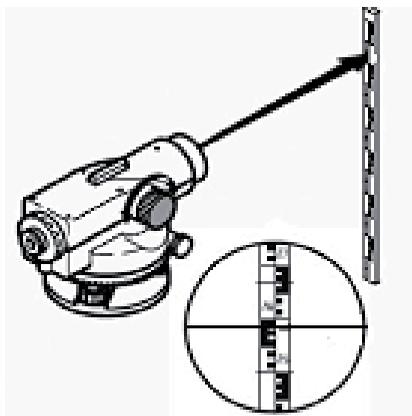


Рис. 3.21

4. Точное наведение на рейку выполняют с помощью наводящего винта. далее проверяют положение пузырька уровня, который должен оставаться в «нуль-пункте».

5. Отсчёты по рейкам выполняют в порядке зависимом от типа нивелирования.

При проложении хода технического нивелирования выполняют следующие измерения – снимаются отсчеты по черной и красной стороне соответствующих реек – задней *a* и *a'* и передней *b* и *b'*. Отсчеты записываются в журнал установленной формы (табл. 3.1).

Т а б л и ц а 3.1

Журнал нивелирования точек съемочного обоснования

№ станции	№ точек нивел.	Отсчеты по рейке		Промеж. черная	Вычисленные превышения, мм		Средн. превышения, мм		Исправл. превыш., мм		Горизонт инстр., м	Отметки, Н м
		Задн.	Перед.		+	-	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	пп 1	0073										82.642
		4759										
	+30.0			0696		1539		+3		1539	1536	82.009
	2		1612									81.106
		6298										
2	2	1255										81.106
		5939				776		+3			773	
	3		2031			777		776				80.333
		6716										
3	3	1415										80.333
		6097				476		+3			474	
	4		1891			478		477				79.859
		6575										
4	4	2936										79.859
		7619				2782		+3			2783	
	пп 1		0154			2778		2780				82.642
		4841										
Контрольные вычисления		30093	30118		$\Sigma 5560$	$\Sigma 5585$	$\Sigma 2780$	$\Sigma 2792$	$\Delta h_{\text{испр}} = 0,000$			$\Delta h = 0,000$
		$\Sigma(3) - \Sigma(4) = -25$			$[\Sigma(6) + \Sigma(7)]/2 = -12,5$		$f_b = \Sigma(8+9) = -12$					
		$\Sigma(3) - \Sigma(4) = -12,5$										

Порядок записи и обработки журнала технического нивелирования

1. В колонку 1 записывается номер станции нивелирования. Станция нивелирования это порядковый номер установки нивелира для выполнения измерений.

2. В колонку 2 записываются номера точек, высоты которых определяются. На эти точки устанавливаются рейки в соответствии с рис. 3.18.

На расстоянии 30 м от *nn 1* имеется характерная точка рельефа, высоту которой необходимо определить. Но данная точка не является точкой хода. Такая точка называется «плюсовой» и записывается в журнале как «+30», т.е. точка расположена в створе между точками хода *nn 1* и *2* на расстоянии 30 м от точки *nn 1*.

$$f_{h_{\text{аир}}} = 50 \text{ м} \cdot \sqrt{L} = \sqrt{0,282} = 26 \text{ м}.$$

3. В колонку 3 записываются отсчеты по черной и красной стороне задней рейки.

Например, для станции №1, в колонке 3, напротив точки хода *nn 1* (*nn* — пункт геодезической сети — *полигонометрии* — имеющий прямоугольные координаты *XУ* и высоту *H*) записаны два отсчета — 0073 — отсчет по черной стороне задней рейки, стоящей на *nn 1* и 4759 — отсчет по той же рейке по красной стороне.

для плюсовой точки берется отсчет по рейке *только по черной стороне* и записывается в строке, напротив соответствующей точки в колонке 5.

4. В колонку 4 записываются отсчеты по черной и красной стороне передней рейки. *Например*, для станции №1, в колонке 4, напротив точки хода *2* записаны два отсчета — 1612 — отсчет по черной стороне передней рейки, стоящей на *точке хода 2* и 6298 — отсчет по той же рейке по красной стороне.

5. В колонке 6 и 7 записывается вычисленное превышение на станции $h=a-b$; где *a* — соответствующий отсчет (по черной или красной стороне) по задней рейке, *b* — соответствующий отсчет по передней рейке. Превышения, в зависимости от знака, записываются в соответствующую колонку. Контролем правильности вычислений служит сходимость превышений вычисленных по черной и красной сторонам реек. Расхождения в превышениях не должны превышать ± 7 мм.

6. В колонку 8 и 9 записываются средние превышения.

По окончании работы на станции, прибор переносят на следующую станцию. Передняя рейка остается на месте, а задняя рейка переходит на следующую определяемую точку. (Например, задняя рейка стояла на *nn 1*, а передняя — на точке *2*. При переходе на станцию *2*, передняя рейка останется на месте, т.е. на точке *2*, а задняя встанет на точку хода *3* (см. рис. 3.18). Описанные действия в путях 1 — 6 повторяются. Так продолжается до тех пор, пока не будут выполнены наблюдения на последней станции.

Постраничный контроль журнала. Прежде чем вычислять высоты точек хода, необходимо выполнить контрольные вычисления в журнале измерений. Рассмотрим последнюю строку *табл. 3.1* «Контрольные вычисления».

1-2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Контроль- ные вы- числения	30093	30118		Σ5560	Σ5585	Σ2780	Σ-2792	Δ _{h_{испр}} = 0,000		Δ _h = 0,000
	Σ(3)-Σ(4)=-25			[Σ(6)+Σ(7)]/2=-12,5		f _h =Σ(8+9)=-12				
	Σ(3)-Σ(4)=-12,5									

Поскольку наш ход замкнутый (начался на **пп 1** и закончился на **пп 1**), то сумма теоретических превышений, полученных по ходу должна равняться нулю (колонка 12):

$$\Delta h = \Sigma h_{теор.} = H_{кон} - H_{нач} = 82,642 - 82,642 = 0,000,$$

где $\Sigma h_{теор.}$ — теоретическая сумма превышений по ходу; $h = a - b$; $H_{кон}$ — высота конечной точки хода; $H_{нач}$ — высота начальной точки хода.

Контрольные вычисления по измерениям: В колонке 3 записаны пары отсчетов по задней рейке.

Просуммируем все отсчеты по черной и красной сторонам реек. Находим $\Sigma(3) = 30093$.

В колонке 4 записаны пары отсчетов по передней рейке, просуммируем эти отсчеты: $\Sigma(4) = 30118$;

Разность суммы задних и передних отсчетов составит двойное превышение, полученное по ходу. (поскольку измерения выполнялись дважды, по черной и красным сторонам реек).

$$2h_{практик} = \Sigma(3) - \Sigma(4) = -25 \text{ мм.}$$

Разделив полученное число на 2, получим **практическое** превышение по ходу (**Практическим** называется потому, что данное превышение получено из практических измерений):

$$h_{практик} = -12,5 \text{ мм.}$$

Определим погрешность наших измерений — **невязку хода по вы-
соте**:

$$f_h = h_{практик} - \Sigma h_{теор.}$$

*Отсюда можно сделать вывод, что сумма превышений, полученных по замкнутому ходу равна погрешности измерений, или вы-
сотной невязке.*

Контроль по вычисленным превышениям: В колонках 6 и 7 делаем аналогичные вычисления, находим суммы превышений

$$\Sigma(6) = 5560; \quad \Sigma(7) = -5585;$$

и общую сумму превышений.

$$2h_{практик} = \Sigma(6) + \Sigma(7) = -25 \text{ мм.}$$

Сумма превышений составит двойное превышение, полученное по ходу, разделив его на два, получим **практическое** превышение по ходу. Эта величина не должна отличаться от вычисленной ранее более чем на ± 5 мм – контроль.

Контроль по вычисленным средним превышениям: Аналогично, $\Sigma(8) = 2780$; $\Sigma(9) = -27792$.

Суммируя средние превышения получаем **окончательное значение** для нашего хода

$$h_{\text{практ}} = \Sigma(8) + \Sigma(9) = f_h = -12 \text{ мм.}$$

Вычисление высот точек нивелирного хода. Прежде чем вычислять высоты точек хода, необходимо распределить полученную невязку $h_{\text{практ}}$ с противоположным знаком (!), прямо пропорционально числу измеренных превышений (другими словами – ввести поправки – V_i в превышения за высотную невязку хода).

$$V_i = \frac{f_h}{n} = \frac{12 \text{ мм}}{4} = +3 \text{ мм.}$$

В колонках 8 и 9 **табл. 3.1**, над значениями средних превышений выписывается поправка. Поправка суммируется с средним превышением (с учетом знака превышения). Исправленное превышение выписывается в соответствующую колонку 10 и 11, после чего выполняется суммирование исправленных превышений. Сумма исправленных превышений должна равняться теоретической сумме превышений по ходу.

$$\Sigma h_{\text{испр}} = \Sigma h_{\text{теор}} = 0;$$

После этого приступают к вычислению высот точек хода.

В колонке 13, напротив начальной точки хода выписывают ее высоту $H_{\text{нп1}} = 82,642$ (м).

К данной высоте добавляют исправленное превышение на переднюю точку хода на соответствующей станции.

Например, для станции №1:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	пп 1	0073				1539 1539		+3 1539	1536	82,715		82,642				
		4759														
	+30,0			0696												82,009
	2		1612												81,106	
			6298													

На станции №1 задней точкой является начальная точка $nn1$, с высотой $H_{nn1}=82,642$ (м). данная высота выписывается в колонке 13 как исходная.

На станции измерена «плюсовая точка» (+30), не входящая в ход нивелирования и передняя точка хода 2.

В колонке 12, для «плюсовых точек» вычисляется горизонт инструмента, с целью быстрого определения высот «плюсовых точек».

Горизонт инструмента вычисляется как $H_{г.и.} = H_{задняя} + (3)_{черная}$, где $H_{г.и.}$ — высота горизонта инструмента (*высота визирного луча над уровнем моря*); $H_{задняя}$ — высота задней точки; $(3)_{черная}$ — отсчет по черной стороне задней рейки.

Высота плюсовой точки вычисляется как

$$H_{+30} = H_{г.и.} - (5)_{+30}$$

где $(5)_{+30}$ — отсчет по рейке на плюсовую точку.

Высота точки хода 2 вычисляется как высота задней станции плюс исправленное превышение на переднюю точку. Так высота точки 2 вычисляется

$$H_2 = H_{nn1} + h_{испр 2} = 82,642\text{м} + (-1536\text{мм}) = 81,106\text{м}.$$

Полученная высота выписывается напротив задней точки (станции №2) и все действия повторяются.

Контролем вычисления высот является получение высоты последней точки хода. Исходная отметка и вычисленная должны быть равны.

3.4

Работы с теодолитом

Общие понятия о теодолитных работах

В процессе работы теодолитом, выполняется измерение горизонтальных и вертикальных углов и длин линий с целью определения координат и высот отдельных точек местности, или какого либо объекта.

Государственным стандартом угломерных приборов теодолиты разделяют на три типа:

а) *высокоточные теодолиты* — для измерения горизонтальных углов со средними квадратическими ошибками от $\pm 0,5''$ до $\pm 1,0''$;

б) *точные теодолиты* — для измерения горизонтальных углов со средними квадратическими ошибками от $\pm 2''$ до $\pm 10''$;

в) *технические теодолиты* — для измерения углов со средними квадратическими ошибками от $\pm 15''$ до $\pm 30''$.

Основные геометрические условия. Из принципа измерения горизонтального угла следует, что отдельные части теодолита должны удовлетворять ряду геометрических условий (рис. 3.22):

1) ось вращения инструмента ZZ_1 должна быть перпендикулярна

оси цилиндрического уровня UU_1 ;

2) центр лимба должен совпадать с осью вращения инструмента ZZ_1 ;

3) ось вращения зрительной трубы HH_1 должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента ZZ_1 ;

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

5) плоскость лимба должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента ZZ_1 ;

6) плоскость вертикального круга должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы HH_1 .

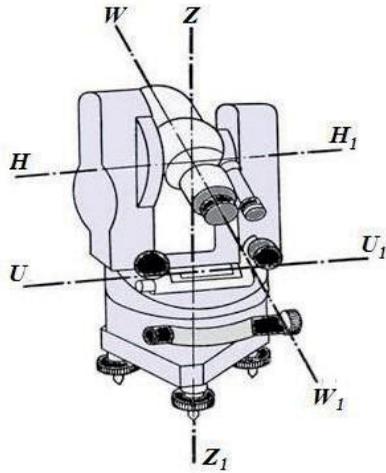


Рис. 3.22

Фирма-изготовитель гарантирует условия 2, 4, 5. Остальные условия проверяются в процессе эксплуатации инструмента.

Теодолит 4Т-30КП

Технические характеристики: Теодолит технический, предназначен для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при разбивке плановых и высотных съемочных сетей, для измерения расстояний с использованием нитяного дальномера зрительной трубы, а также для нивелирования горизонтальным лучом с помощью уровня при трубе. Температурный диапазон работы от минус 40° до плюс 50° С.

Увеличение	20 \times
СКО горизонтального угла	30"
СКО вертикального угла	30"
Изображение	прямое
Минимальное расстояние визирования	1,2 м
Рабочий диапазон компенсатора	$\pm 4'$
диаметр объектива	38 мм
Увеличение оптического центра	1,8 \times
Масса теодолита	2,3 кг

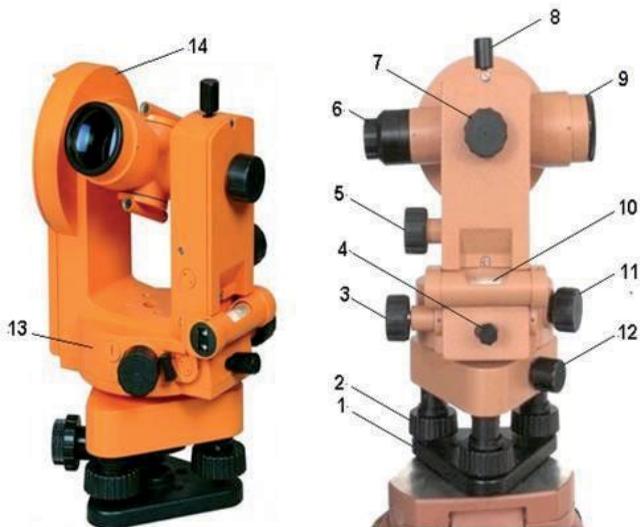
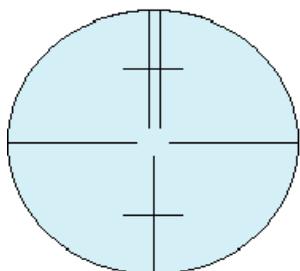


Рис. 3.23

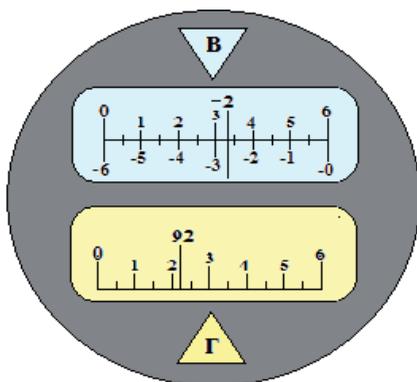
4Т-30КП — маркировка теодолита по ГОСТу, которая расшифровывается как: 4 — четвертая модификация, Т — теодолит, 30 — средняя квадратическая погрешность измерения угла из одного приема — $30''$, К — компенсатор вертикального круга, П — прямое изображение.

