МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва»

Кафедра маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

М. М. Латагуз

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности 271101.65 «Строительство уникальных зданий и сооружений» в качестве электронного учебного пособия

Кемерово 2014

Рецензенты:

Игнатов Ю. М., заведующий кафедрой маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Изместьев А. Г., ст. преподаватель кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Латагуз Марина Михайловна. **Инженерная геодезия**: учебное пособие [Электронный ресурс] для студентов специальности 271101.65 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» очной формы обучения / М. М. Латагуз. – Электрон. дан. – Кемерово : КузГТУ, 2014.

Учебное пособие содержит основные сведения и термины по геодезии, информацию о системах координат. Дается представление о топографических картах, планах и профилях. Рассмотрены вопросы ориентирования линий. Изложены общие положения о геодезических сетях, методах их построения. Дан обзор методик различных геодезических измерений. Дается общее представление об основных видах геодезических работ в строительстве.

© КузГТУ, 2014
© Латагуз М. М.

Содержание

Содержание 2
Введение. 4
Раздел 1 Топографическая основа для проектирования 4
Тема 1. Основы геодезии
1.2. Основные этапы из истории геодезии 5
1.3. Роль геодезии в экономическом развитии страны 6
1.4. Современное представление о форме и размерах Земли. 8
Контрольные вопросы 10
Тема 2. Системы координат, применяемые в геодезии 10
2.1.Пространственные системы координат 10
2.2. Системы координат на плоскости 12
2.3. Системы высот 14
Контрольные вопросы 15
Тема 3. Ориентирование линий на местности 14
3.1. Углы ориентирования 16
3.2. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости 18
Контрольные вопросы 19
Тема 4. Задачи, решаемые по картам и планам 20
4.1. План, карта, цифровая модель местности 22
4.2. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов 23 25
4.3. Условные знаки топографических карт и планов 29
4.4.Свойства горизонталей 34
4.5. Методы определения площадей по картам и планам 38
Контрольные вопросы
Раздел 2 Геодезические измерения 3838
Тема 5. Геодезические измерения. 39
5.1. Процессы производства геодезических работ 40
5.2.Понятия о погрешностях измеренных величин и характеристики точности измерений. 42
Контрольные вопросы
Тема 6. Угловые и линейные измерения 42
6.1. Принцип измерения горизонтальных углов 42
6.2. Измерение углов наклона линий 43
6.3. Теодолит 44
6.3.1. Угловые измерения 49
6.4. Линейные измерения 51
Контрольные вопросы 52
Раздел 3 Топографические съёмки 52

Тема 7. Геодезические съёмки 52
7.1.Виды съёмок и их классификация 54
7.2. Плановые и высотные геодезические сети 58
7.3. Классификация нивелиров 65
7.3.1. Устройство нивелира 66
7.3.2. Поверки нивелира 6769
7.4. Методы нивелирования 70
7.4.1. Геометрическое нивелирование 73
7.4.2. Тригонометрическое нивелирование 74
7.5. Методика работ при техническом нивелировании 77
7.6. Тахеометрической съёмки 78
7.6.1. Приборы, предназначенные для выполнения тахеометрической съёмки 79
7.6.2. Порядок работы на станции при тахеометрической съёмке 81
7.6.3. Съемка ситуации и рельефа. Абрис 87
7.7. Вертикальная съёмка 91
Контрольные вопросы
Тема 8. Геодезические работы на строительной площадке 91
8.1. Этапы геодезических изысканий. 91
8.2. Элементы геодезических разбивочных работ. 93
8.3. Геодезические работы при возведении зданий и сооружений 97
8.3.1. Геодезическая разбивочная основа для строительства 98
8.3.2. Разбивка и закрепление основных осей сооружений 104
8.3.3.Передача осей и отметок на монтажный горизонт 106
Контрольные вопросы 110
Список литературы 111

Введение

Учебное пособие составлено в соответствии с учебной программой курса «Инженерная геодезия» для специальности 271101.65 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» очной формы обучения. Данная учебная дисциплина входит в раздел «Цикл математических, естественнонаучных и общетехнических дисциплин» по ФГОС.

Раздел 1 Топографическая основа для проектирования

Тема 1. Основы геодезии

Геодезия — одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано из двух греческих слов — «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель. Современная геодезия — многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

Геодезия подразделяется на высшую, космическую, топографию, фотограмметрию и инженерную (прикладную) геодезию. Каждый из этих разделов имеет свой предмет изучения, свои задачи и методы их решения, т. е. является самостоятельной научно - технической дисциплиной.

Высшая геодезия изучает фигуру и размеры Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли.

Топография рассматривает способы изучения земной поверхности и изображения ее на картах и планах.

Фотограмметрия решает задачи измерений по аэро- и космо снимкам для различных целей, в том числе для получения карт и

планов, обмеров зданий и сооружений и т. п.

1.2. Основные этапы из истории геодезии

Истоки геодезии находят в древнем Египте 6000 лет до н.э там впервые проводились по берегам Нила работы по межеванию. Первые упоминания о геодезических работах в России относятся к 996 году в летописи Киевской Руси. В XVI веке впервые составлена карта Московского государства «Большой Чертеж» и описание к нему «Книга к большому чертежу». «Большой чертёж» — единая генеральная карта Московского государства крупного масштаба, созданная в XVI веке по указу Ивана IV (Грозного). В 1614г. Федором Годуновым по Большому чертежу составлена карта с параллелями и меридианами, которые были нанесены без геодезических съемок.

Рис.1. Большой чертеж

Более совершенная постановка геодезических работ была осуществлена при Петре I (1672-1725), когда развивалось строительство заводов, фабрик и военные цели потребовали более точных карт. В 1696г. произведены первые съемки в России на Дону, а в 1701г. в географическом атласе Сибири Семена Ремезова на чертеже Томского города указана деревня Щегловка (ныне г. Кемерово) при впадении речки безымянной (р. Искитимки) в реку

Томь.

В 1715г. сформирована первая большая экспедиция для геодезической съёмки в Сибири на реке Иртыше.

Географический департамент Российской Академии наук, объединивший картографические работы в стране был учрежден в 1739 году.

В 1745г. Российской Академией наук был создан Атлас Российский, состоящий из 13 листов территории европейской части России и 6 листов азиатской.

В 1765году в России впервые началось генеральное межевание. Новый этап в более быстром развитии геодезии наступил в1919г. после подписания декрета «Об учреждении Высшего геодезического управления». А с 1925г для составления топографических карт началась применяться аэрофотосъемка.

В 50 годах XX века началось освоение системы GPS и ГЛОНАСС.

В настоящее время ведутся обширные высокоточные съемки, которые дают не только картину поверхности, но и её изменение во времени.

1.3. Роль геодезии в экономическом развитии страны

Инженерная геодезия – раздел геодезии, изучающий методы измерений и инструменты, используемые при инженерных изысканиях и строительстве инженерных сооружений. Составные части инженерной геодезии: топографо-геодезические изыскания, инженерно-геодезическое проектирование, разбивочные работы, проверка конструкций, наблюдения за деформациями сооружений. Инженерная геодезия решает задачи, связанные со строительством инженерных сооружений, монтажом технологического оборудования, эксплуатацией природных богатств. Несмотря на многообразие инженерных сооружений при их проектировании и возведении решаются следующие общие задачи: получение геодезических данных при разработке проектов строительства сооружений (инженерно-геодезические изыскания). Определение на местности основных осей и границ сооружений в соответствии с проектом строительства (разбивочные работы). Обеспечение в процессе строительства геометрических форм и размеров элемен-

тов сооружения в соответствии с его проектом. Геометрических условий установки и наладки технологического оборудования. Определение отклонений геометрической формы и размеров возведенного сооружения от проектных параметров (исполнительные съемки). Изучение деформаций (смещений) земной поверхности под сооружением, самого сооружения или его частей под воздействием природных факторов и в результате деятельности человека. Для решения каждой из указанных задач применительно к разным видам сооружений существуют свои методы, средства и требования к точности их выполнения. Например, при инженерно-геодезических изысканиях в основном производят измерения для составления карт и планов, на которых изображают то, что есть на местности, а при строительстве здания, наоборот, определяют на местности то место, где здание должно располагаться по проекту. Конструкции здания устанавливают на предусмотренные проектом места с погрешностью 5...10 мм, детали заводского конвейера — 1...2 мм, а оборудование физических лабораторий (ускорителей ядерных частиц) — 0,2...0,5 мм.

Инженерная геодезия тесно связана с другими геодезическими дисциплинами и использует методы измерений и приборы, предназначенные для геодезических целей. В то же время для геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений и других подобных работ применяют свои приемы и методы измерений, используют специальную измерительную технику, лазерные приборы и автоматизированные системы. Инженерно-геодезические измерения выполняют непосредственно на местности в различных физико-географических условиях, поэтому необходимо заботиться об охране окружающей природы: не допускать повреждений лесов, сельскохозяйственных угодий, не загрязнять водоемы. Решение современных задач геодезии связано с обеспечением и улучшением качества строительных зданий и сооружений, промышленных и жилых комплексов, дорог, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, энергетических объектов, объектов агропромышленного комплекса и др. Карты и планы являются главной основой при проектировании объектов строительства. Геодезические методы и данные необходимы при разработке проекта строительства, при перенесении проекта на местность,

при возведении сооружений. Таким образом, геодезические работы предшествуют и сопутствуют проектированию, контролируют процесс возведения сооружений на всех его стадиях, завершают строительство составлением исполнительных чертежей, при которых ни один объект не может быть принят в эксплуатацию. В процессе эксплуатации сооружений при помощи геодезии производится мониторинг за осадками и деформациями сооружений.

1.4. Современное представление о форме и размерах Земли.

Мысль о том, что Земля имеет форму шара, впервые высказал в VI в. до н. э. древнегреческий ученый Пифагор, а доказал это и определил радиус Земли египетский математик и географ Эратосфен, живший в III в. до н.э.

Впоследствии ученые уточнили, что Земля сплюснута у полюсов. Такая фигура в математике называется *эллипсоидом вращения* она, получается, от вращения эллипса вокруг малой оси. В *земном эллипсоиде* (рис. 3.), полярная ось меньше экваториальной.

Земля не является правильным геометрическим телом — ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большую часть поверхности Земли 71 % занимает океан. Поверхность воды в нем под действием силы тяжести образует уровенную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют *отвесной линией.* Если уровенную поверхность мысленно продолжить под материками, то образуется фигура, называемая *геоидом* (рис. 2).

Рис.2 Физическая поверхность земли, геоид, земной эллипсоид.

Из-за неравномерности распределения масс в земной коре геоид имеет неправильную геометрическую форму, и его поверхность нельзя выразить математически, что необходимо для решения геодезических задач. При решении геодезических задач геоид заменяют близкими к нему геометрически правильными поверхностями.

Ближе к форме геоида подходит эллипсоид – фигура, получаемая вращением эллипса (рис. 3) вокруг его малой оси. Размеры земного эллипсоида характеризуют следующими основными параметрами: a – большая полуось, b – малая полуось, α – полярное сжатие: $\alpha = \frac{a-b}{a}$.

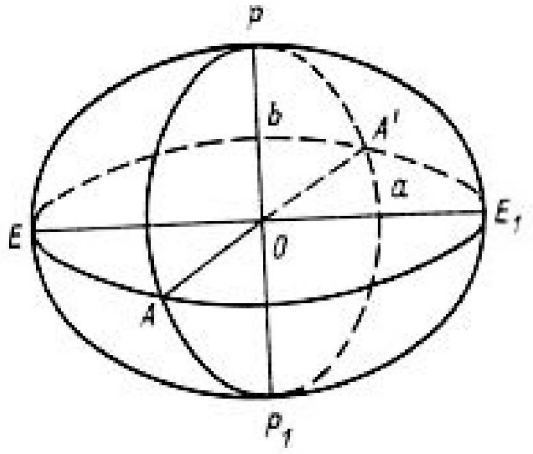


Рис. 3. Земной эллипсоид

Различают общеземной эллипсоид и референц-эллипсоид. 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. Общеземной эллипсоид используют при решении глобальных геодезических задач, и в частности, при обработке спутниковых измерений. В настоящее время широко пользуются двумя общеземными эллипсоидами: ПЗ-90 (Параметры Земли 1990 г, Россия) и WGS-84 (Мировая геодезическая система 1984 г, США).

Референц-эллипсоид – эллипсоид, принятый для геодезических работ в конкретной стране. С референц-эллипсоидом связана принятая в стране система координат. Параметры референц-

эллипсоида подбираются под условием наилучшей аппроксимации данной части поверхности Земли. При этом совмещения центров эллипсоида и Земли не добиваются.

В России с 1946 г. в качестве референц-эллипсоида используется эллипсоид Красовского с параметрами: a = 6378245 м, и коэффициентом сжатия $\alpha = 1/298{,}3$.

Контрольные вопросы

1. Современное представление о форме и размерах земли.
2. Объясните понятия эллипсоид, геоид.
3. Объясните понятия референц-эллипсоид, уровенная поверхность.
4. Размеры малой и большой полуоси эллипсоида и коэффициента сжатия?
5. Перечислите элементы разделяющие Землю на северное и южное полушарие, западное и восточное.

Тема 2. Системы координат, применяемые в геодезии

2.1. Пространственные системы координат

Для определения положения точек в геодезии применяют пространственные прямоугольные, геодезические и плоские прямоугольные координаты.

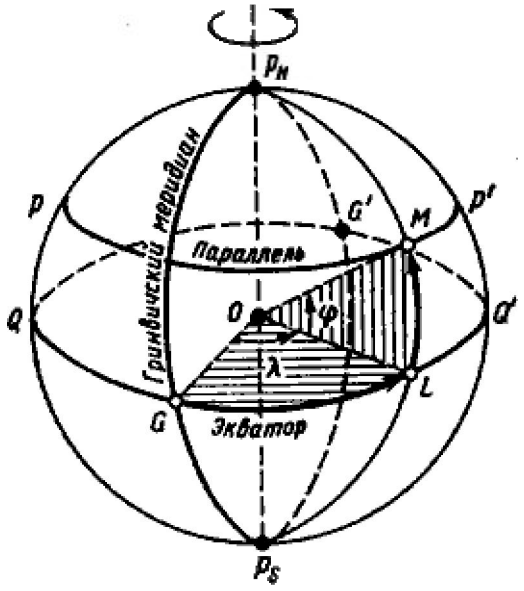


Рис.4. Геодезические координаты

Геодезические координаты. Геодезическими координатами точки являются ее широта, долгота и высота (рис. 4.).

Геодезической широтой точки М называется угол φ, образованный нормалью к поверхности эллипсоида, проходящей через данную точку, и плоскостью экватора.

Широта отсчитывается от экватора к северу и югу от 0° до 90° и называется северной или южной. Северную широту считают положительной, а южную – отрицательной.

Плоскости сечения эллипсоида, проходящие через ось $P_N P_S$, называются геодезическими меридианами.

Геодезической долготой точки М называется двугранный угол λ, образованный плоскостями начального (гринвичского) геодезического меридиана и геодезического меридиана данной точки.

Долготы отсчитывают от начального меридиана в пределах от 0° до 360° на восток, или от 0° до 180° на восток (положительные) и от 0° до 180° на запад (отрицательные).

Геодезической высотой точки М является ее высота Н над поверхностью земного эллипсоида.

Отметим, что наряду с геодезическими существуют еще астрономические широта и долгота. *Астрономическая широта* φ это – угол, составленный отвесной линией в данной точке с плоскостью экватора. *Астрономическая долгота* λ – угол между плоскостями Гринвичского меридиана и проходящего через отвесную линию в данной точке астрономического меридиана. Астрономические координаты определяют на местности из астрономических наблюдений.

Астрономические координаты отличаются от геодезических потому, что направления отвесных линий не совпадают с направлениями нормалей к поверхности эллипсоида. Угол между направлением нормали к поверхности эллипсоида и отвесной линией в данной точке земной поверхности называется *уклонением отвесной линии.*

Обобщением геодезических и астрономических координат является термин – *географические координаты.*

2.2. Системы координат на плоскости

Плоские прямоугольные координаты. Для решения задач в инженерной геодезии от пространственных и геодезических координат переходят к более простым – плоским координатам, позволяющим изображать местность на плоскости и определять положение точек двумя координатами x и y. Поскольку выпуклую поверхность Земли изобразить на плоскости без искажений нельзя, введение плоских координат возможно только на ограниченных участках, где искажения так малы, что ими можно пренебречь. В России принята система прямоугольных координат, основой которой является равноугольная поперечно–цилиндрическая проекция Гаусса. Поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, называемым зонами.

Зональная система координат. Зоны представляют собой сферические двуугольники, ограниченные меридианами, и простирающиеся от северного полюса до южного (рис. 5). Размер зоны по долготе равен 6°. Центральный меридиан каждой зоны называется осевым. Нумерация зон идет от Гринвича к востоку. Долгота осевого меридиана зоны с номером N равна:

$$\lambda_i = 6° \cdot N - 3° .$$

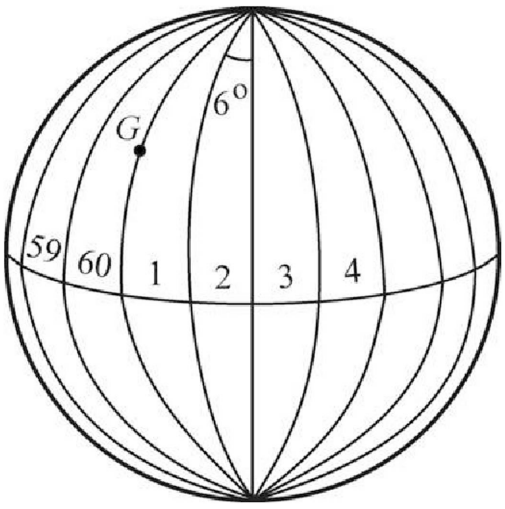


Рис. 5. Зональная система координат

Осевой меридиан зоны и экватор изображаются на плоскости прямыми линиями (рис. 6). Осевой меридиан принимают за

ось абсцисс x, а экватор – за ось ординат y. Их пересечение (точка О) служит началом координат данной зоны.

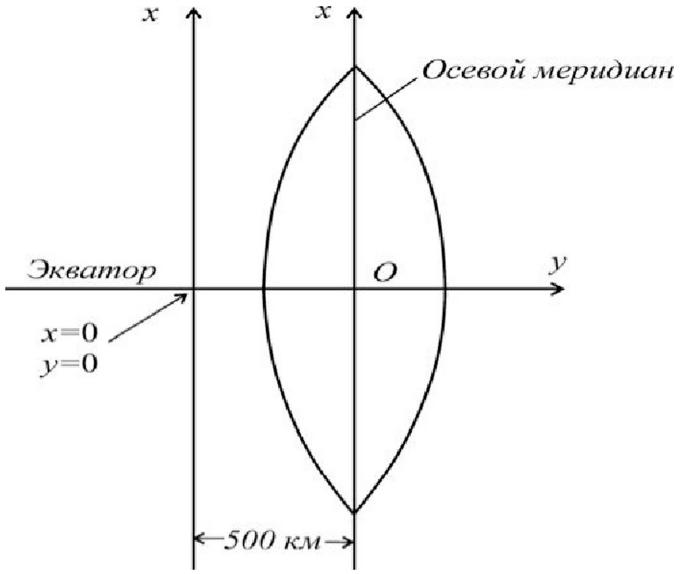


Рис. 6. Изображение координатной зоны на плоскости: О – начало координат (x_o=0; y_o=500 км).

Чтобы избежать отрицательных значений ординат, координаты пересечения принимают равными x_o = 0, y_o = 500 км, что равносильно смещению оси x к западу на 500 км.

Чтобы по прямоугольным координатам точки можно было судить, в какой зоне она расположена, к ординате y слева приписывают номер координатной зоны.

Пусть например, координаты точки А имеют вид:

$$x_A = 6\,272\,427 \text{ м}$$

$$y_A = 11\,428\,566 \text{ м}$$

Эти координаты указывают на то, что точка А находится на расстоянии 6272427 м от экватора, в западной части (y < 500 км) 11-ой координатной зоны, на расстоянии 500000 – 428566 = 71434 м от осевого меридиана.

Для пространственных прямоугольных, геодезических и плоских прямоугольных координат в России принята единая система координат СК-95, закрепленная на местности пунктами государственной геодезической сети и построенная по спутниковым и наземным измерениям по состоянию на эпоху 1995 г.

Местные системы прямоугольных координат. При строительстве различных объектов часто используют местные (услов-

ные) системы координат, в которых направления осей и начало координат назначают, исходя из удобства их использования в ходе строительства и последующей эксплуатации объекта.

Полярная система координат. При выполнении съемочных и разбивочных геодезических работ часто применяют полярную систему координат (рис.7). Она состоит из полюса О и полярной оси ОР, в качестве которых принимается прямая с известным началом и направлением.