Основные части теодолита (рис. 3.23):

- 1 — подставка (трегер);
- 2 — подъемный винт;
- 3 — наводящий винт по горизонтальному кругу;
- 4 — закрепительный винт алидады горизонтального круга;
- 5 — наводящий винт по вертикальному кругу;
- 6 — окуляр;
- 7 — винт фокусировки зрительной трубы;
- 8 — закрепительный винт зрительной трубы;
- 9 — объектив;
- 10 — цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга;
- 11 — фрикционный винт установки отсчетов по горизонтальному кругу;
- 12 — закрепительный винт оси вращения прибора;
- 13 — алидада горизонтального круга;
- 14 — вертикальный круг.



Поле зрения трубы при круге лево



Поле зрения микроскопа

За окуляром (его на рисунке не видно) находится микроскоп для снятия отсчетов по кругам.

Поле зрения зрительной трубы имеет стандартный вид.

Отсчеты по шкаловому микроскопу:

горизонтальный круг: $92^{\circ}22,0'$; вертикальный круг: $-2^{\circ}27,0'$.

Важно !!!

Особенности работы с теодолитом: наводящие винты имеют конечный расход !!! если винт не крутится легким вращением, ни в коем случае **не применять физических усилий**. Нужно выкрутить винт на середину расходной части резьбы и повторить наведение прибора на визирную цель.

Измерение горизонтального угла

Измерения горизонтальных углов производят с целью определения координат точек земной поверхности, определения направлений при разбивочных работах, трассировке линейно-протяженных объектов и в ряде других работ.

Рассмотрим порядок измерения горизонтального угла ABC (рис. 3.24) теодолитом. Прежде всего производится установка инструмента на пункте B ; она состоит из двух частей — центрирования и нивелирования теодолита, что позволяет установить ось вращения инструмента отвесно над вершиной B измеряемого угла.

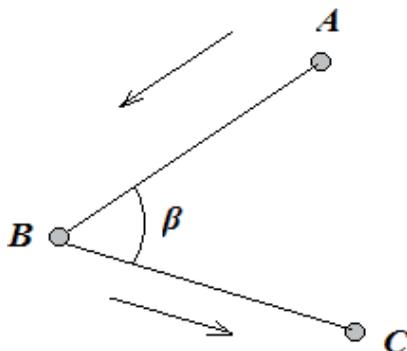


Рис. 3.24

Центрируют теодолит при помощи нитяного отвеса (*T30* и его модификации) или оптического отвеса (*T5*, *T2* и их модификации). Рассмотрим порядок центрирования теодолита при помощи нитяного отвеса.

Штатив устанавливают так, чтобы отвес приходился примерно над точкой *B*. После этого на штатив устанавливают теодолит и начинают последовательно утапливать ножки штатива в грунт таким образом, чтобы пузырек уровня находился недалеко от нуля-пункта — центра ампулы. Ослабив затем становой винт, передвигают теодолит на головке штатива, добиваясь чтобы отвес установился над вершиной *B* измеряемого угла, после чего снова закрепляют теодолит. далее подъемными винтами приводят пузырек уровня в нульпункт. Может случиться, что при этом несколько нарушится центрирование теодолита. Тогда перемещением теодолита на головке штатива подправляют центрировку, и, если нужно, снова нивелируют теодолит. Таким образом, после нескольких последовательных приближений теодолит оказывается установленным на станции.

Затем устанавливают зрительную трубу для наблюдений. для удобства визирования в точках *A* и *C* устанавливают вежи или марки (рис. 3.25).

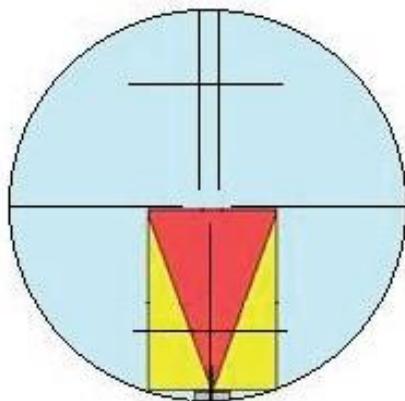


Рис. 3.25

Очередность наведения трубы на точки *A* и *C* зависит от того, какой угол надлежит измерить — левый или правый. При измерении левого угла β сначала визируют на заднюю точку *A*, затем — на переднюю точку *C*. При измерении правых углов, сначала визируют на переднюю точку — *C*, затем на заднюю — *A*. Пример записи в журнал результатов измерений и вычислений угла приведен в табл.3.2

для измерения левого по ходу угла выполняются следующие действия (*направление хода* указано стрелочками на рис. 3.24).

Т а б л и ц а 3.2

Теодолит 4Т-30КП (измерены левые углы)

Точка стояния	Название направления	Круг	Отсчет по лимбу, °	Значение угла из полуприема	Среднее значение угла
В	А	Кл(1)	0 00,5	113 52,5	113°52,8'
	С	Кл(2)	113 53,0		
	С	КП(3)	295 57,0	113 53,0	
	А	КП(4)	182 04,0		

1. Вращением трубы и алидады наводят трубу на визирную цель *A* **при круге лево КЛ**, то есть при наведении на цель вертикальный круг находится слева от наблюдателя. Приближенное наведение прибора выполняют глядя на визирную цель через коллиматор, поверх трубы. Когда визирная цель *A* появится в поле зрения, закрепляют винты алидады и трубы. При необходимости, выполняют фокусировку визирной цели. далее, микрометренными винтами алидады и трубы наводят на визирную цель *A* крест сетки нитей (рис. 3.25). Работа микрометренными винтами должна заканчиваться вращением их на ввинчивание, чтобы исключить люфт механических частей прибора. На шкаловом микрометре выставляют отсчет близкий к нулю. Убедившись, что крест сетки нитей правильно наведен на визирную цель, делают отсчеты по лимбу. (*В табл. 3.2 в скобках (колонка «круг») указана последовательность наведения зрительной трубы и снятия отсчетов*).

В журнал записывают.

1. Начальный отсчет на точку *A* – $0^{\circ} 00,5'$.

2. Затем открепляют алидаду и зрительную трубу и наводят прибор на точку *C*.

Выполнив точное наведение на визирную цель, снимают второй отсчет (2), который записывают в журнал – $113^{\circ} 53,0'$. Поле зрения микроскопа при наведении на точку *C* показано на рис. 3.26.

Эти два отсчета, выполненные при круге лево КЛ, составляют один (первый) полуприем.

Из первого полуприема вычисляют **значение измеренного угла** (см. табл. 3.2).

$$C(2) - A(1) = 113^{\circ} 53,0' - 0^{\circ} 00,5' = 113^{\circ} 52,5'$$

Значения угла из первого полуприема записывают в соответствующую графу.

3. Затем выполняют второй полуприем при круге право КП. для этого, открепляют алидаду горизонтального круга и зрительную трубу. Зрительную трубу разворачивают на 180° (переводят через зенит) и направляют в сторону визирной цели *C*. Как правило, при круге право, отсчет для контроля изменяется на

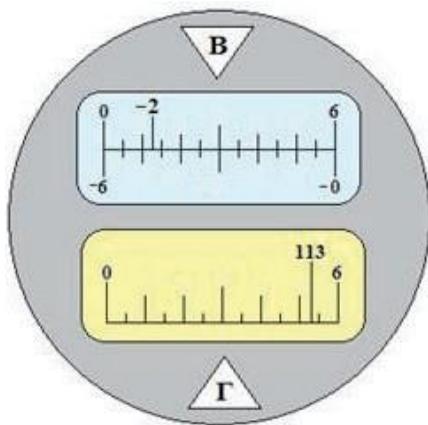


Рис. 3.26

1 - 2 градуса. Выполнив точное совмещение сетки нитей с визирной целью, снимают третий отсчет по горизонтальному кругу (3) – 295° 57,0', который записывают в журнал.

4. Затем открепляют алидаду и зрительную трубу и наводят прибор на точку А.

Выполнив точное наведение на визирную цель, снимают четвертый отсчет (4) , который записывают в журнал — 182° 04,0'.

Эти два отсчета, выполненные при круге право КП, составляют второй полуприем.

Из второго полуприема вычисляют значение измеренного угла (см. табл. 3.2)

$$C(3) - A(4) = 295^\circ 57,0' - 182^\circ 04,0' = 113^\circ 53,0'$$

Получив два значения одного и того же угла из двух полуприемов, проверяют качество измерений. Углы не должны различаться на величину, равную двойной предельной среднеквадратической погрешности (СКП) измерения угла для данного прибора, или

$$\Delta_{пред} \leq 2m_{\beta пред}$$

Т а б л и ц а 3.3

Теодолит 4Т30КП

Точка стояния	Название направления	Круг	Отсчет по вертикальному кругу	M0	Среднее значение угла
В 1,25	С 1,15	Кл ₍₁₎	-2° 47,5'	+0,5'	-2° 48,0'
		КП ₍₂₎	+2° 48,5'		

если условие выполняется, то из двух полуприемов вычисляют среднее значение измеренного угла, как наиболее надежное – в данном случае 113° 52,8', которое и принимают за окончательное значение.

Оба полуприема измерений составляют один прием.

Измерение правого по ходу угла состоит в том, что за начальное направление выбирают точку С, следующую по ходу точку.

Измерение вертикального угла

Измерение вертикальных углов производят с целью определения превышения отдельных точек земной поверхности или какого-либо объекта, определения широты и долготы точек земной поверхности и т.д.

При определении превышений измеряют высоту визирной цели. В нашем случае в качестве визирной цели используется марка, установленная на штативе. Высота визирной цели определяется от земли до верха марки.

Измерение вертикальных углов производится также двумя полупри-

емами, при круге лево – *КЛ* и круге право – *КП*.

Порядок измерений:

1) в журнале установленного образца (таблица 15) записывают точку стояния прибора (точку *B*) и высоту инструмента — 1,25 м;

2) в графе «название направления» записывают идентификатор направления — *C* и высоту визирной цели — 1,15 м;

3) затем при круге лево *Кл* наводят зрительную трубу на визирную цель. Горизонтальную нить сетки нитей наводят на высоту визирной цели (рис. 6.6) и снимают отсчет по шкале вертикального круга — ($-2^{\circ}47.5'$). Отсчет записывают в соответствующую позицию журнала;

4) зрительную трубу переводят через зенит и выполняют наведение на визирную цель при круге право. Снятый отсчет $+2^{\circ}48.5'$ записывают в журнал;

5) вычисляют *МО* (место нуля – начало отсчета главного диаметра вертикального круга, параллельного уровенной поверхности)

$$MO = \frac{\hat{E}\ddot{E} + \hat{E}\dot{I}}{2} = +0,5'$$

(формула вычисления *МО* для теодолита 4Т30КП);

б) вычисляют значение измеренного угла: $v = КП - МО = -2^{\circ} 47,5' - (+0,5') = -2^{\circ} 48,0'$.

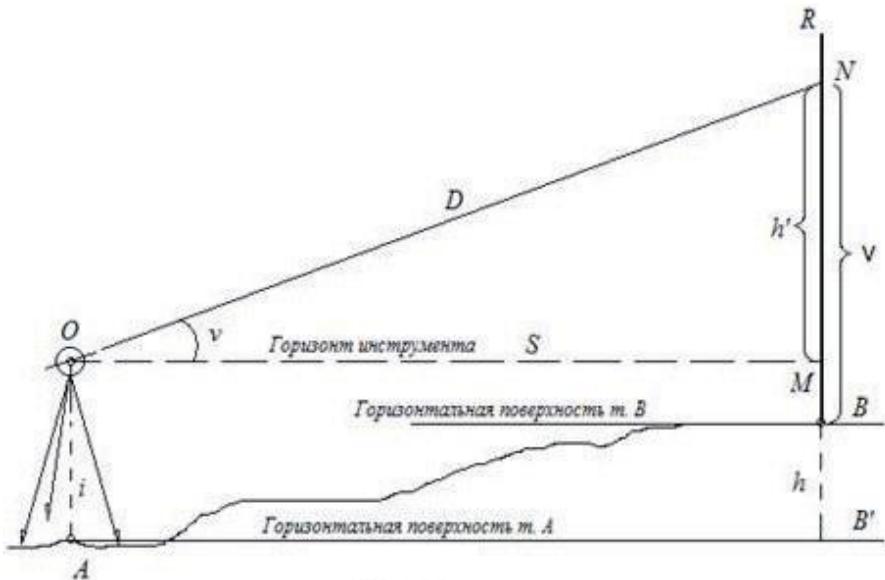


Рис. 3.27

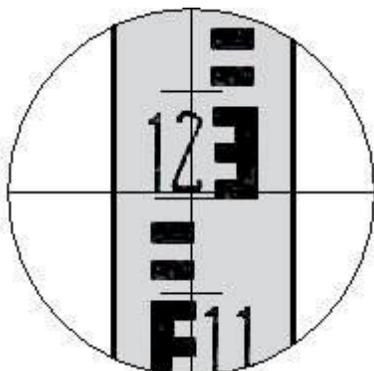


Рис. 3.28

Знак угла берется от круга лево.

Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование – метод определения превышений наклонным лучом визирования является основным видом определения высот в процессе топографических съемок, а так же используется для определения высотных отметок сетей сгущения и съемочного обоснования, развиваемых для инженерно геодезических изысканий

и топографических съемок.

Обратимся к рис. 3.27. Над точкой земной поверхности A установлен теодолит. Необходимо определить превышение $h=BB'$, точки B над точкой A .

для этого необходимо, в точке B установить рейку R и измерить расстояние D от прибора до рейки. Кроме этого, необходимо измерить вертикальный угол v , определить высоту визирования $v=BN$ (*отсчёт по средней нити в точке N*), а так же определить высоту инструмента $i=AO$ (*измеряется рулеткой от точки A до положения оси вращения зрительной трубы, обозначенного красной точкой на вертикальном круге корпуса теодолита*).

Высота визирования определяется в момент снятия отсчета по вертикальному кругу. для этого, по средней нити сетки снимают отсчет по рейке (на рис. 3.28 этот отсчет 1 м 202 мм). (если в точке B установлен отражатель для электронного тахеометра, то высота визирования изменится непосредственно рулеткой до центра отражателя).

Затем вычисляют горизонтальную проекцию S линии D – (горизонтальное проложение).

если D определялось по нитяному дальномеру то

$$S = D \cos^2 v.$$

если D определяли электронным тахеометром то

$$S = D \cos v.$$

Из треугольника ONM определим h'

$$h' = S \operatorname{tg} v.$$

Получили отрезок MN , а нас интересует превышение $h=BB'$.

Из рисунка следует, что к отрезку $MN=h'$ необходимо добавить отрезок $MB'=i$ — высоту инструмента — AO и вычесть отрезок $BN=v$ — высоту визирования. Таким образом, превышение точки B над точкой A вычислим по формуле

$$h = h' + i - v = S \operatorname{tg} v + i - v.$$

Полученная формула пригодна для вычисления превышений на расстояниях до 300 – 500 м.

если измеренные линии превышают данный предел, то в превышении необходимо вводить поправку за кривизну Земли и вертикальную рефракцию:

$$h = h' + i - v - f = S \operatorname{tg} v + i - v - f,$$

где f — поправка за кривизну Земли и вертикальную рефракцию $f = 0,42S^2/R$; S — измеренное расстояние; R — радиус Земли = 6371 км.

Понятие теодолитного хода

Последовательное измерение на местности углов и линий, с целью определения прямоугольных координат поворотных точек, называют *теодолитным ходом*.

Теодолитные хода бывают замкнутые и разомкнутые.