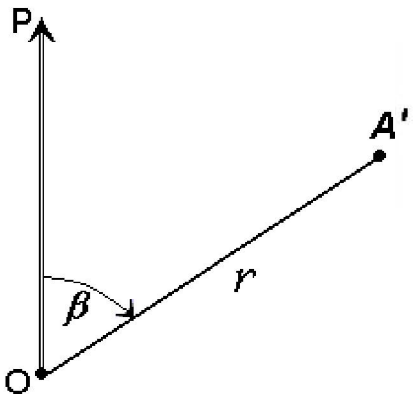


Рис. 7. Полярная система координат

Для определения положения точек в данной системе используют линейно-угловые координаты: угол β, отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси ОР до направления на горизонтальную проекцию точки А', и полярное расстояние $\boldsymbol{r}$ от полюса системы О до проекции А'.

2.3. Системы высот

Счет высот в инженерной геодезии ведут от одной из уровенных поверхностей.

Высотой точки называют расстояние по отвесной линии от точки до уровенной поверхности, принятой за начало счета высот. Если высоты отсчитывают от основной уровенной поверхности, то есть от поверхности геоида, их называют *абсолютными высотами*. На рис. 8 отрезки отвесных линий Aa и Bb – абсолютные высоты точек А и В.

Если за начало счета высот выбрана какая-либо другая уровенная поверхность, то высоты называют *условными*. На рис. 8 отрезки отвесных линий Aa′ и Bb′ – условные высоты точек А и *В*.

В России принята *Балтийская система высот. Счет абсолютных высот ведут от уровенной поверхности, проходящей через* нуль Кронштадтского футштока.

Численное значение высоты принято называть отметкой. Например, если высота точки А равна H_A = 15,378 м, то говорят, что отметка точки равна 15,378 м.

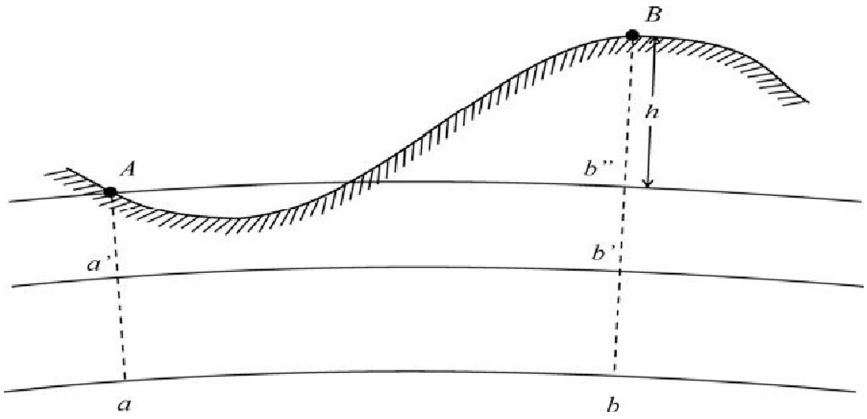


Рис. 8. Абсолютные и условные высоты

Разность высот двух точек называется *превышением h*. Так, превышение точки В над точкой А равно

$$h_{AB} = H_B - H_A.$$

Зная высоту точки А, для определения высоты точки В на местности измеряют превышение h_{AB}. Высоту точки В вычисляют по формуле

$$H_B = H_A + h_{AB}.$$

Контрольные вопросы:

1. Современное представление о форме и размерах Земли.
2. Геодезическая система координат.
3. Астрономическая система координат.
4. Плоская условна система координат.
5. Плоская зональная система координат Гаусса-Крюгера.
6. Полярная система координат.

Тема 3. Ориентирование линий на местности

3.1. Углы ориентирования

Ориентированием линии называется определение её положения или направления относительно исходных ориентиров, (см.

рис. 9.) За исходные принимаются направления:

1) истинного (географического) меридиана;

2) магнитного меридиана;

3) осевого меридиана, т.е. оси *X* прямоугольной системы координат.

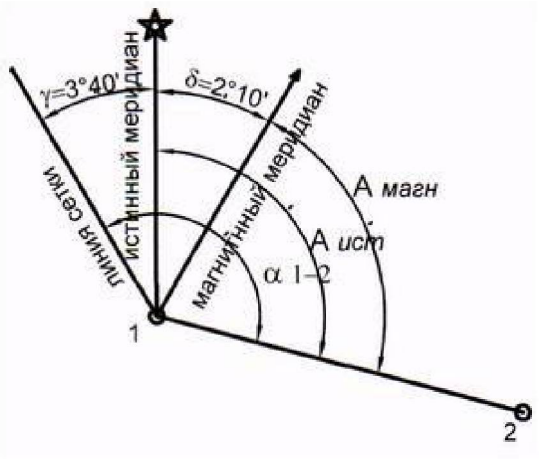


Рис. 9 Схема ориентирных направлений по карте

Для ориентирования линий служат азимуты: магнитный $А_м$, истинный $А_и$, дирекционный угол α и румб *r*.

Азимут – горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки между северным направлением исходного меридиана и направлением заданной линии. Отсчитывают от 0° до 360°.

Азимут называется *истинным* $А_и$, если он отсчитан от направления истинного меридиана, и *магнитным* $А_м$, если он определен от магнитного меридиана.

Дирекционным углом α называют горизонтальный угол, отсчитываемый от положительного (северного) направления оси *X* по ходу часовой стрелки до направления заданной линии, α изменяется от 0° до 360°.

В практике вычислений находят применение также вспомогательные углы ориентирования – *румбы*.

Румбом называют острый угол между ближайшим (северным или южным) направлением меридиана и заданным направлением. Значение румбов меняется от 0° до 90°. Обязательным условием является ориентирование румба по сторонам света СЗ, ЮЗ, СВ, ЮВ. В табл.1 приведена связь между румбами и дирекционным углом.

Таблица 1

Связь между румбами и дирекционным углом

Четверти и их наименования	Значения дирекционных углов (азимутов)	Связь румбов (табличных углов) с дирекционными углами
I – СВ	0° – 90°	$r = \alpha$
II – ЮВ	90° – 180°	$r = 180° - \alpha$
III– ЮЗ	180° – 270°	$r = \alpha - 180°$
IV– СЗ	270° – 360°	$r = 360° - \alpha$

Угол, отсчитываемый от северного направления магнитной стрелки до заданного направления, называется *магнитным азимутом.* Магнитная стрелка компаса отклоняется от направления истинного меридиана на угол δ, который называется *склонением магнитной стрелки* (рис. 9). Если северный конец магнитной стрелки отклоняется от меридиана к востоку, то склонение называют восточным и считают положительным, а если – к западу, то называют западным и считают отрицательным.

Азимут с магнитным азимутом связывает формула:

$$A = A_м + \delta;$$

где А – азимут истинный, $A_м$ – магнитный азимут и δ – склонение магнитной стрелки.

Магнитные азимуты в геодезии измеряют буссолью (рис. 10). Однако точность этих измерений невысока (несколько минут), так как склонение магнитной стрелки непостоянно. На территории России оно меняется от места к месту в пределах от –15° до 25°.

Рис. 10. Буссоль

В аномальных районах (например, в районе Курской магнитной аномалии) эти изменения так велики, что магнитной стрелкой пользоваться нельзя. Кроме того, склонение изменяется во времени, испытывая суточные, годовые и вековые изменения. Углом ориентирования, применяемым при использовании системы плоских прямоугольных координат Гаусса - Крюгера, является дирекционный угол.

Угол γ между северным направлением меридиана и направлением оси абсцисс x прямоугольных координат (то есть линии, параллельной осевому меридиану) называется с*ближением меридианов* (рис. 9). При отклонении оси абсцисс от меридиана к востоку, сближение меридианов считают положительным, а при отклонении к западу – отрицательным. При этом справедлива формула

$$A = \alpha + \gamma,$$

где α – дирекционный угол, γ - сближение меридианов.

3.2. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости

При вычислительной обработке выполненных на местности измерений, а также при проектировании инженерных сооружений и расчетах для перенесения проектов в натуру возникает необходимость решения прямой и обратной геодезических задач.

Прямая геодезическая задача. По известным координатам x_1 и y_1 точки 1, дирекционному углу $\alpha_{1\text{-}2}$ и расстоянию $d_{1\text{-}2}$ до точки 2 требуется вычислить ее координаты x_2, y_2.

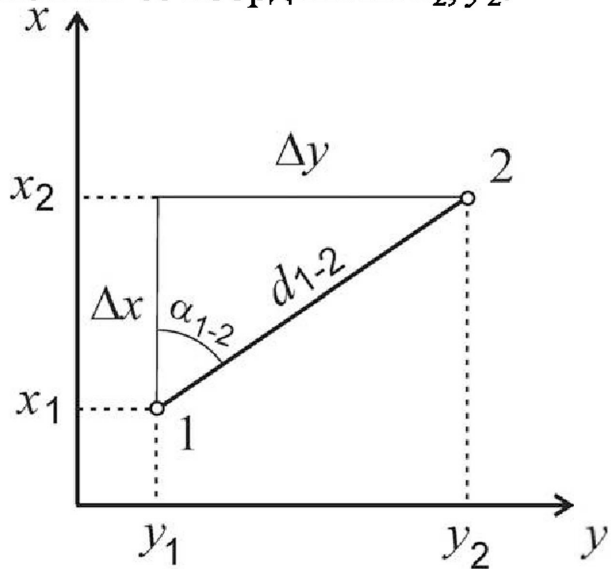


Рис. 11. К решению прямой и обратной геодезических задач

Координаты точки 2 вычисляют по формулам (рис. 11):

$$x_2 = x_1 + \Delta x;$$
$$y_2 = y_1 + \Delta y; \qquad (1)$$

где Δx, Δy – приращения координат, равные

$$\Delta x = d_{1-2} \cdot \cos\alpha_{1-2};$$
$$\Delta y = d_{1-2} \cdot \sin\alpha_{1-2}. \qquad (2)$$

Обратная геодезическая задача. По известным координатам x_1, y_1 точки 1 и x_2, y_2 точки 2 требуется вычислить расстояние между ними $d_{1\text{-}2}$ и дирекционный угол $\alpha_{1\text{-}2}$. Из формул (2) и рис. 11 видно, что

$$\mathrm{tg}\alpha_{1\text{-}2} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \qquad (3)$$

Для определения дирекционного угла $\alpha_{1\text{-}2}$ воспользуемся функцией арктангенса. При этом учтем, что компьютерные программы и микрокалькуляторы выдают главное значение арктангенса, лежащее в диапазоне $-90° \le \omega \le +90°$, тогда как искомый дирекционный угол α может иметь любое значение в диапазоне:

$0° \le \alpha \le 360°$.

Формула перехода от румба к α зависит от координатной четверти, в которой расположено заданное направление или, другими словами, от знаков разностей $\Delta y = y_2 - y_1$ и $\Delta x = x_2 - x_1$ (см. таблицу 1).

Расстояние между точками вычисляют по формуле

$$d_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \qquad (4)$$

или другим путем – по формулам

$$d_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{\sin\alpha_{1-2}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos\alpha_{1-2}}, \qquad (5)$$

Программами решения прямых и обратных геодезических задач снабжены, в частности, электронные тахеометры, что дает возможность непосредственно в ходе полевых измерений определять координаты наблюдаемых точек, вычислять углы и расстояния для разбивочных работ.

Контрольные вопросы:

1. Ориентирование линий на местности.
2. Прямая геодезическая задача. Найти координату 2 точки по исходным данным.
3. Обратная геодезическая задача. По координатам определить дирекционный угол и расстояние.
4. Как определить магнитный азимут, если известен дирекционный угол?
5. Как определяется истинный азимут на карте?
6. Определить румб дирекционного угла 200º20'?

Тема 4. Задачи, решаемые по картам и планам

4.1. План, карта, цифровая модель местности

Планом называется уменьшенное подобное изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности.

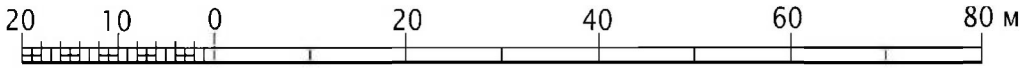
Для составления плана местности расположенные на ней точки проецируют на уровенную поверхность по направлению отвесных линий. Ввиду малости участка отвесные линии оказываются практически параллельными, а фрагмент уровенной поверхности может рассматриваться как плоскость. Полученную проекцию местности уменьшают и изображают на плане. Степень уменьшения характеризуется масштабом плана.

Масштабом называется отношение длины отрезка на плане к длине горизонтальной проекции соответствующего отрезка местности. Масштаб записывают в виде дроби с числителем, равным единице, и знаменателем, показывающим, во сколько раз уменьшены на плане длины линий. При строительстве железных дорог для выбора варианта трассы используют планы масштабов 1:2000 и 1:5000, для рабочего проектирования – 1:1000 и 1:2000, для проектирования мостов, тоннелей, станций – 1:500 ÷ 1:2000.

Наряду с представлением масштаба в виде дроби (численного масштаба) пользуются именованным масштабом – его словесным описанием, например: «в одном сантиметре 20 метров», что соответствует масштабу 1:2000.

Для измерения расстояний на плане, под его нижней рамкой, помещают линейный масштаб (рис. 12), на котором несколько раз отложено одно и то же расстояние, называемое основани-

ем масштаба и равное обычно 2 см. Крайнее левое основание делят на более мелкие отрезки. Деления линейного масштаба оцифровывают в метрах.



1:1000

Рис. 12. Линейный масштаб

Для измерения расстояния на карте его берут на циркуль-измеритель и переносят на помещённый под южной рамкой карты линейный масштаб.

Более точно расстояние измеряют линейкой с миллиметровыми делениями. Отсчёт по линейке, выраженный в сантиметрах, умножают на число метров, указанное в именованном масштабе карты.

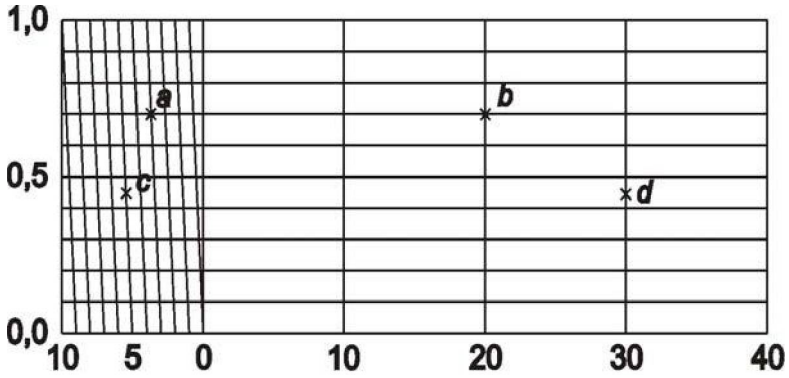


Рис. 13. Поперечный масштаб

Ещё точнее измерения выполняются с применением *поперечного масштаба* (рис. 13.). На металлическом шаблоне через m интервалов выгравированы параллельные линии – горизонтали (обычно $m = 10$). К ним восставлены перпендикуляры – вертикали, расстояние между которыми называют основанием масштаба δ (обычно $\delta = 2$ см). Крайнее левое основание разделено на n частей и через полученные точки проведено n наклонных линий – трансверсалей (обычно $n = 10$). Длины отрезков, параллельных основанию, на поперечном масштабе равны: между соседними вертикалями – δ, между соседними трансверсалями – δ/n. Длины отрезков между вертикалью и исходящей из той же точки трансверсалью изменяются в пределах от 0 до δ/n. Наименьшее деле-

ние поперечного масштаба, определяющее его точность, равно $\delta/(mn)$. Для удобства пользования поперечным масштабом деления основания и горизонтали оцифровывают в соответствии с масштабом плана. Оцифровка на рисунке соответствует масштабу 1:500. Для измерения расстояния берут его в раствор циркуля-измерителя. Правую его ножку ставят на одну из вертикалей поперечного масштаба, а левую – на одну из трансверсалей, но так, чтобы обе ножки оказались на одной и той же горизонтали. Измеренное расстояние равно сумме расстояний, соответствующих числу охваченных раствором циркуля целых оснований, десятых долей основания и сотых, оцениваемых по положению ножки циркуля на трансверсали. На рисунке 13 отрезок *ab* имеет длину 20+3+0,7=23,7 м. Длина отрезка *cd* равна 30+5+0,45=35,45 м. Из второго примера видно, что длину отрезка удаётся измерить с точностью половины наименьшего деления (в данном случае 0,05 м).

Для измерения длин извилистых линий служит специальный прибор - курвиметр, снабжённый колёсиком, которое прокатывают вдоль измеряемой линии. Вращение передаётся на стрелку циферблата, по которому прочитывают измеренное расстояние.

Рис.14. Измерение длины с помощью курвиметра

Картой называют уменьшенное и обобщённое изображение на плоскости всей земной поверхности с учётом кривизны земли.

Для изготовления карты объекты местности проецируют на поверхность земного эллипсоида и полученное изображение переносят на плоскость. Такой перенос невозможно выполнить без искажений. В условиях применения компьютерных технологий, наряду с изображениями местности на бумажных носителях – картами и планами, используются их цифровые аналоги.

Цифровой моделью местности (ЦММ) называется представленное в виде цифровых кодов и хранимое на магнитных носителях логико-математическое описание местности, адекватное по содержанию плану местности. Основным содержанием ЦММ является топографическая информация: координаты и высоты точек, очертания объектов, их свойства. ЦММ содержит и общую информацию – название участка, систему координат и высот и др.

Цифровой картой называют цифровую модель значительного участка земной поверхности, сформированную с учётом генерализации изображаемых объектов и принятой картографической проекции.

Электронной картой называется изображение местности на экране дисплея, полученное на основе цифровой карты.

4.2. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Топографические карты издают на листах со сторонами 40–50 см. В основу разграфки (нарезки) карт положена карта масштаба 1:1000000. Она издается на листах размерами 4° по широте и 6° по долготе. Множество листов такой карты по направлению параллелей образует ряды шириной по 4°, а по направлению меридианов – колонны шириной по 6°.

Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита A, B, C, D, ..., начиная от экватора по направлениям к северу и югу (табл. 2). Колонны нумеруют арабскими цифрами 1, 2, ... , 60, начиная от меридиана 180° в направлении с запада на восток. Каждому листу карты масштаба 1:1000000 присвоен номенклатурный номер, состоящий из буквы соответствующего ряда и номера колонны, например, M-42

Таблица 2

Номенклатура карт М1:1000000

Обозначение ряда	Границы ряда по широте	Обозначение ряда	Границы ряда по широте	Обозначение ряда	Границы ряда по широте
A	0° – 4°	I	32° – 36°	Q	64° – 68°
B	4° – 8°	J	36° – 40°	R	68° – 72°
C	8° – 12°	K	40° – 44°	S	72° – 76°
D	12° – 16°	L	44° – 48°	T	76° – 80°
E	16° – 20°	M	48° – 52°	U	80° – 84°
F	20° – 24°	N	52° – 56°	Y	84° – 88°
G	24° – 28°	O	56° – 60°	Z	88 °– 90°
H	16° – 20°	P	60° – 64°		

Для карт масштаба 1:500000 лист масштаба 1:1000000 меридианом и параллелью делят на 4 листа, обозначая их прописными буквами А, Б, В, Г. Номенклатурные номера листов карты образуют добавлением соответствующей буквы к номенклатурному номеру листа масштаба 1:1000000 (например, М–42–Г).

Для карт масштаба 1:200000 лист масштаба 1:1000000 делят на 36 листов, нумеруя их римскими цифрами I, II, ... , XXXVI.

Для карт масштаба 1:100000, разделив лист масштаба 1:1000000 по широте и долготе на 12 частей, получают границы 144 листов (рис. 15, *а*), которые нумеруют цифрами 1, 2, ... , 144. Номенклатура каждого листа складывается из номенклатуры листа масштаба 1:1000000 и номера листа. На рисунке выделен лист М–37–87.

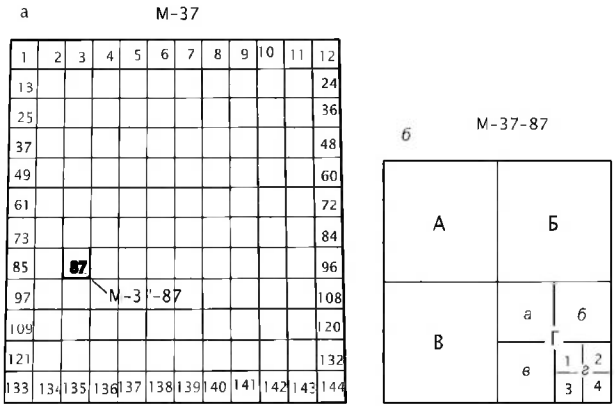


Рис. 15. Разграфка листов карт масштабов:
а – 1:100000;
б – 1:50000, 1:25000, 1:10000.

Разграфка карт масштабов 1:50000, 1:25000 и 1:10000 формируется делением на четыре части листа более мелкого масштаба (соответственно – 1:100000, 1:50000, 1:25000) и добавлением к номенклатуре предыдущего масштаба соответствующего знака, как показано на рис. 15, *б* и в табл. 3.