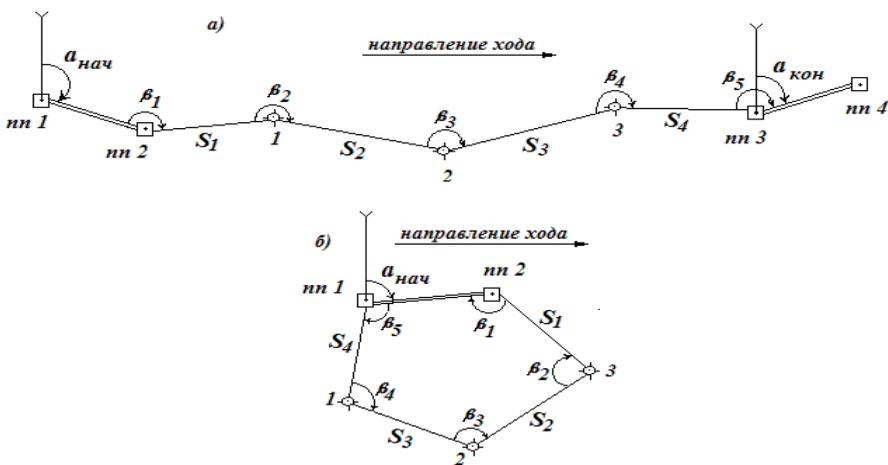


Рис. 3.29

На рис. 3.29, б) представлена схема замкнутого теодолитного хода. $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ — измеренные по ходу (правые, внутренние) горизонтальные

углы. В замкнутых ходах целесообразно измерять внутренние углы, так как сумма измеренных углов многоугольника априори известна и вычисляется по формуле

$$\sum \beta_{\text{внут}} = 180(n - 2),$$

что позволяет легко проконтролировать измеренные по ходу углы.

На рис. 3.29, а представлена схема разомкнутого теодолитного хода, где $nn1, nn2, nn3, nn4$ – пункты геодезической сети, имеющие координаты; $1, 2, 3$ – точки съемочной сети, координаты которых необходимо определить; $\alpha_{\text{нач}}$ и $\alpha_{\text{кон}}$ – начальный и конечный дирекционные углы, вычисленные из обратной геодезической задачи; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – измеренные по ходу (левые) горизонтальные углы; S_1, S_2, S_3, S_4 – горизонтальные проложения (ортогональные проекции) измеренных наклонных расстояний.

Теоретическая сумма измеренных углов разомкнутого теодолитного хода. Проконтролировать измерения углов в разомкнутом теодолитном ходе также возможно.

Предположим, что на местности проложили разомкнутый теодолитный ход, представленный на рис. 3.30.

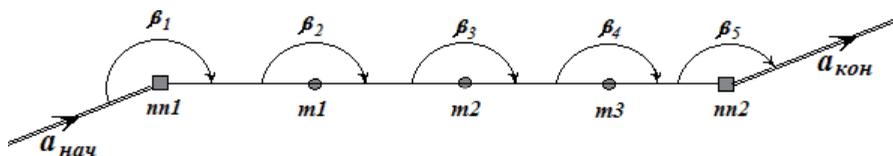


Рис. 3.30

Установим связь между дирекционным углом предыдущего $\alpha_{\text{нач}}$ и последующего направлений α_1 через измеренный угол β_1 , между данными направлениями (рис.3.31).

если измерен левый по ходу угол, как показано на рис. 3.31, то: если по ходу, в точке В измерен правый угол $\beta_{\text{пр}}$ (рис. 3.4.7- б), тогда α_{nn2-3} будет определяться формулой: $\alpha_{nn2-3} = \alpha_{nn1-nn2} \pm 180^\circ - \beta_{\text{пр}}$

Формула теоретической суммы измеренных углов разомкнутого вытянутого хода

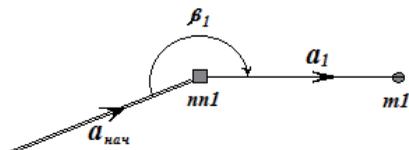


Рис. 3.31

$$\sum \beta_{\text{внут}} = \alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}} + 180^\circ \times n,$$

где n – число измеренных углов в ходу.

Обратимся к рис. 3.30.

И так, в процессе обследования участка работ выявлено, что в рай-

оне работ сохранилось 4 пункта Государственной геодезической сети (в дальнейшем - геосети) — $nn1, nn2, nn3, nn4$, которые можно использовать для определения координат поворотных точек теодолитного хода.

далее, закрепили на местности (колышками, арматурой и т.д.) точки теодолитного хода с таким расчетом, чтобы между смежными точками была прямая видимость. Кроме того, местоположение точки 1 выбрано таким образом, чтобы была прямая видимость на $nn2$ и точку 2, а с точки 3 имеется видимость на $nn3$ и точку 2.

для того, чтобы вычислить координаты определяемых точек съёмочного обоснования из прямой геодезической задачи, необходимо знать дирекционные углы направлений — $\alpha_{nn1-1} \alpha_{1-2} \alpha_{2-3} \alpha_{3-nn3}$, а также знать горизонтальные проложения S_1, S_2, S_3, S_4 измеренных расстояний D_1, D_2, D_3, D_4 .

Исходные дирекционные углы $\alpha_{нач}$ и $\alpha_{кон}$ вычисляются из обратной геодезической задачи, по координатам пунктов геодезической сети, **в направлении движения по ходу.**

для того, чтобы получить интересующие нас дирекционные углы ($\alpha_{nn1-1} \alpha_{1-2} \alpha_{2-3} \alpha_{3-nn3}$), необходимо выполнить измерения углов (левых или правых) по ходу $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ между соответствующими направлениями.

Углы β_1 и β_5 называются **примычными углами**. Измеренный угол β_1 используется для передачи дирекционного угла $\alpha_{нач}$ на сторону хода $nn1-1$. Так как данное измерение непосредственно примыкает к направлению $nn1 - nn2$ геосети, то данный угол и получил название «примычный», а само измерение этого угла называется «**привязкой**» к геосети. Угол β_5 также является примычным. Однако задача данного угла состоит в том, чтобы передать вычисленный дирекционный угол последнего направления $\alpha_{кон}$ на твердое направление $\alpha_{кон}$, образованное пунктами $nn3 - nn4$ геосети.

В этом случае можно проконтролировать качество угловых измерений.

Привязка к пунктам геосети, показанная на рис. 3.30 — самый простой вид привязки и она называется «**непосредственной**» привязкой. данный вид привязки требует наличия пары смежных пунктов геосети в начале и в конце хода. Как показывает практика полевых работ, данный вид привязки встречается крайне редко. В случае отсутствия смежных пунктов геосети используют особые способы привязки.

Все измерения, выполненные в теодолитном ходу, записываются в полевой журнал установленного образца. Пример вычислений в журнале измерений теодолитного хода рассмотрен в задании №1.

3.5 Современные геодезические приборы

В настоящее время для проведения различных геодезических работ используются современные цифровые и электронные приборы: электронные тахеометры, цифровые нивелиры, лазерные рулетки и другие



Leica

приборы. Так же, надо отметить широкое развитие применения для целей архитектуры и реставрации спутниковых приемников и систем лазерного сканирования.

Современные электронные тахеометры и нивелиры внешне похожи на своих оптических предшественников, но имеют ряд устройств позволяющих автоматизировать процесс измерений и повысить их точность. Современное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс выполнения работ в целом, до получения конечного результата.

Электронные тахеометры

Электронным тахеометром называется прибор, объединяющий в себе возможности светодальномера, электронного теодолита и имеющий микропроцессор. дальномер прибора измеряет расстояние до отражателя. датчики горизонтального и вертикального кругов электронного теодолита фиксируют

отсчеты по кругам. Значения измеренных расстояний и углов передаются на индикацию и регистрацию. Микропроцессор обеспечивает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего прибор снабжен набором необходимых прикладных программ. Например программы: съёмка, разбивка, определение координат свободной станции и другие, позволяют организовать работу согласно принятой методике и получать сразу необходимые результаты. Полученная в результате измерений и вычислений информация высвечивается на дисплее, а также регистрируется во внутренней памяти прибора и может быть передана для дальнейшей обработки в компьютер.

Электронный тахеометр имеет панель управления на которой расположены дисплей и клавиатура для управления процессом измерений и ввода информации вручную. Ввод информации и управление возможны и с дистанционного пульта управления (контроллера). Тахеометр

может иметь световой указатель створа, облегчающий установку вехи с отражателем на линию, по которой направлена труба прибора и другие возможности автоматизации геодезических работ.

Например, на рис. 3.31, показаны основные части электронного тахеометра Pentax.

Программное обеспечение тахеометров позволяет разделять полученную информацию по проектами, использовать разные режимы работ и решать различные вычислительные и прикладные задачи в полевых условиях. Например, проводить вычисления координат и высот точек местности при топографической съёмке местности, при разбивочных работах, переносе на местность высот и координат проектных точек и т.д. Полученные данные хранятся в памяти тахеометра и могут быть переданы на компьютер.

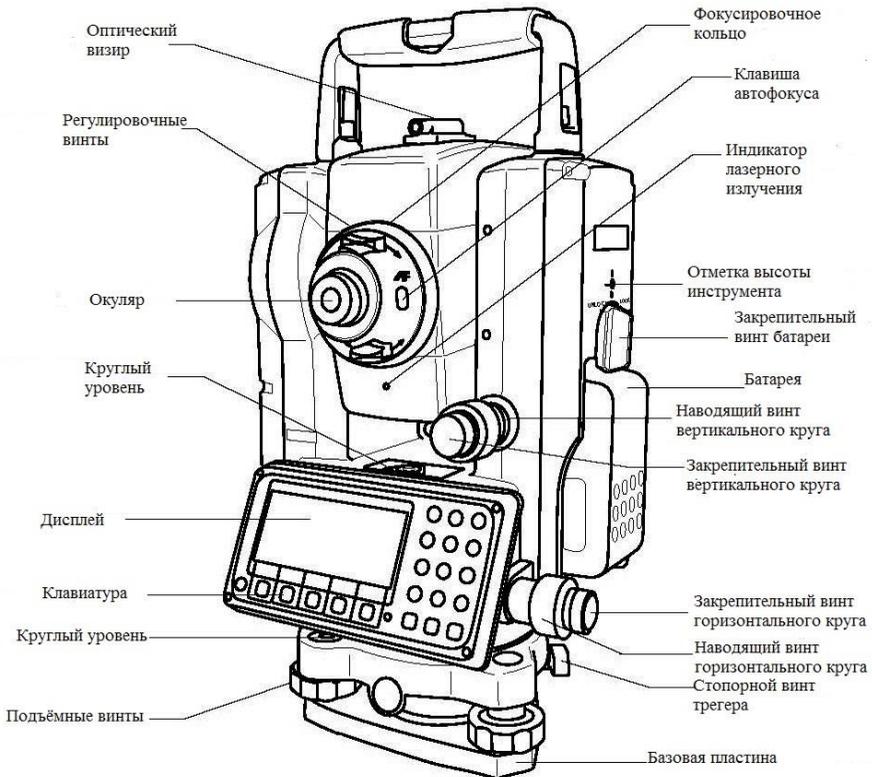


Рис. 3.31

В электронных тахеометрах используются те же принципы измерения расстояний, что и в светодальномерах. Измерения проводят на отражатели установленные на вехе, на светоотражательные пленки или в безотражательном режиме на выбранные поверхности. Точность измерения зависит от технических возможностей модели тахеометра, а также от внешних параметров: температуры, давления, влажности и т.п. диапазон измерения расстояний зависит также от режима работы тахеометра: на отражатель или безотражательный. дальность измерений в безотражательном режиме напрямую зависит от отражающих свойств поверхности, на которую производится измерение. Например, расстояние измеренное на светлую гладкую поверхность (штукатурка и пр.) в несколько раз превышает расстояние, измеренное на темную поверхность. Однако необходимо с осторожностью относиться к результатам измерений в безотражательном режиме, проводимым сквозь ветки, листья и другие преграды, поскольку неизвестно, от какого объекта отразится луч, и, до какого объекта будет измерено расстояние.

Электронные тахеометры широко применяются для различных геодезических работ, особенно на строительных площадках. Геодезические приборы безотражательного вида незаменимы в тех случаях, когда необходимо получить данные о недоступных высотах и дальностях, например: о высоте провиса проводов линий электропередач или размерах деталей фасадов высоких зданий.

Перед началом работы с любым электронным тахеометром необходимо пройти инструктаж по технике безопасности, изучить технические характеристики прибора и инструкцию по эксплуатации.

Тахеометр Pentax, Япония R-325N (безотражательный) имеет: систему автоматической фокусировки (3-х скоростная, в зависимости от расстояния);

лазерный центрир;

лазерный указатель (видимый лазер);

увеличение 30х;

двухосевой жидкостный компенсатор диапазон работы компенсаторов – 3;

измерение на одну призму до 4000 м дальность измерения на один отражатель– 3000 м;

точность измерения расстояний $m_s = \pm 3\text{мм} + 2\text{ppm}$ Точность измерения расстояния на отражатель – $2+3\text{ppm}$;

СКО измерения угла одним приёмом $m\beta = 5''$;

минимальное время отсчета 0,4 с;

измерение в безотражательном режиме до 70м, для безотражатель-

ного дальнего режима 150 м. Точность измерения расстояния в безотражательном режиме, мм – $5+3\text{ppm}$ дальность измерения расстояния без отражателя – 200 м;

рабочая температура от -20 до +50°C;

масса 5,5 кг Вес – 5,7 кг;

батарейки Ni-Mg до 12 ч работы Продолжительность работы с одним аккумулятором – 6 ч;

внутренняя память 20 000 записей 7500 измерений.

Техника безопасности при работе с электронными тахеометрами.

Необходимо применять приборы только для измерения горизонтальных и вертикальных углов, измерения расстояний, записи результатов, использования прикладных программ.

Запрещенные действия:

работа с тахеометром без проведения инструктажа исполнителей по технике безопасности;

работа вне установленных для прибора пределов допустимого применения;

отключение систем обеспечения безопасности;

снятие этикеток с информацией о возможной опасности;

открытие корпуса прибора, например, с помощью отвертки, за исключением случаев специально оговоренных в инструкциях для проведения конкретных операций;

использование незаконно приобретенного аппарата;

работа с тахеометром, имеющим явные повреждения или дефекты;

визирование непосредственно на солнце;

неадекватное обеспечение безопасности на месте проведения работ (например, при измерениях на стройплощадках, дорогах и т.п.);

умышленное наведение прибора на людей;

операции по мониторингу машин и других движущихся объектов без должного обеспечения безопасности на месте работ.

Предупреждение.

Запрещенные действия способны привести к травмам и материальному ущербу. В обязанности лица, отвечающего за тахеометр, входит информирование пользователей о возможных рисках и мерах по их недопущению. Приступать к работе разрешается только после прохождения пользователем надлежащего инструктажа по технике безопасности.

Из-за риска получить электрошок очень опасно использовать вешки с отражателем и удлинители этих вех вблизи электросетей и силовых установок, таких как, например, провода высокого напряжения или электрифицированные железные дороги.

Всегда добивайтесь того, чтобы место проведения работ было безопасным для их выполнения. Придерживайтесь местных норм техники безопасности, направленных на снижение травматизма и обеспечения безопасности дорожного движения.

Используйте зарядное устройство, подходящее для вашей батареи. В случае если на прибор или батарею попадет вода, то немедленно вытрите ее и просушите прибор.

Меры предосторожности при использовании лазерного дальномера.

Необходимо принять должные меры для того, чтобы лазерный луч не попадал на поверхности с высокой отражающей способностью (зеркальные и металлические поверхности, окна и т.п.). Особое внимание следует обращать на плоские и вогнутые зеркальные поверхности.

Старайтесь не смотреть в направлении лазерного луча вблизи призмы или сильно отражающих поверхностей, когда дальномер включен в режиме лазерного визира или выполняет измерения. Наведение на отражатель нужно выполнять только с помощью зрительной трубы.

Следует принять все меры для того, чтобы луч лазера не попадал в глаза людей напрямую или через оптику других приборов.

длина лазерного луча должна ограничиваться его рабочим диапазоном и в любом случае пределом небезопасного расстояния для области, в которой присутствие и работа людей контролируется в целях их защиты от лазерного излучения.