Таблица 3

Номенклатура карт основных масштабов

Масштаб	Номенклатура (последнего листа карты)	Число листов карты	Размеры листа	
			По Широте	по долготе
1:1000000	М-37	–	4°	6°
1:100000	М-37-144	12×12=144	20′	30′
1:50000	М-37-144-Г	2×2=4	10′	15′
1:25000	М-37-144-Г-*г*	2×2=4	5′	7′30″
1:10000	М-37-144-Г-*г*-4	2×2=4	2′30″	3′45″

4.3. Условные знаки топографических карт и планов

Рамки карты и координатные линии. Листы топографических карт имеют три рамки: внутреннюю, минутную и внешнюю. Внутреннюю рамку образуют отрезки параллелей, ограничивающих площадь карты с севера и юга, и отрезки меридианов, ограничивающих её с запада и востока. Значения широт и долгот на линиях внутренней рамки связаны с номенклатурой карты и написаны в каждом её углу.

Между внутренней и внешней рамками помещена минутная рамка, на которой нанесены деления, соответствующие одной минуте широты (слева и справа) и долготы (наверху и внизу). Точками на рамке отмечены десятки секунд.

Система прямоугольных координат на карте представлена километровой сеткой, образованной проведенными через 1 км координатными линиями x и y. Значения x и y, выраженные в километрах, надписаны на выходах линий за внутреннюю рамку карты.

Планы масштабов 1:5000–1:500 с прямоугольной разграфкой имеют только сетку прямоугольных координат. Ее линии проведены через 10 см.

Условные знаки. На планах и картах объекты местности изображают условными знаками. Условные знаки различают контурные, внемасштабные и линейные.

Контурными условными знаками изображают объекты, форма и размеры которых могут быть переданы в масштабе плана (карты). К ним относятся земельные угодья (леса, сады, пашни, луга), водоёмы, а для более крупных масштабов – здания, сооружения. Очертания объектов (контуры) на плане показывают точечным пунктиром или линиями определённой толщины и цвета. Внутри контура помещают знаки, указывающие характер объекта.

Внемасштабными условными знаками изображают объекты, которые необходимо нанести на план, но невозможно изобразить в масштабе (бензоколонки, колодцы, пункты геодезической сети и др.).

Линейными условными знаками изображают объекты, длина которых выражается в масштабе плана, а ширина не выражается (линии электропередач и связи, трубопроводы, ограды, тропы).

Для отражения характеристик изображаемых объектов многие условные знаки сопровождаются пояснительными подписями. Так, при изображении железной дороги указывают высоту насыпи и глубину выемки, ширину колеи на узкоколейной дороге. При изображении шоссе указывают его ширину и материал покрытия; при изображении линий связи – число проводов и их назначение; при изображении лесов – породу деревьев, среднюю высоту, толщину стволов и расстояние между деревьями.

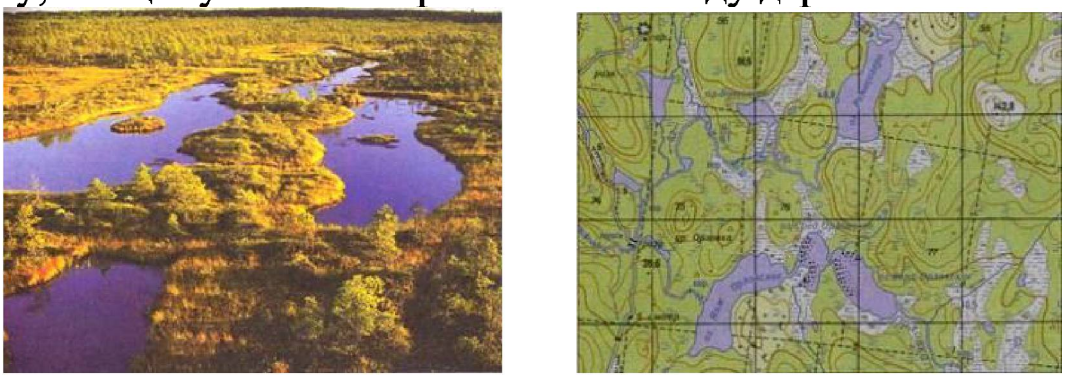


Рис.16. Изображение местности на картах

Изображение рельефа. На картах и планах (рис.16) рельеф изображают с помощью горизонталей, высотных отметок и условных знаков.

Горизонтали – линии сечения земной поверхности равноотстоящими уровенными поверхностями. Иными словами, горизонтали – это линии равных высот. Горизонтали, подобно другим точкам местности, проецируют на уровенную поверхность и наносят на план (рис. 17).

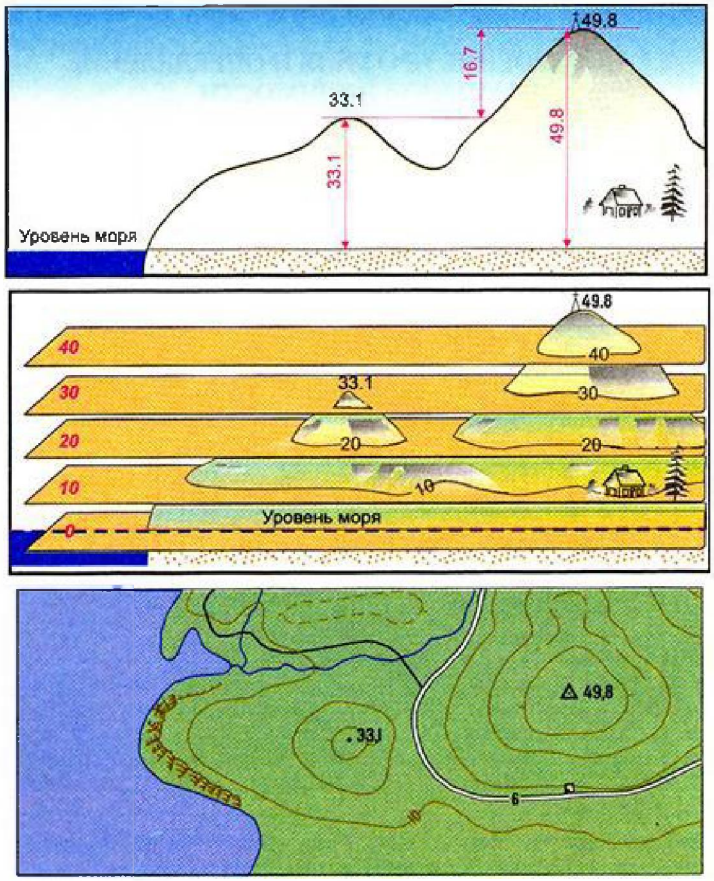


Рис. 17. Изображение поверхности Земли на картах с помощью секущих плоскостей с изображением горизонталей

Разность h высот смежных горизонталей, равная расстоянию между секущими поверхностями, называется *высотой сечения рельефа* (рис. 18). Значение высоты сечения подписывают у нижней рамки плана.

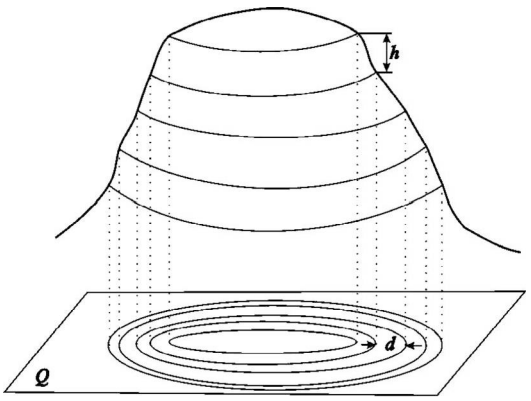


Рис. 18. Горизонтали: *h* – высота сечения рельефа; *d* – заложение

Горизонтальное расстояние между соседними горизонталями называется *заложением*. Минимальным в данном месте является заложение, перпендикулярное к горизонталям, – *заложение ската*. Чем меньше заложение ската, тем круче скат.

Направление ската указывают *бергштрихами* – короткими штрихами у некоторых горизонталей, направленными в сторону спуска. На отдельных горизонталях в их разрывах пишут их высоту так, чтобы верх цифр указывал в сторону подъёма.

Горизонтали с круглыми значениями высот делают утолщёнными, а для отражения деталей рельефа используют *полугоризонтали* – штриховые линии, соответствующие половине высоты сечения рельефа, а также *вспомогательные горизонтали* с короткими штрихами, проводимые на произвольной высоте.

Изображение рельефа горизонталями дополняется вписыванием на план отметок высот около характерных точек рельефа и специальными условными знаками, изображающими обрывы, скалы, овраги и т. п.

Основными формами рельефа являются гора, котловина, хребет, лощина и седловина (рис. 19).

Гора (возвышенность, холм, курган, сопка) изображается замкнутыми горизонталями с бергштрихами, обращёнными наружу (рис. 19, *а*). Характерными точками горы являются её вершина и точки у подошвы.

Котловина (впадина) тоже изображается замкнутыми горизонталями, но с бергштрихами, обращёнными внутрь (рис. 19, *б*). Характерными точками котловины являются точки на её дне и вдоль бровки.

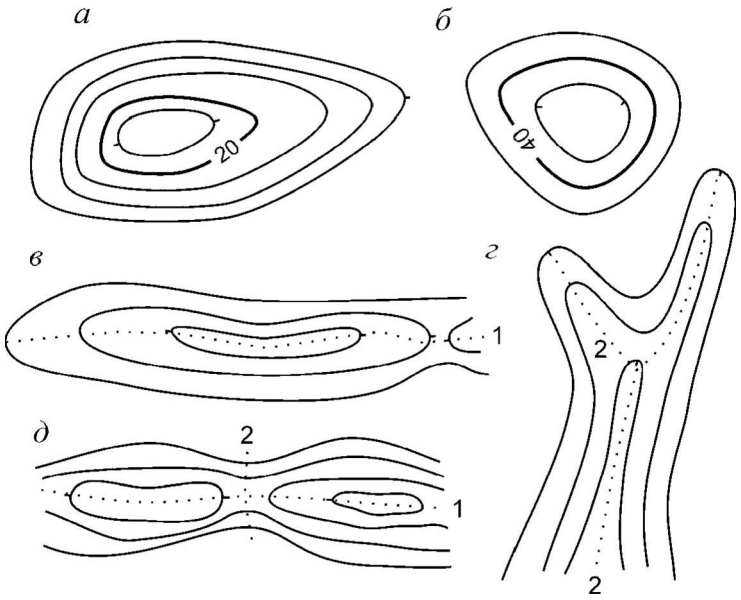


Рис. 19. Основные формы рельефа:
а – гора; *б* – котловина; *в* – хребет; *г* – лощина; *д* – седловина;
1 – водораздельная линия; 2 – водосливная линия.

Хребет – вытянутая возвышенность. Изображается огибающими гребень хребта и идущими по его скатам вытянутыми горизонталями (рис. 19 *в*). Бергштрихи, как и у горы, обращены наружу. Характерной линией хребта является проходящая вдоль его гребня *водораздельная линия*.

Лощина (долина, ущелье, овраг, балка) – вытянутое в одном направлении углубление. Изображается вытянутыми, горизонталями с бергштрихами, обращёнными внутрь (рис. 19 *г*). Характерной линией лощины является *водосливная линия* (тальвег) – линия, по которой сбегает вода.

Седловина (перевал) – понижение между двумя возвышенностями (рис. 19, *д*). По обе стороны к седловине примыкают лощины. Седловина – это место пересечения водораздельной и водосливной линий.

4.4 Свойства горизонталей

Определение высот точек. Высота точки, лежащей на горизонтали, равна высоте горизонтали. Высоты отдельных горизонталей подписаны в их разрыве. Высоты других горизонталей легко сообразить, зная высоту сечения рельефа, а также высоты под-

писанных горизонталей и высоты тех характерных точек рельефа, у которых подписаны их отметки. При этом учитывают, что высоты горизонталей кратны высоте сечения рельефа.

Высота точки М, расположенной между двумя горизонталями (рис. 20) определяется по формуле

$$H_M = H_г + h\frac{b}{a}, \qquad (6)$$

где $H_г$ – высота меньшей горизонтали, h – высота сечения рельефа, а отрезки a и b – заложение ската и расстояние от точки до горизонтали, измеряемые по карте линеечкой.

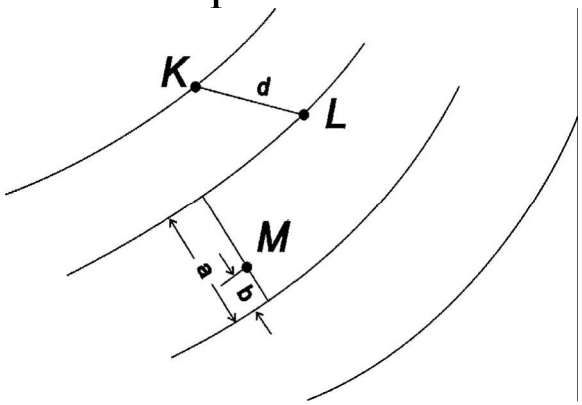


Рис. 20. Определение высоты точки *M*

Определение уклонов и углов наклона. Отрезки линий на земной поверхности обычно имеют наклон, отчего начало и конец отрезка находятся на разных высотах. Разность их высот – превышение, а проекция отрезка на горизонтальную плоскость – его горизонтальное проложение.

Уклоном i линии называется отношение превышения h к горизонтальному проложению d:

$$i = h / d. \qquad (7)$$

Для определения по карте уклона линии на участке *KL* между двумя горизонталями (рис. 21) измеряют его горизонтальное проложение – заложение d. Поскольку концы отрезка лежат на смежных горизонталях, превышение h между ними равно высоте сечения рельефа, подписанному под южной рамкой карты. Воспользовавшись формулой (7), вычисляют уклон, который принято выражать в тысячных.

Например, h=1 м, d=35 м , то уклон равен i =1 м / 35м = 0,029=29‰.

С другой стороны, отношение превышения h к горизонтальному проложению d равно тангенсу угла ν наклона линии. Поэтому

$$i = \operatorname{tg} \nu,$$

что позволяет, вычислив уклон определить по нему угол наклона.

При пользовании картой углы наклона не вычисляют, а определяют с помощью графика заложений (рис. 21), расположенного под южной рамкой карты. По горизонтальной оси графика отложены углы наклона, а по вертикальной – соответствующие этим углам заложения d, выраженные в масштабе карты и рассчитанные по формуле

$$d = h/(M \operatorname{tg} \nu), \qquad (8)$$

где h - высота сечения рельефа

M – знаменатель масштаба карты.

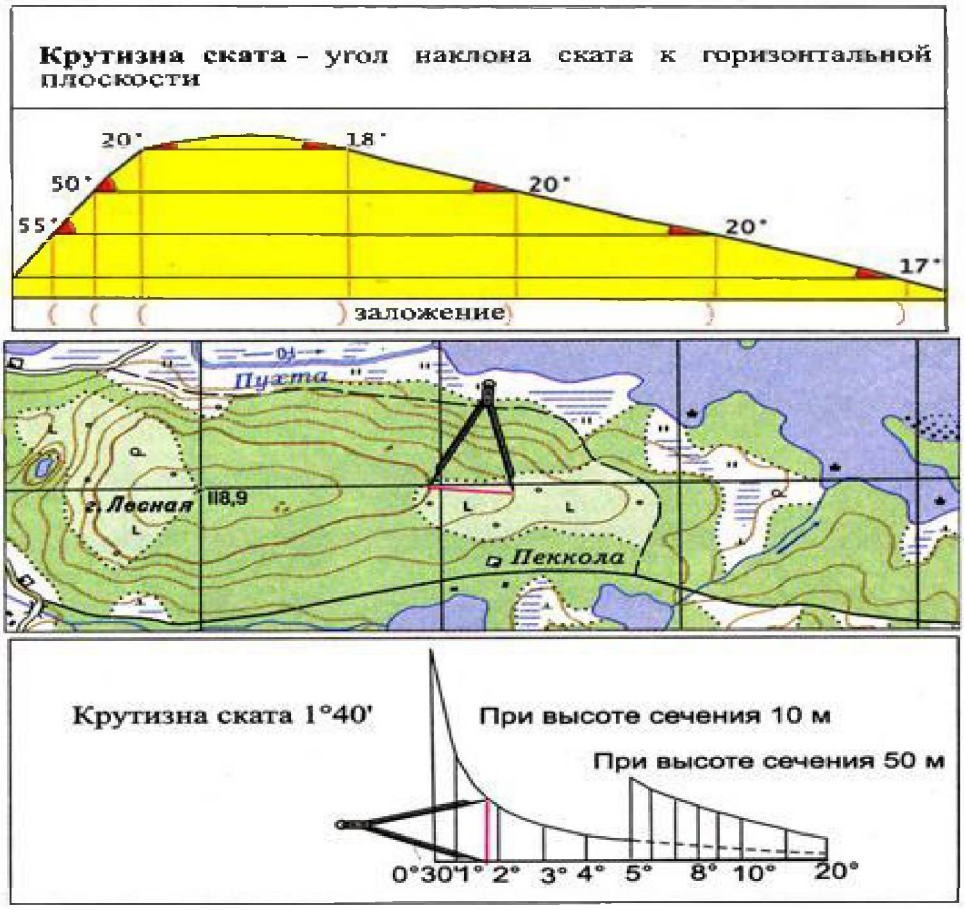


Рис. 21. Измерение уклона при помощи графика заложений

У строителей часто возникает задача проведение линии с уклоном, не превышающим предельного значения. Необходимость решения такой задачи возникает, например, при выборе трассы для будущей дороги. Вычисляют соответствующее заданному предельному уклону $i_{пр}$ заложение, выраженное в масштабе карты,

$$d = \frac{h}{M \cdot i_{пр}}$$

где M – знаменатель масштаба .

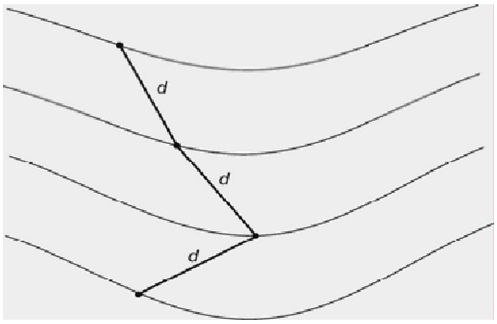


Рис. 22. Построение линии с заданным уклоном

Чтобы уклон линии не превосходил $i_{пр}$, ни одно заложение на ней не должно быть меньше, чем рассчитанное d. Если расстояние между горизонталями больше рассчитанного, направление линии можно выбирать произвольно. В противном случае в раствор циркуля берут отрезок, равный d, и строят ломаную линию, умещая между горизонталями рассчитанное предельное заложение (рис. 22).

Построение профиля. Для построения профиля по линии, проведенной на карте, определяют высоты точек в местах её пересечения с горизонталями, водораздельными и водосливными линиями. Измеряют горизонтальные расстояния до них от начальной точки линии. При построении профиля по горизонтальной оси откладывают расстояния, а по вертикальной – высоты. Для наглядности вертикальный масштаб принимают крупнее горизонтального (в 10, а то и в 50 раз).

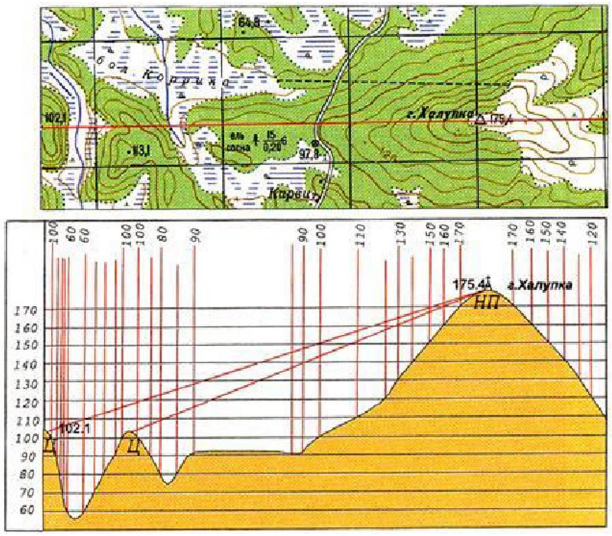


Рис.23.Построение профиля местности

Определение границ водосборной площади (бассейна). Водосборной называют площадь, с которой дождевые и талые воды поступают в данное русло. Определение водосборной площади необходимо, например, при проектировании дороги для расчёта отверстия моста или трубы.

Для определения границ водосборной площади на карте проводят водораздельные линии, а затем от проектируемого сооружения к водораздельным линиям проводят линии наибольшего ската, перпендикулярные горизонталям.

Например, водосборная площадь, для точки *P*, где предстоит строительство трубы, (рис. 24), ограничена штриховой линией, образованной водораздельной и двумя линиями наибольшего ската.

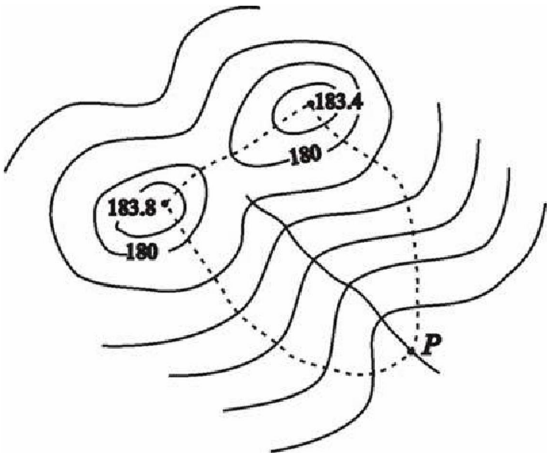


Рис.24. Определение границ водосборной площади

4.5. Методы определения площадей по картам и планам

Аналитический. Если участок представляет собой замкнутый многоугольник (рис 25), то, сняв с плана прямоугольные координаты его вершин, площадь участка вычисляют по формуле:

$$S = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{i=n} x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{i=n} y_i(x_{i-1} - x_{i+1}) , \qquad (9)$$

где i - номера вершин многоугольника, пронумерованных по ходу часовой стрелки.