лазерный луч должен по возможности проходить значительно выше, либо ниже уровня глаз.

В настоящее время имеется широкий выбор электронных тахеометров, выпускаемых разными фирмами, в числе которых Уральский оптико-механический завод (Россия), Sokkia (Япония), Trimble (США), Leica (Швейцария) и др. Характеристики приборов разных марок различаются. Средние квадратические погрешности измерения углов тахеометров лежат в пределах от 1 до 6". Максимальные дальности измерения расстояний на однопризменный отражатель различаются от 1 600 до 5 000 м. При этом, точность измерений в среднем характеризуется ошибкой $2 \text{ мм} + 2''10\text{-}6 D$, где D — расстояние. дальность измерений без отражателя меняется в разных приборах в пределах 70 – 350 м.

Использование электронных тахеометров значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку результатов измерений, исключает такие ошибки исполнителя, которые имеют место при визуальном взятии отсчетов, при записи результатов измерений в журналы, в вычислениях.

Спутниковые приемники

Спутниковые методы измерений, используют данные о созвездии спутников систем ГЛОНАСС, GPS и других для обеспечения пользователя точными координатами. для использования спутниковых сигналов необходимо чтобы в поле зрения антенны приемника находилось, по крайней мере, 4 спутника. В настоящее время геодезические спутниковые приёмники широко используются для определения координат пунктов геодезической сети о которой будет рассказано далее. На городских территориях спутниковые сигналы могут блокироваться высокими зданиями, деревьями и т. д. Следовательно, такой метод измерений нельзя использовать в закрытом помещении и проблематично использовать в центре города или лесистой местности, что накладывает существенные ограничения на его применение для целей архитектуры и реставрации. Из-за этих ограничений эффективней использовать для выполнения работ электронный тахеометр или комбинировать спутниковые и обычные измерения.

Например, геодезическая система Smart Station (рис. 3.32) представляет собой комбинацию электронного тахеометра Leica TPS1200 и геодезического двухчастотного приемника GPS, созданного с использованием новейших технологий отслеживания GPS-сигналов (Smart Track) и выполнения съемки в режиме реального времени (Smart Check). Точность определения местоположения такой системой со-



Рис. 3.32

ставляет 10 мм + 1 ppm в плане и 20 мм + 1 ppm по высоте при удалении от базовой станции до 25 км, по информации компании Leica.

Лазерное сканирование

Создание лазерного сканера является новым научно-техническим достижением. Этот прибор имеет ряд свойств, позволяющих использовать его в различных областях, в том числе при решении проблем сохранения культурно-исторического наследия. Лазерное сканирование позволяет быстро получить полный комплект обмерных чертежей, включая трёхмерную модель любого здания, сооружения, а также модель местности.

Управление работой прибора осуществляется при помощи портативного компьютера с набором программ.

Движущийся лазерный луч сканирует объект. Результатом работы сканера является множество точек с вычисленными трёхмерными координатами – «облако точек» или сканы.

Для каждой точки объекта фиксируется интенсивность отраженного сигнала, которая может быть использована для визуализации объекта в так называемых псевдоцветах.

Так же в сканере имеется цифровая камера. С помощью этой камеры получают серию изображений, покрывающих весь объект в пределах зоны сканирования. При последующей обработке используется не только облако точек лазерного сканирования, но и цифровые изображения объекта, что существенно повышает информативность полученных данных об объекте.

Лазерный сканер позволяет выполнять съемку с расстояниями до объекта от 1–2 м до 350–800 м, в зависимости от модели и типа сканера. Угол поля зрения может составить вертикальный –40 – 70°, горизонтальный –40 – 360°. Длины линий измеряются с точностью 3–15 мм на расстоянии порядка 50 м. Скорость выполнения измерений – от 2 000 до 625 000 точек в секунду.



Leica HD3000

Например, при съемке четырех фасадов здания требуется как правило четыре установки прибора. для совместной обработки данных сканирования необходимо, чтобы в зоне видимости соседних станций было минимум 4 смежных координированных марки. На мониторе компьютера уже в процессе сканирования может быть создана трехмерная модель в 3-х видах: с градацией по расстоянию, по коэффициенту отражения и в реальном цвете. Все полученные данные трансформируются для получения единой цифровой модели.

для до съемки «скрытых зон» целесообразно применять безотражательный тахеометр.

Полученную трехмерную модель можно визуализировать в естественных или псевдоцветах под различными углами зрения. По модели проводится векторизация элементов объекта, определение размеров, площадей, объемов и другие измерения.

В настоящее время лазерные сканирующие системы активно используются в электронных тахеометрах.

лазерное сканирование может выполняться с борта самолета, вертолета, а также с использованием беспилотных летающих аппаратов – БПЛА.

для съемки протяженных объектов, таких как улицы городов, тоннели, железнодорожные объекты и другие, используются подвижные сканерные системы. Подвижная сканерная система состоит из одного или нескольких сканеров, GPS – приемника и инерциальной геодезической системы INS. Все эти элементы жестко закреплены на платформе, которая устанавливается на носитель (автомобиль, железно дорожную платформу и др.).

В последнее время процесс лазерного сканирования совершенствуется как в области создания нового оборудования, так и путем разработки более рациональных программных систем обработки материалов.

Преимущества технологии наземного лазерного сканирования по отношению к другим способам получения пространственной информации заключаются в высокой степени автоматизации работ, высокой скорости проведения полевых работ, возможности определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях, выполнении трёхмерной визуализации в режиме реального времени. При съёмке труднодоступных и опасных зон обеспечивается безопасность исполнителя. Работы можно выполнять при любых условиях освещения, даже ночью, так как сканеры являются активными съёмочными системами. Это неразрушающий (бесконтактный) метод получения информации позволяющий выполнять измерения с высокой точностью.

ГЛАВА 4. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ И СЕТИ СГУЩЕНИЯ

4.1. Назначение и виды государственной геодезической сети

Государственная геодезическая сеть (ГГС) является основой для решения различных задач имеющих научное, оборонное и хозяйственное значение. ГГС позволяет производить геодезические, картографические и другие виды работ на территории всего государства в единой системе координат и высот с необходимой точностью и подробностью.

Началом больших геодезических работ следует считать 1816 г., когда по приказу квартирмейстерской части приступили к развитию триангуляции в Виленской губернии под руководством генерала К. И. Теннера для обоснования съемки масштаба 1 : 21 000. В том же году начал астрономо-геодезические работы В. Я. Струве по поручению лифляндского экономического общества для составления подробной карты лифляндии. Несколько позднее были начаты триангуляционные работы под руководством генерала Шуберта. для производства топографо-геодезических работ в 1822 г. был учрежден Корпус военных топографов (КВТ), который до 1917 г. был почти единственной организацией, занимавшейся развитием триангуляционных сетей и выполнявшей топографические съемки. С 1919 года организация всех топографо-геодезических работ, исполнительные, контрольные, разрешительные и надзорные функции были возложены на Высшее геодезическое управление. Впоследствии оно было преобразовано в Главное управление геодезии и картографии. С марта 2009 г. эти функции передали Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии.

Государственные геодезические сети подразделяются на плановые (пункты имеют только координаты X и Y), высотные (определены только высоты H), гравиметрические и сети специального назначения.

Государственная геодезическая сеть относится к федеральной собственности и находится под охраной государства. (Федеральный закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»).

Государственная геодезическая сеть – это совокупность геодезических пунктов с определёнными координатами, расположенных равномерно по всей территории страны и закрепленных на местности специальными знаками (центрами), пример показан на рис. 4.1. Такие знаки обеспечивают их сохранность и устойчивость в плане и по высоте.

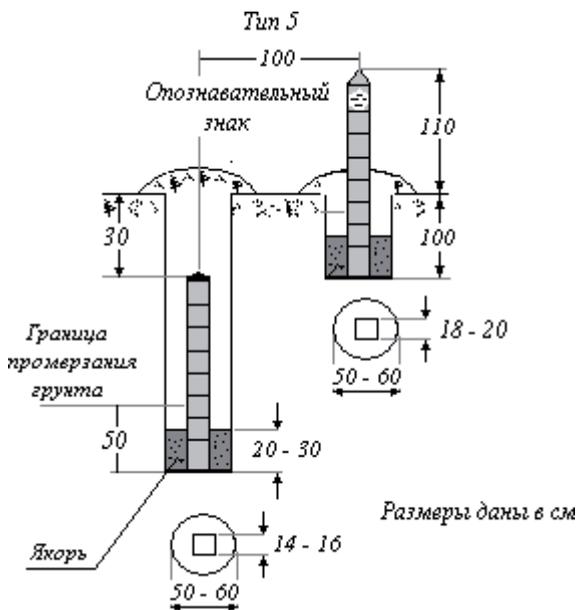


Рис. 4.1

Плановые и высотные геодезические сети делится на четыре класса в зависимости от точности. Классы плановых сетей принято обозначать арабскими цифрами, классы высотной нивелирной сети – римскими. Построение геодезических сетей осуществляется по принципу от общего к частному; от сетей с наивысшей точностью геодезических измерений первого класса к последующим классам. Из этого же принципа следует разделение геодезических сетей на государственные геодезические сети, сети сгущения и съемочные сети.

Государственная геодезическая сеть по состоянию на 1995 г., объединяла в единое целое результаты различных геодезических построений: астрономо-геодезические пункты космической геодезической сети (АГП КГС);

- доплеровскую геодезическую сеть (дГС);
- астрономо-геодезическую сеть (АГС) I и II классов;
- геодезические сети сгущения (ГСС) III и IV классов.

Пункты указанных построений совмещены или имеют между собой надежные геодезические связи.

Координаты пунктов **космической геодезической сети** определены по доплеровским, фотографическим, дальномерным, радиотехническим и лазерным наблюдениям искусственных спутников Земли космического

геодезического комплекса.

Из всего состава глобальной космической геодезической сети в ГГС по состоянию на 1995 г. включены данные о 26 стационарных астрономо-геодезических пунктах, расположенных в границах АГС.

Доплеровская геодезическая сеть представлена 131 пунктом, взаимное положение и координаты которых определены по доплеровским наблюдениям ИСЗ системы Транзит.

Астрономо-геодезическая сеть состоит из 164306 пунктов и включает в себя ряды триангуляции I класса, сети триангуляции и полигонометрии I и II классов.

Триангуляция – это метод построения геодезической сети в виде звеньев (цепочек) смежных треугольников, связанных между собой общими сторонами (рис. 4.2).

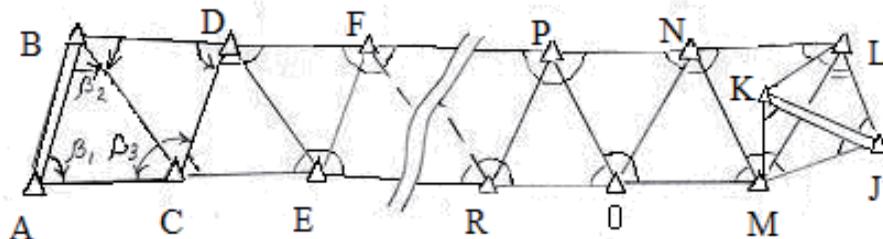


Рис. 4.2

Вершины треугольников (пункты триангуляции) закрепляются на местности специальными знаками. для удобства наблюдений над центрами пунктов государственных плановых сетей устанавливают наружные знаки различных конструкций (рис. 4.2,а). Сложные конструкции позволяют поднять визирную марку и геодезический прибор на высоту (до 50 м) и произвести измерения на находящиеся в пределах прямой видимости соседние знаки.



Рис. 4.2

произвести измерения на находящиеся в пределах прямой видимости соседние знаки.

Во всех треугольниках с помощью высокоточных теодолитов измеряются горизонтальные углы. Измеряются длины исходных сторон (базисов) в цепочке треугольников. Положение начального пункта триангуляции и азимут исходной стороны получают из астрономических наблюдений.

Полигонометрия — это метод построения на местности системы ломаных линий, в которой измерены все длины линий s (рис. 4.3) и горизонтальные углы b между линиями. Часть линии от пункта с известными координатами (начального пункта) до другого пункта с известными координатами называют ходом, горизонтальный угол между линиями — углом поворота. Вершины полигонометрических ходов называют пунктами полигонометрии.

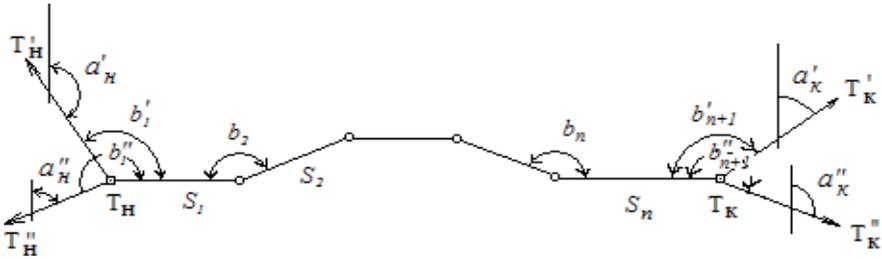


Рис. 4.3

Система проложенных на местности, связанных между собой полигонометрических ходов образует полигонометрическую сеть. В сети имеются узловые пункты (пункты, в которых сходится не менее трех ходов), замкнутые и разомкнутые полигоны. Метод полигонометрии широко применяется при развитии геодезических сетей на закрытых (застроенных или залесённых) территориях.

Трилатерация — метод построения геодезической сети в виде смежных треугольников, в которых измерены длины всех сторон.

Перечисленные методы создания астрономо-геодезических сетей взаимозаменяемы, поскольку обеспечивают одинаковую точность определения координат. Целесообразность применения того или иного метода определяется в зависимости от условий местности и экономических соображений.

Геодезическая сеть I класса строится в виде звеньев триангуляции (или полигонометрии) длиной не более 200—250 км, расположенных по возможности вдоль меридианов и параллелей и образующих сомкнутые полигоны периметром 800—1000 км. Протяжённость звена треугольников не более 200 км. Треугольники должны быть близки к равносторонним, углы в треугольниках не должны быть менее 40° . Длина сторон треугольников 20—25 км. Измерения в сети I класса производятся инструментами и методами, обеспечивающими наивысшую точность. Так же в сети имеются пункты, на которых проведено астрономо-гравиметрическое нивелирование по особой программе.

Сеть 2 класса строится в виде сплошной сети триангуляции (или полигонометрии) внутри полигонов I класса. Стороны треугольников в сети II класса могут иметь длину от 7 до 20 км.

Геодезические сети сгущения III и IV классов. Строятся при помощи вставки пунктов или группы пунктов (систем) III и IV классов, опирающихся на пункты I и II классов. Длины сторон в системах триангуляции III класса 5—8 км, IV класса 2—5 км.

Геодезические сети сгущения включают в себя около 300 тыс. пунктов.

Плотность пунктов ГГС I, II, III и IV классов, как правило, составляет не менее одного пункта на 50 км^2 . Общая схема государственной плановой геодезической сети I, II, III и IV классов показана на рис. 4.4.

На пунктах геодезических сетей I, II, III и IV классов, дополнительно определено по два ориентирных пункта с подземными центрами.

Нормальные высоты верхних марок подземных центров пунктов ГГС определены в Балтийской системе высот 1977 г., началом которой является нуль Кронштадтского футштока.

4.2. Государственная высотная геодезическая сеть

Государственные высотные геодезические сети создаются путём проложения на местности нивелирных ходов I, II, III и IV классов точности. Нивелирная сеть I и II классов является главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории страны. Нормальные высоты пунктов определяются методом геометрического нивелирования. Нивелирные сети III и IV классов являются сетями сгущения, и служат для обеспечения высотной основы топографических съёмок и решения различных инженерных задач.

Нивелирная сеть состоит из нивелирных ходов. Пункты нивелирования всех классов закрепляются на местности марками и реперами устанавливаемыми в среднем через каждые 5—7 км хода.