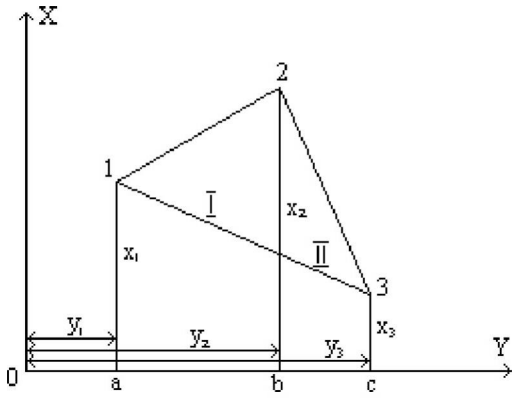


Рис. 25. Определение площади по координатам

По формуле (9) можно вычислить площадь с криволинейными границами, если координаты точек границы сняты так часто, что отрезки между точками можно считать прямыми. В последнем случае съём координат выполняют с помощью специального прибора – дигитайзера, а вычисления выполняют на ЭВМ.

Графический Участок на плане разбивают на простые геометрические фигуры обычно – треугольники, (рис.26), элементы которых измеряют с помощью измерителя и поперечного масштаба, а площади вычисляют по известным формулам и суммируют.

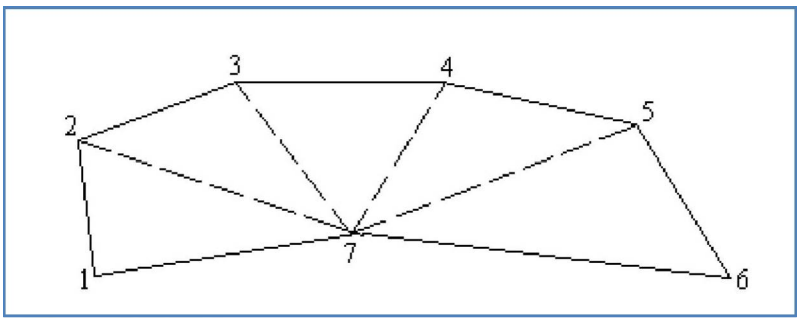


Рис.26.Определение площади полигона

Разбиение площади на простые фигуры выполняют также, применяя палетки. Палетка – лист прозрачного материала (восковки, лавсана, пластика), на который нанесена сетка квадратов размером 2?2 мм или система равноотстоящих параллельных линий. Наложив палетку с квадратами на план, подсчитывают число квадратов, уместившихся в измеряемой площади, оценивая дробные части квадратов на краях участка на глаз. Результат подсчёта умножают на площадь одного квадрата.

Палеткой с параллельными линиями площадь делится на трапеции, в каждой из которых измеряют длину средней линии. Суммируя площади трапеций, равные произведению длины средней линии на расстояние между линиями, определяют площадь участка (рис.27).Точность определения площади с помощью палеток - 1/50.

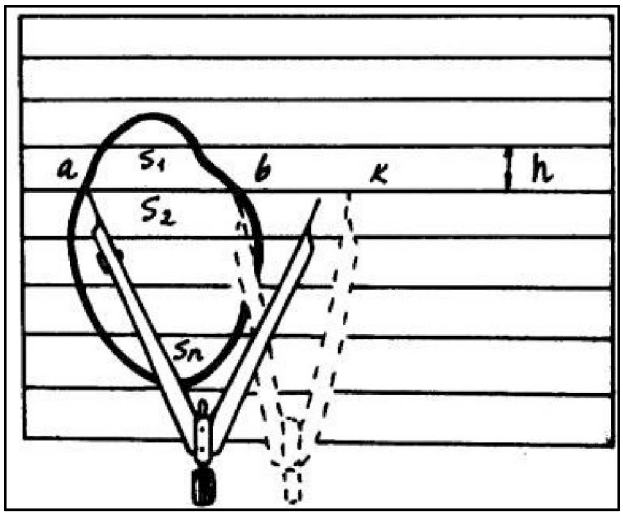


Рис.27 Определение площади с помощью палетки

Механический способ, при помощи полярного планиметра. Планиметрами называются приборы для измерения площадей. Наиболее распространён полярный планиметр (рис. 28). Он состоит из двух рычагов – полюсного 1 и обводного 4, соединяемых шарниром 8. Полюс планиметра (массивный цилиндр 2 с иглой, втыкаемой в бумагу) в процессе измерения площади остается неподвижным. На конце длинного плеча обводного рычага укреплен шпиль 3 (или лупа с маркой в виде креста в ее центре), которым обводят контур измеряемой площади. На коротком плече обводного рычага крепится каретка с мерным колесиком 6, опи-

рающимся на поверхность бумаги, и счетным механизмом. Когда обводной шпиль 3 (или марка) перемещается по линии контура перпендикулярно рычагу, мерное колесико 6 катится по бумаге. При перемещении обводного шпиля по направлению рычага колесико скользит по бумаге, не вращаясь. При перемещении шпиля в иных направлениях происходит и вращение, и скольжение. Суммарное число оборотов колесика, накопленное при обводке шпилем контура, пропорционально площади, ограниченной контуром.

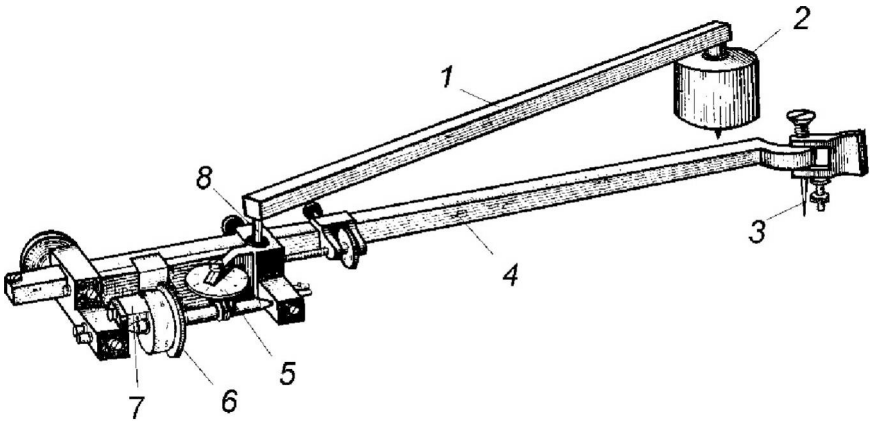


Рис. 28. Полярный планиметр

Для подсчета числа оборотов вращение колесика передается на циферблат 5. По ободу колесика нанесено 10 делений. Отсчеты по шкале обода берут с помощью верньера 7. Отсчет по планиметру (рис. 29) состоит из отсчета числа целых оборотов колесика по циферблату (на рисунке – цифра 6), отсчета десятых и сотых долей оборота – по шкале обода против нуля верньера (цифры 4 и 2) и тысячных долей оборота – по номеру штриха верньера, совпадающего со штрихом на шкале обода (цифра 2).

Для измерения площади, обводят её контур, делая при этом два отсчёта по планиметру: один n_1 – до обвода, другой n_2 – после. Площадь вычисляют по формуле

$$S = c \cdot (n_2 - n_1), \qquad (10)$$

где c – цена деления планиметра. Для надёжности площадь измеряют 3 – 5 раз получая среднее значение.

Если во время измерений полюс планиметра располагался внутри измеряемой площади, то вместо формулы (10) используют формулу 11.

$$S = c \cdot (n_2 - n_1 + Q), \qquad (11)$$

где Q - постоянная планиметра.

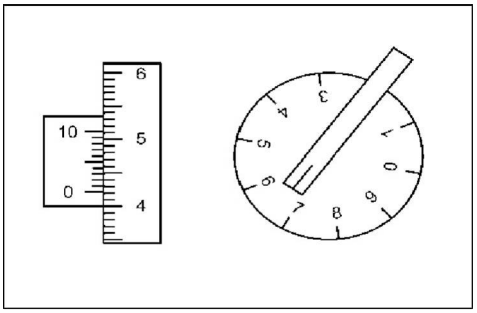


Рис. 29. Отсчет по планиметру: 6422.

Цена деления планиметра c зависит от длины обводного рычага и регулируется перемещением по нему каретки с мерным колёсиком и счётным механизмом. Перед измерением площади цену деления планиметра определяют. При этом, расположив полюс в стороне, обводят фигуру, площадь S_o которой известна (например, квадрат километровой сетки на карте) и вычисляют цену деления

$$c = S_o / (n_2 - n_1). \qquad (12)$$

Для определения постоянной Q обводят фигуру с известной площадью, поместив полюс внутри этой площади, после чего вычисляют

$$Q = (S_o / c) - (n_2 - n_1). \qquad (13)$$

Точность определения площади планиметром – 1/300.

Электронные планиметры. Электронный полярный планиметр устроен подобно механическому, но имеет электронное счетное устройство и жидкокристаллический дисплей.

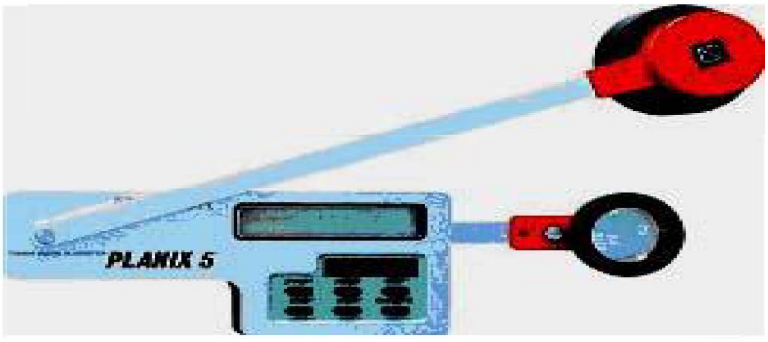


Рис. 30. Электронный планиметр

Поворотная штанга с курсором, перемещаемым по контуру площади, измеряет смещения в поперечном направлении. Счетное устройство вычисляет площадь и высвечивает ее величину на дисплее.