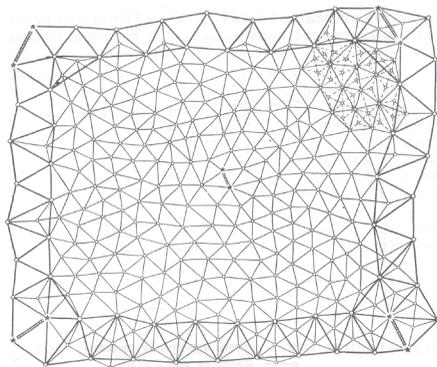


Рис. 4.4

Нивелирные ходы I класса прокладывают в основном по направлениям, связывающим уровни всех морей и океанов, омывающих нашу страну. линии нивелирования I и II классов проходят преимущественно вдоль шоссе или железных дорог, по берегам рек, озёр и морей. Нивелирование I класса выполняется с наивысшей точностью. Современные инструменты

и методы нивелирования I класса позволяют передавать высоты со средней квадратической погрешностью $\pm 0,5$ мм на 1 км хода.

Нивелирные ходы II класса начинаются и заканчиваются на пунктах нивелирования I класса. Они образуют замкнутые полигоны периметром 500—600 км. Нивелирные сети III класса прокладываются внутри полигонов нивелирования II класса в виде систем ходов, разделяющих полигон II класса на 6—9 частей с периметром 150—200 км каждый. Нивелирование IV класса служит для сгущения нивелирной сети III класса. Нивелирные ходы IV класса должны примыкать к пунктам нивелирования старших классов.

При проектировании нивелирных ходов III и IV классов их располагают так, чтобы были определены высоты всех пунктов триангуляции (полигонометрии и трилатерации) I, II, III и IV классов.

4.3. Основные принципы современного развития и совершенствования государственной геодезической сети

В 2000 г. для всей территории России была введена единая государственная система геодезических координат 1995 г. (СК-95), имеющая более высокую точность координат, полученных в результате совместного уравнивания КГС, дГС, АГС по их состоянию на период 1991—1993 гг.

Между СК-95 и единой государственной геоцентрической системой координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) установлена связь, определяемая параметрами взаимного перехода. Направления координатных осей XYZ, используемой геоцентрической системы координат определены координатами пунктов КГС; начало координат этой системы установлено под условием совмещения с центром масс Земли. Координатные оси системы координат 1995 г. установлены параллельно осям геоцентрической системы координат. Положение начала СК-95 задано таким образом, что значения координат пункта ГГС Пулково в системах СК-95 и СК-42 совпадают.

В настоящее время для реализации перспективных задач в различных областях жизни страны, требуется создание геодезической сети на качественно новом, более высоком, уровне точности. Такая сеть создается на основе методов космической геодезии с использованием глобальных навигационных спутниковых систем ГлОНАСС и GPS. Названия Американской и Российской спутниковых радионавигационных систем GPS (NAVSTAR) и ГлОНАСС расшифровываются следующим образом:

GPS – Global Positioning System – Глобальная система позиционирования;

ГлОНАСС – Глобальная Навигационная Спутниковая Система.

другое название системы GPS — NAVSTAR, акроним от Navigation Satellite Timing and Ranging, то есть Определение времени и расстояний по навигационным спутникам.

Структура государственной геодезической сети, создаваемая на основе положений утверждённых приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от 17 июня 2003 г., включает в себя геодезические построения различных классов точности:

фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС);
высокоточную геодезическую сеть (ВГС);
спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1).

В указанную систему построений входят также существующие сети триангуляции и полигонометрии 1–4 классов.

В настоящее время ГГС включает в себя также пункты с постоянно действующими наземными станциями спутникового автономного определения координат с целью обеспечения возможностей определения координат потребителями в режиме, близком к реальному времени.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС), состоит из постоянно действующих и периодически определяемых пунктов, формирующих единую геодезическую сеть на территории Российской Федерации. Расстояние между смежными пунктами ФАГС – 650–1000 км. Пространственное положение пунктов ФАГС определяется методами космической геодезии в геоцентрической системе координат.

Высокоточная геодезическую сеть (ВГС), предназначена для дальнейшего распространения на всю территорию России геоцентрической системы координат. Она так же используется для уточнения параметров взаимного ориентирования геоцентрической системы и системы геодезических координат.

ВГС состоит из системы пунктов, удаленных один от другого на 150–300 км. Пункты ВГС определяются относительными методами космической геодезии.

для связи с главной высотной основой пункты ВГС привязываются к реперам нивелирной сети I–II классов или совмещаются с реперами соответствующих линий нивелирования.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1) создаётся в экономически развитых районах со средними расстояниями между смежными пунктами около 25-35 км. СГС-1 создается относительными методами космической геодезии. СГС-1 может строиться отдельными фрагментами с включением ближайших пунктов ВГС и ФАГС.

Средняя квадратическая погрешность определения положения пунктов СГС-1 относительно ближайших пунктов ВГС и ФАГС составляет 2–3 см.

Нормальные высоты определяются на всех пунктах СГС-1, либо из геометрического нивелирования с точностью, соответствующей требованиям к нивелирным сетям II-III классов, либо из спутникового нивелирования. Часть пунктов СГС-1 совмещена или связана точными измерениями с существующими пунктами АГС (примерно через каждые 100 км) и реперами нивелирной сети не ниже III класса.

В районах с сейсмической активностью требования к точности и периодичности наблюдений на пунктах повышаются.

4.4. Геодезические сети сгущения и съёмочные сети

При выполнении съёмок масштабов 1:1000 и 1:500, проведении изысканий, проектировании и строительстве инженерных сооружений или других объектов народного хозяйства, требуется развитие геодезических сетей. для увеличения плотности пунктов с известными координатами и высотами создаются геодезические сети сгущения и съёмочные сети.

Согласно Основным положениям по созданию топографических планов масштабов 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 и 1: 500 общая плотность пунктов геодезической сети должна быть доведена на застроенной территории до 4 пунктов на 1 км², на незастроенной — до 1 пункта на 1 км².

если плановые сети развиваются методом полигонометрии, то ходы технического нивелирования совмещают с ходами полигонометрии. В сети технического нивелирования включаются все пункты полигонометрии.

для производства сплошной съёмки местности на основе пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения создают *съёмочную сеть*.

Густота пунктов съёмочной сети зависит от характера местности, масштаба и способа топографической съёмки, высоты сечения рельефа и ряда других факторов.

Плановое положение точек съёмочного обоснования определяется путём проложения теодолитных и тахеометрических ходов, построением сетей треугольников и засечками (глава 8). Высоты точек съёмочного обоснования определяются с помощью геометрического и тригонометрического нивелирования.

Получаемые предельные погрешности положения пунктов планового съёмочного обоснования, относительно пунктов государственной геодезической сети не должны превышать на открытой местности и на застроенной территории 0,2мм в масштабе карты или плана и 0,3мм – на местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью. Высоты пунктов съёмочной сети определяются со средней квадратической погрешностью не превышающей 0,1 от высоты сечения рельефа.

При выполнении некоторых видов работ возникает необходимость

создания *специальных геодезических сетей повышенной точности*. Так при возведении промышленных сооружений точность разбивочных работ по выносу проекта в натуру определяется Строительными нормами и правилами (СНИП), что требует разработки особого проекта производства геодезических работ и создания специальной геодезической сети.

В настоящее время для развития съёмочного геодезического обоснования успешно применяются спутниковые технологии. Они не имеют существенных ограничений, поскольку их точность удовлетворяет требованиям, предъявляемым нормативными документами, а при выборе местоположения пунктов съёмочной сети почти всегда легко обеспечить возможность беспрепятственного проведения спутниковых наблюдений.

При создании съёмочного обоснования, а также при съёмке ситуации и рельефа с применением спутниковой технологии геодезические сети сгущения, как правило, вновь не создают, а используют имеющиеся государственные геодезические сети.

На территории населённых пунктов и промышленных площадок все точки съёмочного обоснования закрепляют знаками долговременного закрепления и временными знаками, с расчётом на их сохранность на время проведения работ.

4.5. Особенности построения городской геодезической сети

Городские геодезические сети строятся в соответствии с общепринятыми принципами построения геодезических сетей. Отличие состоит в допустимых длинах ходов и в частоте закрепления пунктов городской геодезической сети. Геодезические сети городов отличаются большей плотностью и равномерно располагаются по территории города.

Схемы построения городских геодезических сетей, классы и виды сетей зависят от очертания городской территории, от величины площади городской территории, наличия промышленных объектов.

Точность городской геодезической сети должна обеспечивать:

- выполнение топографической съёмки масштаба 1:500;
- перенесение проектов планировки и застройки городов в натуру;
- разбивку трасс подземных инженерных сетей (водопровод, газопровод, канализация, электросеть и др.);
- выполнение съёмки специального назначения;
- наблюдение за деформациями промышленных объектов и уникальных сооружений;
- мониторинг объектов строительства.

Расположение в черте городов требует повышенной устойчивости и доступности привязки к пунктам геодезической сети, в особенности к нивелирным реперам и маркам. Отметки грунтовых реперов могут из-

меняться из-за колебания уровня грунтовых вод, транспортных нагрузок, производства земляных работ и под воздействием других факторов. для наблюдения за устойчивостью нивелирных знаков в крупных городах создана сеть глубинных реперов.

При закреплении пунктов городской геодезической сети предпочтение отдают стенным реперам и маркам, закладываемым в прочные каменные или железобетонные здания, не имеющие трещин в стенах и видимых нарушений фундамента. Не рекомендуется использовать для закладки стенных знаков здания и сооружения, расположенные ближе 50 м от путей железной дороги. Стенные реперы располагают вблизи перекрёстков улиц и в серединах кварталов. Стенные реперы должны находиться на высоте 30 – 60 см от поверхности земли так, чтобы выступы стен не мешали установке реек. Здание, в котором заложен стенной репер, фотографируют. Фотографируют сам репер с номером (рис. 4.5, 4.6).

Геодезические сети городов, населенных пунктов, крупных промышленных и гидротехнических объектов связаны с государственной геодезической сетью.

На территорию нашей страны составляются и издаются каталоги пунктов ГГС, в основной раздел которых помещаются плоские прямоугольные координаты этих пунктов.

Наряду с плановыми координатами в банках данных ГГС помещаются нормальные высоты пунктов и высоты квазигеоида.

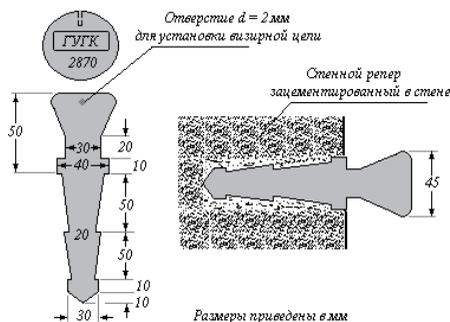


Рис.4.5. Стенной репер



Рис.4.5. Стенной репер

ГЛАВА 5. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

5.1. Виды топографических съемок

Топографические съемки предназначены для решения задач картографирования земной поверхности, с целью создания топографических карт и планов различных масштабов. Съёмку производят с закрепленных на местности точек (съёмочное обоснование), планово-высотное положение которых определено заранее.

Различают следующие основные методы производства топографических съемок:

- геодезический;
- стереофотограмметрический;
- лазерное сканирование.

Геодезический метод предполагает, что съёмка рельефа и ситуации земной поверхности выполняется непосредственно в поле, на местности, полевыми бригадами, с помощью геодезических инструментов (теодолитов, тахеометров, нивелиров, GPS-приемников.). Как правило, геодезический метод используется для составления планов крупных масштабов небольших участков земной поверхности (до 100 – 150 км²). Такими участками могут быть населенные пункты, города, площадки под строительство инженерных объектов и т.д.

Стереофотограмметрический метод предназначен для картографирования значительных территорий земной поверхности. Топографические карты составляются по трансформированным аэрофотоснимкам, показан на рис. 5.1 или космическим снимкам местности.

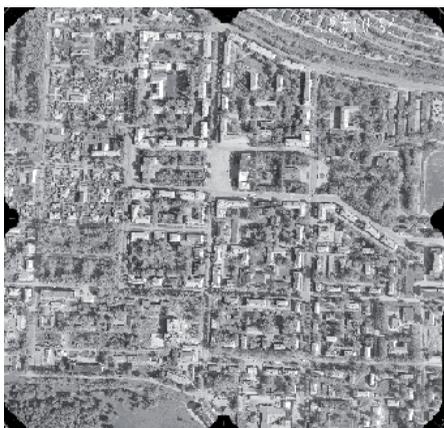


Рис. 5.1

По фотоснимку возможно не только определить форму отображенных элементов земной поверхности, но и выполнить измерения, позволяющие определить размеры и взаимное положение предметов.

По составу работ данный метод состоит из следующих этапов:

- 1) выполнение проекта работ для заданной территории;
- 2) выполнение аэрофотосъемки (визуальная фиксация местности);
- 3) полевые геодезические работы с целью создания разреженной съёмочной сети. Основная

цель данных работ – определение координат и высот отдельных точек, четко опознаваемых на аэрофотоснимках. данный этап работ называется «привязка опознаков».

4) камеральное сгущение съёмочной сети до необходимой плотности. данный процесс называется фототриангуляцией.

5) составление топографических карт и планов по стереоснимкам.

Стереофотограмметрический метод – основной метод картографирования обширных территорий земной поверхности. Он изучается в отдельной дисциплине – фотограмметрии.

Лазерное сканирование местности с летательных аппаратов отличается от стереофотограмметрического метода тем, что в результате фиксации подстилающей поверхности Земли получают не изображение, а облако точек отраженной земной поверхности. Каждая точка определена в виде координат, дальности, импульсом отклика отраженного сигнала, и многими другими параметрами. Обработка такой информации ведется в специализированных пакетах программ.

далее, будем рассматривать только геодезические методы производства топографических съёмок.

Топографические съёмки делятся на плановые, высотные (вертикальные) и планово-высотные.

Плановые съёмки

В процессе плановой съёмки выполняется определение плоских координат (ХУ) контурной части местности. Контурные точки объекта определяются с таким расчетом, чтобы поточечное соединение данных точек на плане не приводило к искажению объекта, а давало его подобное отображение в заданном масштабе. Плановая съёмка производится для составления ситуационных планов различного назначения. Типичным представителем такого плана является карта любого навигатора, отображающая окружающее состояние участка местности.

Различают следующие основные способы плановой съёмки:

способ перпендикуляров;

способ створов;

способ линейных и угловых засечек;

теодолитная съёмка.

Способ перпендикуляров. данный способ достаточно прост, требует минимального набора инструментов. В качестве инструментов используется рулетка, блокнот и карандаш.

Производство съёмки начинается с определения точек съёмочного обоснования.

На рис. 5.2 такими точками являются $m1$ и $m2$. Эти точки образуют

(ленты). для контроля при съемке важных контуров (углы кварталов, опорные здания) делается третья линейная засечка.

Способ угловых засечек применяется там, где нельзя непосредственно измерить расстояние. Положение точки определяется по двум углам, измеренным в точках теодолитного хода или в точках, расположенных на его сторонах. Величина угла при определяемой точке должна быть в пределах от 30 до 150°.

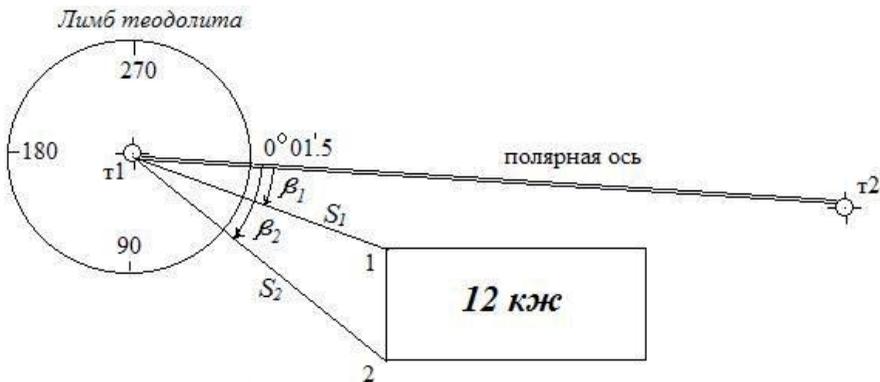
Способ обхода или обмера применяется при съемке участков площадной формы, например при обмере габаритов зданий. Измерения выполняются выше цокольной линии фасада, при этом определяются размеры всех архитектурных выступов, арок, проемов и др.

Контроль съемки ситуации выполняется выборочно путем повторной съемки одной и той же точки другим способом. При составлении планов заводских и городских территорий с капитальной застройкой данные измерений, приведенные в абрисе, обрабатываются на компьютере для получения координат углов капитальных зданий, главных точек сооружений и др.

Теодолитная съемка. Полярный способ

Принцип теодолитной съемки состоит в следующем. Предположим, что необходимо выполнить съемку вновь построенного здания показано на рисунке 5.3, вокруг которого имеется опорная сеть сгущения, развитая для его строительства – точки **т1** и **т2**. Перед началом работы составляется подробный абрис объекта съемки.

Теодолит устанавливается на точку съемочного обоснования **т1**, которая принимается за «полюс» съемки. Теодолит ориентируется на точку **т2**, на лимбе выставляется отсчет близкий к нулю (в нашем случае – 0°01,5′). **Линия ориентирования т1-т2 называется полярной осью.** Теодолит наводят на точку объекта – **1** и снимают отсчет β_1 , который



называется «*полярный угол*». Затем определяют расстояние до точки $1 - S_1$, которое называют *полярным расстоянием*. Положение пикета (снимаемые точки) фиксируется на абрисе. Затем определяют β_2, S_2 и т.д. При необходимости, теодолит переносят на следующую точку съёмочного обоснования, задается новая полярная ось, ориентируется лимб теодолита и съёмка продолжается.

для того, чтобы отобразить результаты съёмки в виде плана, необходимо на листе ватмана вычертить координатную сетку в заданном масштабе. Наложить на нее по координатам точки $t1$ и $t2$, которые образуют полярную ось съёмки. С помощью транспортира отложить от данной оси полярный угол β_1 и полярное расстояние S_1 , в масштабе создаваемого плана. Получим положение точки 1 и т.д. Согласно абрису съёмки, точки соединяются в контура объектов.

Высотная съёмка.

В процессе высотной съёмки определяются абсолютные отметки точек земной поверхности- высоты (Н), с целью дальнейшего отображения рельефа на плане в виде горизонталей. Количество пикетов (пикет – определяемая точка) зависит от характера рельефа.

Вертикальную съёмку обычно производят для сечений рельефа от 0,25 м и менее, *геометрическим нивелированием*. (Как правило, такие работы выполняют для взлетно-посадочных полос современных аэродромов, планировки скверов и парков и т.д.).

Суть способа заключается в следующем:

Предположим, что имеется взлетная полоса (рис. 5.4) на которой необходимо выполнить вертикальную съёмку. для этого определяется на местности базисная линия, Концы которой закрепляются на местности – точки $nn1$ и $nn2$. Определяются координаты точек $nn1$ и $nn2$. Вдоль базисной линии производится разбивка участка на квадраты, сторона которого не должна превышать 2 см в масштабе создаваемого плана. Вершины квадратов маркируются на местности. Составляется абрис съёмки, на котором нумеруются все вершины квадратов. если вблизи участка работ имеется репер с известной отметкой ($Rp5$), то на него ставят рейку (она служит задней рейкой) и по ней снимается отсчет — $a_{зад}$.

если репер отсутствует, то прокладывается нивелирный ход соответствующего класса точности, из которого определяется высота исходной точки ($Rp5$).

Затем рейка устанавливается в вершину первого квадрата и снимается отсчет — a_1 . Затем рейка переносится в следующую вершину квадрата и т.д. Превышения вычисляются стандартно $h_i = a_{зад} - a_i$.

Затем вычисляют абсолютные отметки вершин квадрата $H_i = H_{Rp5} + h_i$



Рис. 5.4

Или вычисляется высота горизонта инструмента $H_{\text{ГИ}} = H_{Rp5} + i$

Высота определяемой точки H_i равна: $H_i = H_{\text{ГИ}} - a_i$

для отображения результатов съемки строится координатная сетка, точки *nn1* и *nn2* накладываются по координатам, строится сетка квадратов, в вершинах квадратов подписываются высоты и производится интерполирование горизонталей. данный процесс называют “нивелированием по квадратам”.

Помимо узлов сетки квадратов нивелированию подлежат все характерные точки рельефа и точки характерных линий рельефа, которые привязываются промерами к сторонам сетки квадратов.

Планово-высотная (тахеометрическая) съемка

В процессе планово-высотной съемки, с точек съемочного обоснования, определяются плоские координаты (XY) пикета и его абсолютная отметка над уровнем моря – высота (H) одновременно.

В данном виде съемки, контурная часть объекта определяется, как и в теодолитной съемке, полярным способом. Отличие состоит в том, что кроме полярного угла и расстояния, на пикеты измеряют вертикальные углы, с помощью которых определяют превышение пикета относительно точки съемочного обоснования, над которой установлен теодолит – «***тригонометрическое нивелирование***». Такой способ съёмки называется – ***тахеометрическая съемка***.

Назначение тахеометрической съемки – получение подробного рельефного плана участка местности в крупном масштабе. Как правило, на основе такого плана выполняется предварительное, а в некоторых случаях и окончательное проектирование объекта строительства.

до недавнего времени, основным методом тахеометрической съемки является маршрутный метод, или метод съемки полосы. При этом, примерно посредине полосы съемки прокладывается опорный тахеометрический ход (иногда называют «магистральный ход»). Относительно опорного хода производится съемка контуров и рельефа местности, с применением полярного способа съемки (для оптических тахеометров и теодолитов) или в режиме реальных, или свободных координат (для электронных тахеометров). Значительные по площади участки местности снимали с помощью мензулы и кипрегеля. Такой метод съемки назывался «мензульной съемкой». С появлением электронных тахеометров и развитием программных средств обработки информации, мензульный способ стал применяться значительно реже, и, в итоге, был вытеснен электронной тахеометрией.

Съемка ситуации местности (набор пикетов) ведется упрощенным способом. Углы измеряются при одном круге. Пикеты, имеющие особо важное значение, как правило, определяются с контролем – с двух станций.

Правильное расположение пикетов, в частности это касается съемки рельефа, имеет важное значение. Пикетов должно быть столько, чтобы они вполне охарактеризовали рельеф снятой местности с заданной точностью.

Пикеты должны быть расположены по всем характерным линиям рельефа снимаемой местности: по тальвегам, водоразделам, на всех вершинах холмов, на дне впадин, по бровкам оврагов и подошвам холмов, террас и т.д. Одновременно пикеты должны дать возможность изобразить существенные контуры местности: русла рек, дороги, границу леса, ...

Пикеты на местности ничем не отмечаются.

Очень важным вопросом является степень густоты пикетов. Густота пикетов зависит прежде всего от характера рельефа. Сложный, сильно расчлененный рельеф требует достаточно большого количества пикетов. Спокойный рельеф – значительно меньшего количества.

Однако при всей сложности рельефа необходимо учитывать масштаб создаваемого плана. Очень трудно будет разобраться, если пикеты будут «сидеть» на плане чаще, чем через 5 мм друг от друга. Оптимальной густотой пикетов на плане считается: 1 пикет на 1–2см² плана

Результаты съемки фиксируются в журнале тахеометрической съемки (в случае оптических приборов) или во внутренней памяти электронного тахеометра.

Кроме этого, в процессе съемки, при необходимости, делаются различные промеры. Например: измеряются ширина дороги, ручья, насыпи или вала, высоты некоторых предметов над землей и т.д.

Все это вносится в соответствующий журнал (абрисный журнал) с соответствующими словесными пояснениями.

ГЛАВА 6. ОБМЕРНЫЕ РАБОТЫ

6.1. Определение недоступного расстояния

Предположим, что по каким либо причинам, мы не можем измерить расстояние до интересующего нас объекта. В данном случае на местности разбивается базис B_1 (рис. 6.1) концы которого закрепляются кольшками, арматурой и т.д. (точки 1 и 2). Базис разбивают таким образом, чтобы угол засечки 132 был не менее $25\text{--}30^\circ$. С помощью какого либо мерного прибора (рулетки, мерной ленты и др.) измеряется длина базиса.

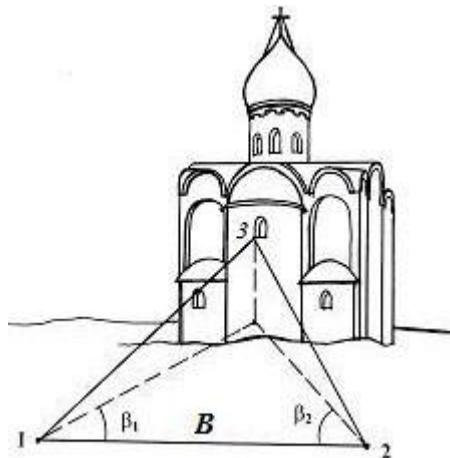


Рис. 6.1

В точке 1 устанавливают теодолит и центрируют его с необходимой точностью. На объекте выбирается интересующая нас

точка, до которой необходимо определить расстояние и измеряется угол β_1 . Чтобы измерить внутренний угол треугольника 312 (β_1), за начальное направление необходимо принять точку 3.

Затем теодолит устанавливают в точке 2 и измеряют угол β_2 . В этом случае, за начальное направление принимают точку 1. для вычисления длины сторон треугольника используют теорему синусов.

Составим уравнение для вычисления стороны S_{1-3}

$$\frac{S_{1-3}}{\sin \beta_2} = \frac{B}{\sin(180 - \beta_1 - \beta_2)},$$

отсюда

$$S_{1-3} = \frac{B \sin(\beta_2)}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}.$$

В результате вычислений получим горизонтальное положение линии 1–3.

Составив уравнение, для вычисления стороны S_{2-3} , получим вторую формулу:

$$S_{2-3} = \frac{B \sin(\beta_1)}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}$$

Определение горизонтального размера детали объекта

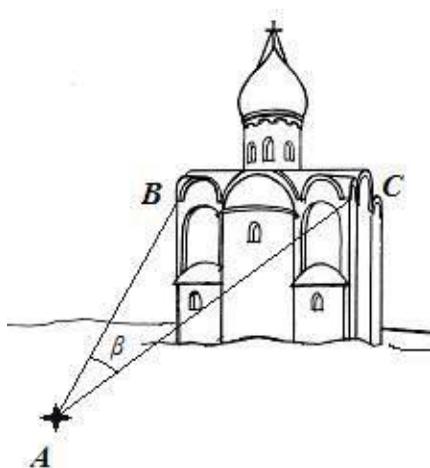


Рис. 6.2

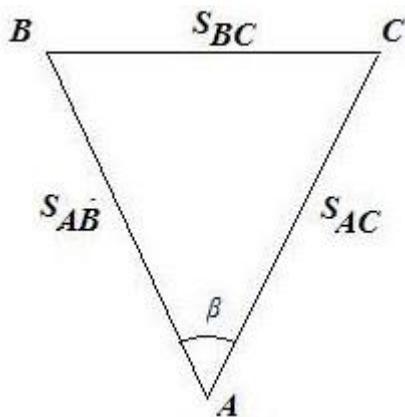


Рис. 6.3

Предположим, что необходимо выполнить горизонтальный промер объекта, но измерить его непосредственно, мешают внешние факторы.

В точке A (рис. 6.2) устанавливают теодолит и центрируют его с необходимой точностью. Определяют расстояния S_{AB} и S_{AC} . Расстояния определяют непосредственно (рулеткой или еще чем либо) или косвенно. Измеряется угол β . На рис. 6.3 показана ортогональная проекция выполненных измерений. Для вычисления стороны S_{BC} воспользуемся теоремой косинусов.

$$S_{BC} = \sqrt{S_{AB}^2 + S_{AC}^2 - 2S_{AB} S_{AC} \cos(\beta)}.$$

Промеры выполняются с контролем, не менее 2 раз.

6.2. Определение вертикального размера детали фасада (интерьера) здания с помощью теодолита

Высоты точек при обмерах измеряются относительно обозначенной на фасадах и интерьерах нулевой линии. При этом возможны два варианта:

- 1) расстояние от инструмента до точки можно измерить;
- 2) расстояние от инструмента до точки непосредственно измерить нельзя.

Вариант 1. В удобном месте, перед объектом устанавливается теодолит (рис. 6.4). От центра оси вращения зрительной трубы, мерной лентой, рулеткой или дальномером измеряется расстояние $OB = S$ до объекта. Выполняется измерение вертикальных углов ν_1 и ν_2 на выбранные точки (на рис. 7.4 — точки A и C). При этом угол ν_1 , будет положительный, т.к. точка A находится выше горизонта инструмента (OB), а угол

v_2 — отрицательный.

На рис. 7.4 видно, что высота объекта будет равна сумме двух превышений h_1 и h_2 .

Определим данные превышения.

Рассмотрим треугольник OAB . $h_1 = S \operatorname{tg} v_1$. Из треугольника OBC получим $h_2 = S \operatorname{tg} v_2$. В данном случае превышение будет отрицательным, так как угол v_2 отрицательный.

Общую высоту объекта найдем из соотношения

$$H_{AC} = S \operatorname{tg} v_1 - S \operatorname{tg} v_2 = S(\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2)$$

Высота объекта определяется дважды, с контролем. В этом случае теодолит переносится в другую точку.

Вариант 2.

Смотри раздел 6.1 «Определение неприступного расстояния». С концов базиса измеряются вертикальные углы. Высота объекта определяется с контролем.

6.3. Определение координат точек объекта способом прямой однократной засечки

Предположим, что требуется определить прямоугольные координаты XU креста церкви — точка O .

Возможны два варианта определения координат:

- 1) в заданной, общегосударственной системе координат;
- 2) в условной системе координат.

Вариант 1

Предположим, что точки A и B являются пунктами ГГС и между этими точками есть прямая видимость. В данном случае, с точек A и B на точку O измеряются горизонтальные углы γ_1 и γ_2 . O' — ортогональная проекция на плоскость точки O (рис. 6.5).

Используя обратную геодези-

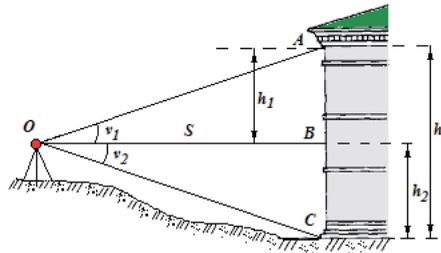


Рис. 6.4

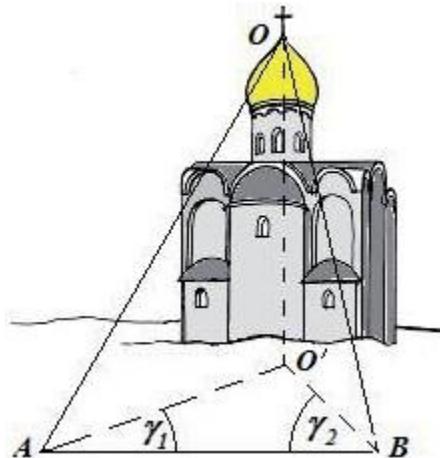


Рис. 6.5

ческую задачу, через известные координаты точек $A-(X_A Y_A)$ и $B-(X_B Y_B)$, вычислим дирекционный угол α_{AB} стороны AB , вычислим дирекционный угол направления AO . По определению дирекционного угла: $\alpha_{AO} = \alpha_{AB} - \gamma_I$ (для данного чертежа).

Вычислим дирекционный угол направления BO $\alpha_{BO} = \alpha_{AB} - 180^\circ + \gamma_I$ (для данного чертежа), составим координатные уравнения дирекционных углов α_{AO} и α_{BO} и решим их совместно:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{AO} &= \frac{Y_O - Y_A}{X_O - X_A} \\ \operatorname{tg} \alpha_{BO} &= \frac{Y_O - Y_B}{X_O - X_B} \end{aligned}$$

Преобразуем данные уравнения к следующему виду:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{AO} (X_O - X_A) &= Y_O - Y_A \\ \operatorname{tg} \alpha_{BO} (X_O - X_B) &= Y_O - Y_B \end{aligned}$$

Вычтем из первого уравнения второе и раскроем скобки:

$$X_O \operatorname{tg} \alpha_{AO} - X_A \operatorname{tg} \alpha_{AO} - X_O \operatorname{tg} \alpha_{BO} + X_B \operatorname{tg} \alpha_{BO} = X_B - X_A$$

Решая данное уравнение относительно неизвестного X_O , окончательно получим:

$$X_O = \frac{X_B - X_A + X_A \operatorname{tg} \alpha_{AO} - X_O \operatorname{tg} \alpha_{BO}}{\operatorname{tg} \alpha_{AO} - \operatorname{tg} \alpha_{BO}}.$$

Получили формулу для вычисления координаты X_O объекта.

Подставив вычисленное значение X_O в одно из уравнений (1) получим Y_O дважды:

$$Y_O = \operatorname{tg} \alpha_{AO} (X_O - X_A) + Y_A$$

$$Y_O = \operatorname{tg} \alpha_{BO} (X_O - X_B) + Y_B$$

Вариант 2

При использовании условной системы прямоугольных координат на местности выбирают ровное место и разбивают базис AB с таким расчетом, чтобы угол засечки был $25^\circ \leq ACB \leq 60^\circ$ (рис. 6.6). Точка C , в данном случае, интересующий нас объект, координаты которого необходимо определить.

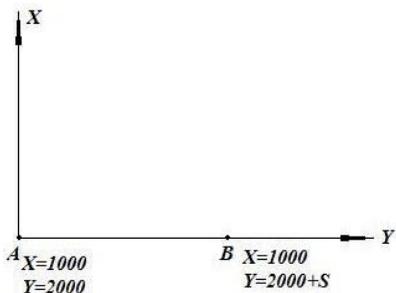


Рис. 6.6

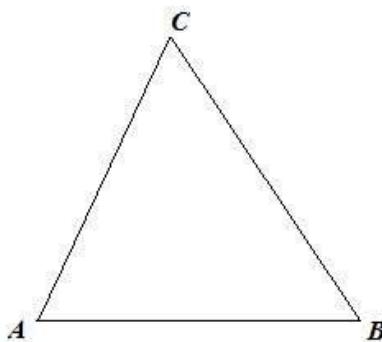


Рис. 6.7

Измерим длину базиса $AB = S$.

Точке A зададим произвольные координаты, например: $X_A = 1000$ м, $Y_A = 2000$ м. Тогда координаты точки B определим следующим образом: совместим условную ось ординат с базисом AB (рис. 6.7). X_B и X_A будут равны, а $Y_B = Y_A + S$.

дальнейшие измерения такие же, как в **варианте 1**.

если координаты объекта необходимо определить с нескольких базисов, то следует проложить опорный замкнутый теодолитный ход вокруг объекта. Точки теодолитного хода с вычисленными координатами будут служить базисными точками.

ГЛАВА 7. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА УЧАСТКА МЕСТНОСТИ В МАСШТАБЕ 1:500 ПОД ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛОГО ДОМА. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1. Обработка теодолитного журнала измерений углов и линий

При составлении топографического плана участка местности под проектирование жилого дома, необходимо выполнить работы по развитию съемочного обоснования : (*съемочное обоснование* – точки должным образом закреплённые в границах объекта и сохраняемые во время проведения работ, с известными координатами и высотами, с которых будет выполнена топографическая съемка участка местности для последующего составления топографического плана в заданном масштабе).

для этого необходимо:

1. Произвести детальное обследование участка работ.
2. В процессе обследования, запроектировать точки съемочного обоснования и закрепить их на местности колышками или арматурой. При этом, между соседними точками (например, точки 1, 2, 3, 4, см. схему хода) должна быть прямая видимость.

3. Составить схему хода.

4. Выполнить измерения горизонтальных ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$), вертикальных ($\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_4$) углов и линий (S_1, S_2, S_3, S_4) с помощью теодолита или тахеометра (S_1 – это горизонтальное проложение измеренной линии между точкой 1 и 2 и т.д.).

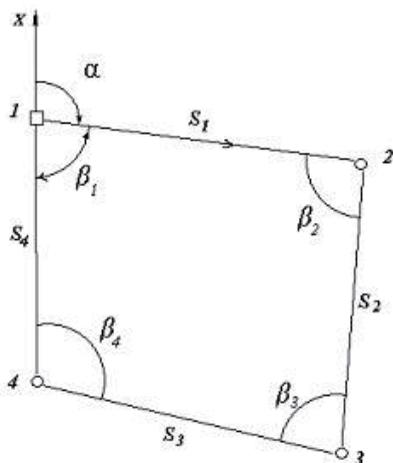


Рис. 7.1

5. Выполнить обработку журнала измерений (вычислить средние значения углов и горизонтальные проложения линий). Обработка журнала измерений выполняется непосредственно в полевых условиях.

В рассматриваемом примере «Журнала измерений теодолитного хода», показанного в табл. 7.1, согласно схеме хода, измерены правые по ходу углы.

Порядок записи измеренных величин и последовательность вычислений:

- 1) в колонку I (№ точки)

записывается номер точки хода, соответствующей номеру измеренного угла β_i , на которой выполнялось измерение угла.

2) в колонку 2 записывается номер точки, на которую выполнено измерение по горизонтальному кругу, записанное в 3 и 4 колонках.

3) в колонку 3 записывается направление (отсчет по лимбу теодолита в градусах и минутах) сначала при круге право (навели теодолит на точку 4 и записали отсчёт – $267^\circ 10,5'$, затем теодолит наведём на точку 2 и так же записали отсчёт – $180^\circ 11,0'$).

4) в колонку 4 записываются измерения на те же точки, при круге лево. Измерение при одном круге называют полуприемом.

5) в колонку 5 записывается угол вычисленный из полуприема (на примере точки 1)

$$П = КП_4 - КП_2 = 267^\circ 10,5' - 180^\circ 11,0' = 86^\circ 59,5';$$

$$Л = КЛ_4 - КЛ_2 = 87^\circ 11,0' - 0^\circ 10,5' = 87^\circ 00,5'$$

6) в колонку 6 записывается средний угол, вычисленный из двух полуприемов

Т а б л и ц а 7.1

Пример вычислений

Журнала измерений теодолитного хода

Теодолит 4Т30П

Рулетка стальная,
50 м

Наблюдал

Сержантова Р.А.

2 марта 2015 г.

Записывал

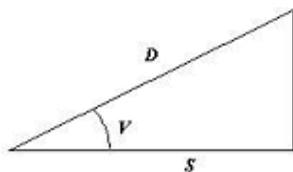
Степанов П.Г.

№ точки	№ напр	Круг право КП	Круг лево Кл	Угол из полуприема	Средний угол	Расстояние D	Угол Наклона v	Горизонтальное проложение S
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	267 10,5	87 11,0	(П) 86 59,5	(С) 87 00,0	1-2	-0° 47'	79,26
	2	180 11,0	0 10,5	(Л) 87 00,5		79,28 79,26 Ср, 79,27		
2	1	270 40,0	90 40,0	89 15,0	89 14,5	2-3	+2° 13';	28,98
	3	181 26,0	1 25,0	89 14,0		69,06 69,08 Ср, 69,07	29,00 м -2° 54'; 40,07м	40,02 ----- 69,00
3	2	262 51,0	82 50,0	82 32,0	82 32,0	3-4	-0° 40'	76,10
	4	180 19,0	0 18,0	82 32,0		76,09 76,13 Ср, 76,11		
4	3	281 33,5	101 33,0	101 12,5	101 12,5	4-1	+2° 50'	58,30
	1	180 21,0	0 20,5	101 12,5		58,38 58,36 Ср, 58,37		

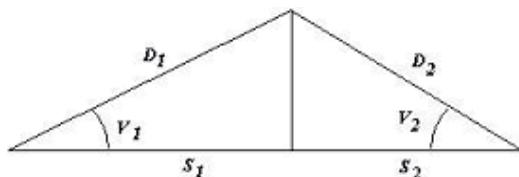
7) в колонку 7 записывается номер линии и измеренное дважды расстояние D . Из двух измерений получают среднее значение.

8) в колонку 8 записывается угол наклона измеряемой линии. если линия измерена рулеткой и имеет перегиб, то записывается расстояние до перегиба и угол наклона данного отрезка, а также расстояние после перегиба и соответствующий угол наклона.

9) в колонку 9 записывается *горизонтальное проложение* измеренной линии (проекция наклонной линии на горизонтальную плоскость). Горизонтальное проложение вычисляется как



$$S = D \cos v$$

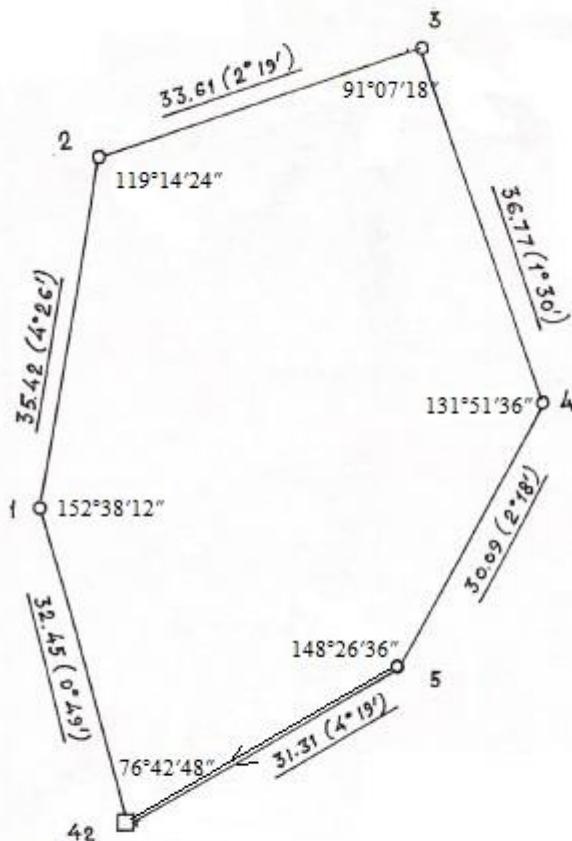


$$S = D_1 \cos v_1 + D_2 \cos v_2$$

если линия имеет перегиб, то её горизонтальное проложение вычисляется для каждого отрезка в отдельности, а затем горизонтальные проложения суммируются.

Задание 2. Вычисление координат поворотных точек теодолитного хода

Схема плановой сети с результатами измерений



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

$$\alpha_{5-42} = 274^{\circ}04'00'' + \text{Нэстуд.}$$

$$X_{42} = 644,00 + \text{Нэстуд}$$

$$Y_{42} = 454,00 + \text{Нэстуд}$$

К углам наклона прибавить Нэстуд в минутах

Ведомость координат (замкнутой геодезичный ход)

№ пункта	Горизонтальные углы (правые)			Дирекционные углы, α	Наклонные расстояния, м (Углы наклона), D, (α)	Горизонтальные проложения, м D = D cos α	Вычисленные				Угловые				Координаты, м		№ пунктов
	Измерен β _{ош}	Попр β _р	Исправл β _{испр}				Δx _{выч} ^м d cos α	Попр V _{Δx}	Δy _{выч} ^м d sin α	Попр V _{Δy}	Δx	Δy	x	y			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Σ																	
Σ _β																	
Σ _β																	
β _{ош}																	
β _{испр}																	

$$f_{\Delta x} = \pm \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2} = \pm \sqrt{\quad} = \pm$$

$$f_{\text{ош}} = \frac{f_{\Delta x}}{\sum D} = \frac{1}{\sum D} = \frac{1}{\quad}$$

**Порядок записи исходных данных в ведомость
вычисления координат и алгоритм
вычислений**

1. В колонку *1* записываются номера точек хода, на которых измерены горизонтальные углы. Запись идет через одну строку !!! Запись номеров точек хода начинается с точки №42 пропуская первую строку и заканчивается ею же (№42).

2. В колонку *2* выписываются значения измеренных углов, из **схемы плановой сети с результатами измерений** в той же строке, напротив номера точки хода. Выписанные углы суммируются. Практическая сумма измеренных углов записывается внизу колонки –

$$\Sigma\beta_{np} = 899^{\circ}58'42''.$$

3. Здесь же вычисляется теоретическая сумма измеренных углов по ходу. Поскольку ход представляет замкнутую фигуру, а углы измерены внутренние, то используется известная из геометрии формула:

$$\Sigma\beta_m = 180^{\circ} \cdot (n-2) = 180^{\circ} \cdot (n-2) = 360^{\circ}00'$$

4. Находим угловую невязку как

$$\Sigma\beta_{np} - \Sigma\beta_m = f_{\beta}$$

В нашем случае угловая невязка составила

$$f_{\beta} = -0^{\circ}01'18''.$$

После этого вычисляется предельно допустимая угловая невязка

$$f_{\beta_{\text{дп}}} = 2m_{\beta}\sqrt{n} = \pm 2 \cdot 0,5' \sqrt{4} = 2,$$

m_β – это средняя квадратическая погрешность измерения угла из одного приема, для теодолита Т30 – $m_\beta = 30''$.

если угловая невязка $f_\beta < m_\beta$ доп то углы по ходу измерены корректно, а саму невязку необходимо распределить с противоположным знаком пропорционально числу измеренных углов.

$$v_\beta = \frac{-f_\beta}{n}$$

где n – число измеренных углов.

5. В колонку 3 выписывают поправки v_β и выполняют алгебраическое сложение с измеренными углами с учетом знака поправки. Поскольку угловая невязка мала, поправки в ведомости можно распределить как в примере.

6. В колонку 4 записывают исправленные за поправку измеренные углы.

7. В колонку 5, в строчках между точками 5 и 42, выписывают исходный **дирекционный угол**.

8. Затем, в колонке 5 вычисляют значения дирекционных углов линий (направлений) по всему ходу. Начальное значение дирекционного угла известно – для данного примера $\alpha = 274^\circ 04'$. для вычисления дирекционного угла направления 42-1 (α_{42-1}), необходимо развернуть предыдущий дирекционный угол в противоположном направлении, то есть добавить 180° и прибавить к нему (если по ходу измерены левые углы) измеренный угол. если измерены правые углы, то этот угол необходимо вычесть. На схеме плановой сети с результатами измерений представлен теодолитный хода – точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 42. Направления 5–42 (S_1) и 42-1 (S_2) и измеренный (левый) по ходу угол β_{42} .

Необходимо определить дирекционный угол направления 42–1 (α_{2-3}).

Начальное направление 5-42 (дирекционный угол) известно – $\alpha_{5-42} = 274^\circ 04'$.

Это направление линии 6–42 (указано стрелочкой) относительно осевого меридиана. Напомним, что дирекционный угол отсчитывается по часовой стрелке (т.е. возрастает по часовой стрелке от 0 до 360 градусов). В точке 42 измерен левый по ходу угол β . Чтобы перейти от направления 6–42 (α) к направлению 42–1 (α_{42-1}), необходимо получить дирекционный угол направления 42–1 ($\alpha_{42-1} = \alpha_{6-42} + 180^\circ = 260^\circ 54,0'$) и вычесть из него левый измеренный угол β_{42} . $\alpha_{42-1} = \alpha_{6-42} + 180^\circ - \beta_{42} = 274^\circ 04' + 180^\circ - 76^\circ 42' 48'' = 377^\circ 21' 12''$ т.к. угол больше 360° вычитаем 360° и получаем $\alpha_{42-1} = 17^\circ 21' 12''$. Запишем вычисление дирекционных углов последующих направлений в общем виде:

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

Если предыдущий дирекционный угол меньше 180 градусов, то, чтобы изменить его на противоположный, необходимо добавить к нему 180 градусов. И наоборот. если предыдущий дирекционный угол больше 180 градусов из него необходимо вычесть 180 градусов. если результат вычислений будет отрицательным, то необходимо к полу-ченному результату добавить 360°. Если результат вычислений будет больше 360°, то необходимо вычесть из него 360°.

9. В колонку 6 выписывают наклонные расстояния и углы наклона представленных на схеме.

10. В 7 колонке вычисляют горизонтальные проложения по формуле $d = D \cos v$, где D - наклонное расстояние, а v - угол наклона.

11. В колонках 8 и 10 вычисляют приращения координат по оси X и Y . для этого используют формулы «Прямой геодезической задачи».

Рассмотрим вычисление приращений координат на примере вычисления координат для точки 42 относительно точки б:

$$dx_2 = 79,26 \cdot \cos(80^\circ 54' .0) = +12,54;$$

$$dy_2 = 79,26 \cdot \sin(80^\circ 54' .0) = +12,54$$

12. После вычисления приращения координат, выполняется оценка точности полевых измерений.

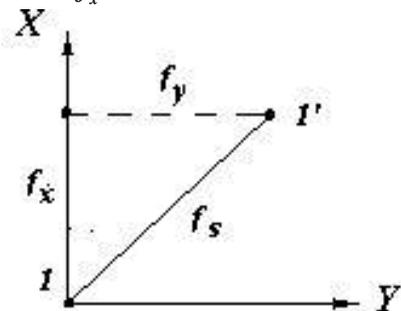
для этого выполняют следующие действия:

в колонке 7 суммируют горизонтальные проложения измеренных линий и записывают сумму внизу колонки (Σd);

в колонке 8 и 10 суммируют приращения координат и так же записывают внизу суммы;

Поскольку наш ход замкнутый, то сумма приращений координат по ходу должна равняться нулю. Но в процессе измерений неизбежны случайные ошибки, такие как наведение прибора на визирную цель, ошибка округления отсчета, инструментальная погрешность и т.д. Поэтому, суммируя приращения координат, мы получим отличные от нуля значения, которые называются невязками: f_x — невязка по оси X и f_y — невязка по оси Y .

На рисунке цифрой 1 обозначено истинное положение точки, имеющей исходные координаты. В нашем случае, точка №1 является начальной и конечной, поскольку теодолитный ход представляет замкнутую фигуру. Цифрой 1' обозначено положение точки 1 после



вычисления приращений координат.

Величина f_s — называется

линейной невязкой хода. и вычисляется по теореме Пифагора:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

Величина линейной невязки не должна быть больше 0,4 мм в масштабе создаваемого плана.

$$f_s \leq 0,4 \text{ мм } M$$

(M — знаменатель масштаба составляемого плана).

для большей наглядности, оценку точности представляют в виде аликвотной дроби, в числителе которой стоит единица, а в знаменателе указывается, во сколько раз линейная невязка меньше длины хода.

$$\frac{1}{T} = \frac{f_s}{\Sigma S} = \frac{1}{2800}.$$

13. После оценки точности полевых измерений выполняют уравнивание приращений координат. для этого берут соответствующие невязки по осям координат *с противоположным знаком*, и вычисляют поправки (v_i) в вычисленные приращения координат, прямо пропорционально длине горизонтального проложения (S_i) соответствующей линии:

$$v_{x_i} = - \frac{f_x}{\Sigma S_i} S_i;$$
$$v_{y_i} = - \frac{f_y}{\Sigma S_i} S_i.$$

В нашем случае поправки вычисляются с округлением до сантиметра, записаны в колонках 9 и 11. (поскольку ход короткий, стороны хода примерно равны, а невязки достаточно малы, то их можно распределить, как в ведомости вычисления координат, пропорционально числу сторон).

Контролем правильного вычисления поправок является их сумма, которая должна быть равна соответствующей невязке, но с противоположным знаком.

Затем поправки суммируются с соответствующими приращениями координат, показано в колонках 12 и 13.

Контролем правильности уравнивания приращений координат является равенство суммы уравненных приращений координат с теоретической суммой приращений:

$$\sum \Delta X_i = \Delta X_{теор}$$

$$\sum \Delta Y_i = \Delta Y_{теор}$$

Теоретическая сумма приращений замкнутого хода равна нулю по обоим осям.

Затем вычисляют координаты поворотных точек хода, колонки 13 и 14:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i;$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i.$$

По вычисленным координатам точки съемочного обоснования можно наносить на план.

Задание 3. Нанесение точек съемочного обоснования

План местности, как правило, составляется на жесткой основе (или на листе ватмана), называемой планшетом. Стандартный формат планшета 50x50 см. Можно составлять план на ватмане формата А1.

Составление плана начинается с построения координатной сетки со сторонами квадратов 10 см.

Координатная сетка строится с помощью линейки Ф.В. дробышева (рис. 7.3).



Рис. 7.3

На линейке через 10 см имеются прорезанные отверстия со скошенными краями. Точка пересечения штриха со скошенным краем

первого отверстия является началом отсчета, штрих – 0 . далее дуги окружностей с радиусами 10, 20, 30, 40, 50 см. От 0 штриха до правого скошенного ребра линейки ровно 70.711 см, что соответствует гипотенузе прямоугольного треугольника с катетами 50х50 см, и диагонали квадрата 50х50 см.

В современных линейках есть прорезь соответствующая диагонали квадрата 40х40 см.

При построении сетки линейка укладывается на лист ватмана параллельно нижнему краю, примерно в 10 см от него так, чтобы начальный штрих находился слева, показано на рис. 7.4. По скошенному краю линей

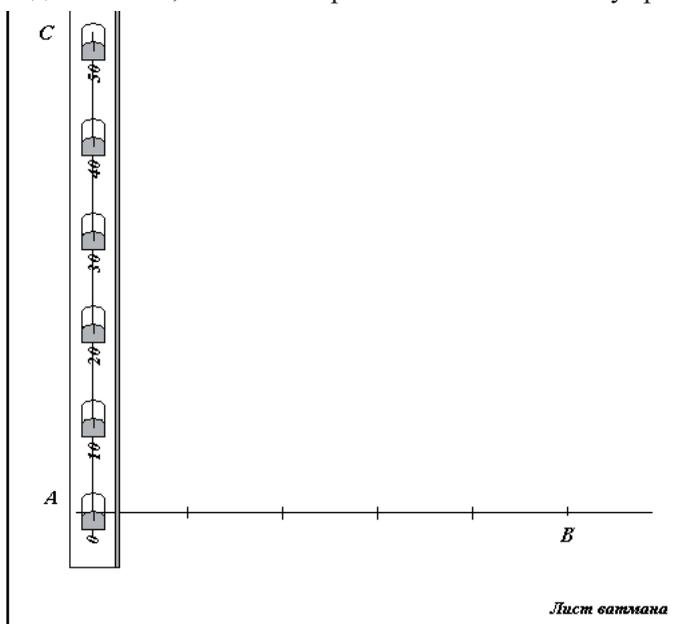


Рис. 7.4

ки твердым остро отточенным карандашом, слегка, проводится прямая линия. Затем, примерно в 5 см от левого края планшета, выбирается точка начала отсчета (A). К точке начала отсчета прикладывается нулевой штрих, а сама линейка ориентируется таким образом, чтобы в пятом (50 см) отверстии была видна намеченная линия. Затем, по скошенным краям всех отверстий линейки, кратным 10 см, остро отточенным карандашом, делаются засечки (линия AB).

далее линейку располагают параллельно левому краю планшета так, чтобы начало отсчета линейки совпало с крайней левой точкой A на горизонтальной линии AB и делают засечки по вертикальной линии от A до C .

После этого, приложив точку начала отсчета линейки к крайней правой точке **B** горизонтальной линии **BA**, располагают линейку по направлению диагонали квадрата таким образом, чтобы скошенный край конца линейки пересекал крайнюю вертикальную засечку – точку **C**. По скошенному краю конца линейки делают засечку **ab** (рис. 7.5). Таким образом линейной засечкой построили прямоугольный треугольник.

Аналогичным способом получают второй треугольник, с вершиной в точке **D**.

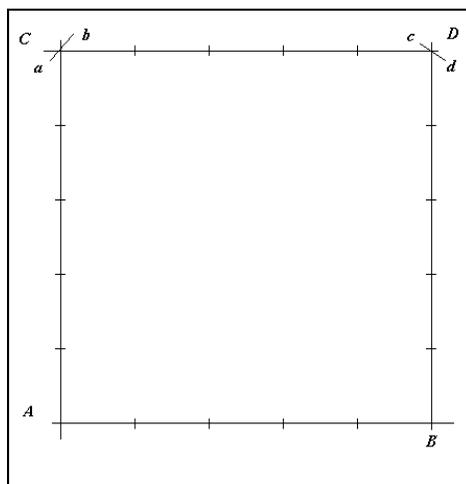


Рис. 7.5

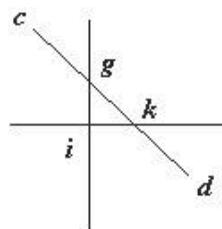
После этого линейку укладывают между точками **C** и **D** и проверяют равно ли расстояние **CD** 50 см и отмечают 10 см интервалы.

Проконтролировать построение квадрата **ACDB** можно по треугольнику погрешностей **igk** в точке **D**.

На рис. 7.6 треугольник погрешностей линейной засечки приведен в увеличенном виде. если стороны треугольника превышают размер 0,2 мм, то построения нужно выполнить заново. В противном случае, точка **D** выбирается в центре треугольника (0,2 мм – предельная точность графических построений).

Затем строят сетку квадратов, соединяя одноименные противоположные штрихи.

Аналогично строится квадрат 40x40 см.



Оцифровка координатной сетки. В результате построений получили координатную сетку, со стороной квадрата 10 см, что в масштабе 1:500 соответствует отрезку на местности в 50 м.

для дальнейшей работы, координатную сетку необходимо оцифровать таким образом, чтобы точки съемочного обоснования (теодолитного хода) располагались в центре планшета. для этого необходимо выбрать из каталога координат поворотных точек теодолитного хода (смотри **Ведомость вычисления координат замкнутого теодолитного хода – колонки 13 и 14**) максимальные и минимальные значения координат:

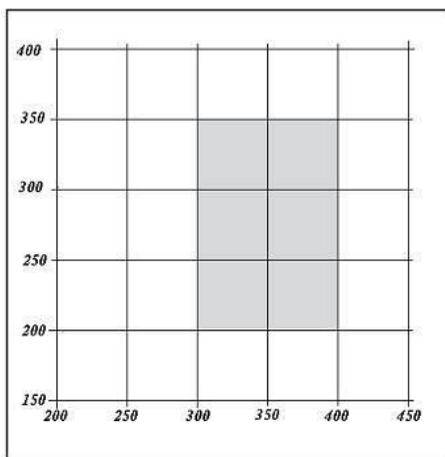


Рис. 7.7

По результатам выборки координат, определили, что рабочая зона участка съемки имеет протяженность по оси X – 69 м, а по оси Y – 76 м.

Напомним, что в геодезии ось X направлена на север (вверх), а ось Y на восток (вправо). Тогда оцифровав сетку, кратно 50 метрам, участок съемки попадает на отмеченный заливкой участок планшета (рис. 7.7).

Нанесение на план точек съемочного обоснования.

После оцифровки координатной сетки на планшет наносят точки съемочного обоснования. Нанесение выполняется с помощью циркуля измерителя и поперечного масштаба. Поперечный масштаб позволяет наносить на планшет отрезки с точностью 0,1 мм в масштабе съемки.

Нанесение точек съемочного обоснования начинается с определения квадрата координатной сетки, в который попадает данная точка. **Необходимый квадрат определяется координатами юго-западного угла – $X_{юз}$.**

Так координаты точки теодолитного хода №1 ($X=300.00$, $Y=300.00$) относятся к квадрату с координатами юго-западного угла ($XY=300,300$) и, соответственно, точка 1 находится на пересечении линий координатной сетки с координатами $X=300$, $Y=300$.

Точке 2, имеющей координаты $X=312,51$ $Y=378,28$, соответствует квадрат с координатами юго-западного угла 300, 350. для определения положения данной точки в квадрате 300, 350 необходимо найти приращения координат данной точки от соответствующих линий координатной сетки.

$$\Delta X = 312,51 - 300,00 = 12,51 \text{ м};$$

$$\Delta Y = 378,28 - 350,00 = 28,28 \text{ м}.$$

данные приращения координат необходимо отложить от соответствующих линий километровой сетки в сторону возрастания координат, в масштабе составляемого топографического плана.

для этого используют либо поперечный масштаб, либо, в отсутствии его, вычисляют длину откладываемого отрезка в масштабе составляемого топографического плана с точностью 0,1 мм. для этого решают пропорцию:

(Пример вычислений для точки №2)

Составим пропорцию для отрезка ΔX :

$$\frac{1 \text{ см} - 5 \text{ м}}{A \text{ см} - 12,51 \text{ м}}$$

Здесь 1 см — 5 м — одному сантиметру отрезка на плане соответствует 5 м на местности; A см — искомый отрезок в масштабе плана; 12,51 м — длина искомого отрезка (приращения координат) на местности.

Решая пропорцию, получим длину отрезка в масштабе нашего плана

$$A = \Delta X = \frac{12,51 \text{ м}}{5 \text{ см}} \times 1 \text{ см} = 2,502 \text{ см}.$$

Или $\Delta X = 25,0 \text{ мм}$ в масштабе нашего плана. Результат вычислений округляем до 0,1 мм, что соответствует графической точности построений. Такую же пропорцию составим для ΔY и получим $\Delta Y = 56,6 \text{ мм}$

Вычисленные в масштабе плана приращения координат откладываются от соответствующих линий километровой сетки, показано на рис. 7.8. Между одноименными точками проводятся тонкие линии. Точка пересечения линий указывает

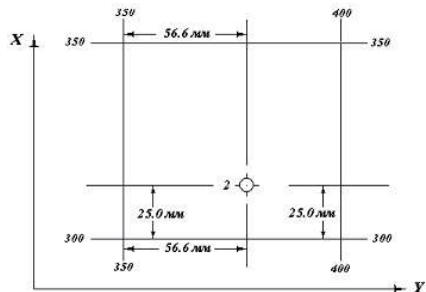


Рис. 7.8

на положение соответствующей точки съемочного обоснования на плане. *Полученная точка накальвается на плане остро отточенной иглой* таким образом, чтобы накол, в диаметре, был не более 0,1 мм. Точка оформляется на плане в соответствии с условными знаками для топографических планов масштабов 1:500 – 1:5000, утвержденные Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР 25 ноября 1986 г.

На рис. 7.9 приведен пример оформления на плане точек съемочной сети, с размерами условных знаков. Слева от условного знака указывается номер точки съемочного обоснования, а справа – ее высота. Поскольку высоты точек пока отсутствуют, на план их выпишем после определения. Контроль нанесения точек выполняют измеряя расстояния между полученными точками на плане, они должны совпадать с длиной горизонтальных проложений из колонки 6 ведомости вычисления координат в пределах графической точности. Так же можно осуществить контроль по дирекционным углам.