Контрольные вопросы

1. Дать определение понятий плана и карты.
2. Как изменяется масштаб в пределах карты и плана?
3. Как определить магнитный азимут, если известен дирекционный угол?
4. Что называется истинным меридианом?
5. Изобразить горизонталями следующие формы рельефа: хребет, лощина, котловина, гора, седловина.
6. Что называется абсолютной отметкой точки? Относительной отметкой? Условной отметкой?
7. Что означает линия водораздела и водостока?
8. Как определить отметку точки, расположенной между горизонталями?
9. Что значит интерполировать горизонтали?
10. Что такое превышение и высота сечения рельефа?
11. Что называется горизонталью?

Раздел 2. Геодезические измерения

Тема 5. Геодезические измерения.

5.1. Процессы производства геодезических работ

Геодезические работы разделяют на полевые и камеральные. Полевые работы составляют измерительные процессы, а камеральный — вычислительный и графический процессы.

Измерительные процессы заключаются в производстве измерений на местности для получения топографических карт и их электронных аналогов, планов и цифровых моделей местности, для трассирования дорог, получения продольных и поперечных профилей, при геодезическом сопровождении строительных процессов и для решения других специальных задач в ходе изысканий. Непосредственными объектами геодезических измерений являются: углы — горизонтальные и вертикальные и расстояния — наклонные, горизонтальные и вертикальные. Для производст-

ва этих измерений используют разнообразные геодезические приборы: для измерения длин линий; угломерные приборы; приборы для дистанционного сбора информации о местности.
Результаты полевых геодезических измерений заносят в специальные полевые журналы или фиксируют на магнитных носителях в электронном виде.

Вычислительный процесс заключается в математической обработке результатов полевых измерений. Геодезические вычисления производят по определенным схемам и программам. Рационально составленные расчетные схемы и программы позволяют вести вычисления в строгой последовательности, быстро находить искомые результаты и систематически осуществлять контроль правильности вычислений.
Графический процесс заключается в составлении чертежа в соответствующем масштабе и с условными обозначениями.

5.2. Понятия о погрешностях измеренных величин и характеристики точности измерений.

Любые геодезические измерения выполняются при наличии и взаимодействии пяти необходимых факторов: объекта измерения, исполнителя прибора, метода измерений и внешних факторов среды. Все погрешности измерений можно разделить на три группы: грубых, систематических и случайных погрешностей.

Грубые погрешности – это промахи и просчёты вычислений, которые получили в результате описки, невнимательности наблюдателя, или неисправности прибора.

Систематические погрешности — которые возникают в результате определенных атмосферных показателей, на протяжении съёмочных работ, а так же личных качеств наблюдателя, или при выполнении определенных методик измерений Такие погрешности легко удаляются из выполненных измерений методом самопоглощения из за разности знаков (+ и -).Или сводятся к минимуму применением определенных методик измерений или введением поправок, а также при выполнении постоянных поверок инструментов.

Случайные погрешности — это погрешности несовершенства, из общих измерений их нельзя исключить как по знаку, так и

свести к минимуму. В данных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не превышают определённого предела. Положительные и отрицательные случайные погрешности равновозможны. Малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем больше.

Виды погрешностей измерений, их классификация измерения в геодезии рассматриваются с двух точек зрения: количественной и качественной, выражающей числовое значение измеренной величины, и качественной — характер её точность. Из практики известно, что даже при самой тщательной и аккуратной работе многократные измерения не дают одинаковых результатов.

Если обозначить истинное значение измеряемой величины – X а результат измерения – l от истинная ошибка измерения – Δ определиться из выражения $\Delta = l - X$

Средняя квадратическая ошибка одного измерения. Для оценки точности измерений можно применять разные критерии; в геодезии таким критерием является средняя квадратическая ошибка. Это понятие было введено Гауссом; он же разработал основные положения теории ошибок. Средняя квадратическая ошибка одного измерения обозначается буквой m и вычисляется по формуле Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta\square_n^2}{n}}, \qquad (14)$$

где n – число измерений.

Результаты геодезических измерений. Под результатом геодезического измерения подразумевается конечный результат, который получается в процессе всех произведённых измерений и вычислений. Например, конечным результатом может быть высота точки, её плановые координаты, площадь участка и т.п. Результаты геодезических измерений в своей группе могут быть *равноточными и неравноточными*. Если измерения выполнены прибором одного и того же класса точности, по одной и той же методике (программе), в одинаковых внешних условиях, одним и тем же наблюдателем (либо наблюдателями одной квалификации), то такие измерения относят к *равноточным.* При несоблю-

дении хотя бы одного из перечисленных выше условий результаты измерений классифицируют как *неравноточные.*

Примером равноточных измерений могут являться результаты измерений длины одной и той же линии либо линий, полученные при неизменных условиях внешней среды, одним и тем же измерительным средством (прибором), одними и теми же исполнителями работ, по общей для всех результатов измерений программе. Если в процессе измерений длины линии, например, светодальномером, изменится температура окружающего воздуха, влажность, давление, то это может привести к получению части неравноточных результатов в общей группе результатов измерений, поскольку при изменении внешних условий может произойти и изменение характеристик измерительного прибора, характеристик прохождения светового луча в атмосфере.

Число измеренных величин и число измерений может быть *необходимым и избыточным.*

При измерении, например, углов в треугольнике число необходимых измеренных величин равно двум, в семиугольнике – шести. Значение третьего (седьмого) угла можно вычислить по сумме двух (шести) измеренных углов. Если необходимо решить плоский треугольник, то дополнительно к измеренным двум углам обязательным является знание длины, хотя бы одной из его сторон, в связи, с чем число необходимых измеренных величин должно быть равно трём (одно измерение – линейное, два – угловые). Та же задача решается и при выполнении двух линейных измерений и одного угла, заключённого между измеренными сторонами треугольника. Таким образом, числом необходимых измеренных величин является минимально необходимое их число, при котором обеспечивается решение поставленной задачи. Число же измеренных величин, превышающих число необходимых, называется *числом избыточных величин.* В геодезии, в маркшейдерии принято, но и не только принято, а является обязательным, получать и избыточные величины, что обеспечивает обнаружение грубых погрешностей и промахов, позволяет повысить точность результатов измерений. Поэтому в треугольнике, например, обязательно измеряют все три угла и сравнивают полученную сумму углов с теоретической. Если сформулировать задачу с точки обеспечения заданной точности измерений, то не-

обходимое число измерений должно обеспечивать заданную точность измерения одной величины или самого результата измерений. Так, в том же треугольнике, каждый из его углов может быть измерен несколько раз. Все избыточные измерения повышают надёжность результатов, а также их точность, но в то же время и увеличивают объём работ, и часто прирост увеличения точности становится экономически нецелесообразным из-за большого числа измерений. Иногда говорят, что числом необходимых измерений, например, горизонтального угла, является одно измерение, остальные – избыточные. Это не всегда так, поскольку, одно измерение не позволяет производить оценку точности и может содержать неконтролируемую грубую погрешность (промах).

Контрольные вопросы

1. Перечислить основные этапы геодезических работ.
2. Случайные и систематические погрешности, их влияние на геодезические измерения.
3. В геодезических измерениях, какое количество измерений можно считать достаточным избыточным
4. Для качества измерений, какие используются характеристики.

Тема 6. Угловые и линейные измерения

6.1. Принцип измерения горизонтальных углов

Пусть на местности имеются три точки – А, В, С, расположенные на разных высотах (рис. 38). Действительный угол при вершине В будет образован направлениями ВА и ВС. Но при решении многих инженерных задач, в том числе построении карт, надо знать не реальный наклонный угол АВС, а его проекцию на горизонтальную плоскость, т.е. угол авс.

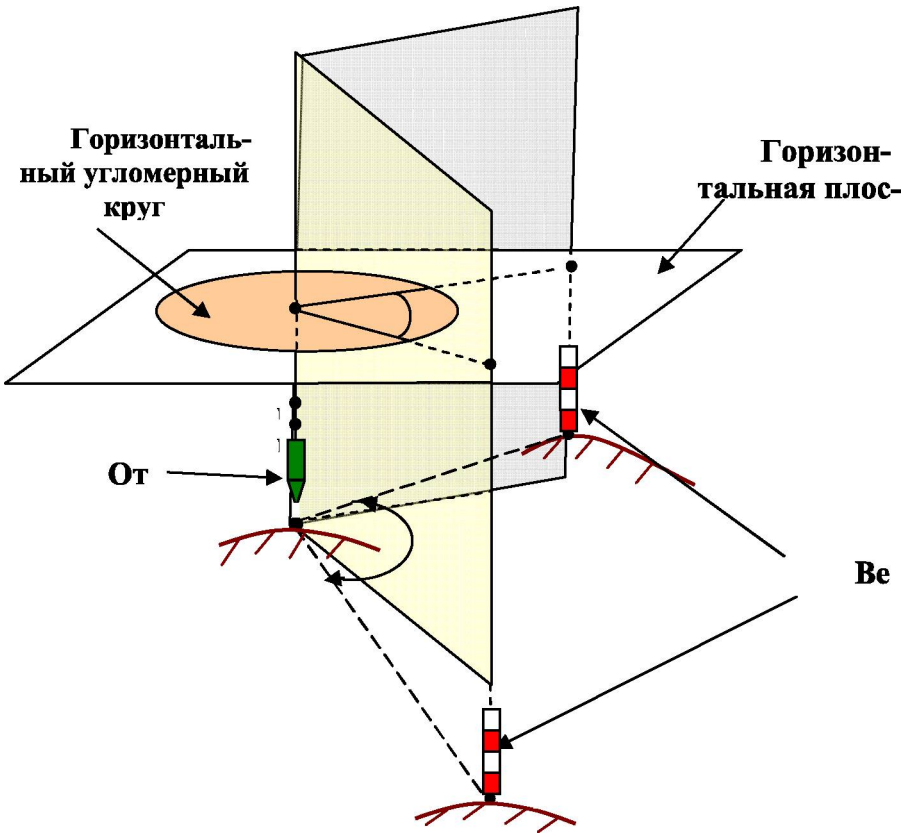


Рис. 38 Измерение горизонтальных углов

Горизонтальным углом называется угол, лежащий в горизонтальной плоскости и выражающий величину двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проходящими через отвесную линию в вершине угла В и через две отвесные линии в заданных точках визирования - А и С.

При этом безразлично, в какой точке горизонтальная плоскость пересечёт отвесную линию – в точке $в$, l или d , величина горизонтального угла β при этом не изменится.

6.2. Измерение углов наклона линий

Угол наклона (ν) - угол, отсчитываемый от горизонтальной плоскости проходящей через центр лимба вертикального угломерного круга до направления линии визирования. Углы наклона бывают положительные ($+\nu$), отрицательные ($-\nu$), могут изменяться от 0° до 90° (рис. 39).

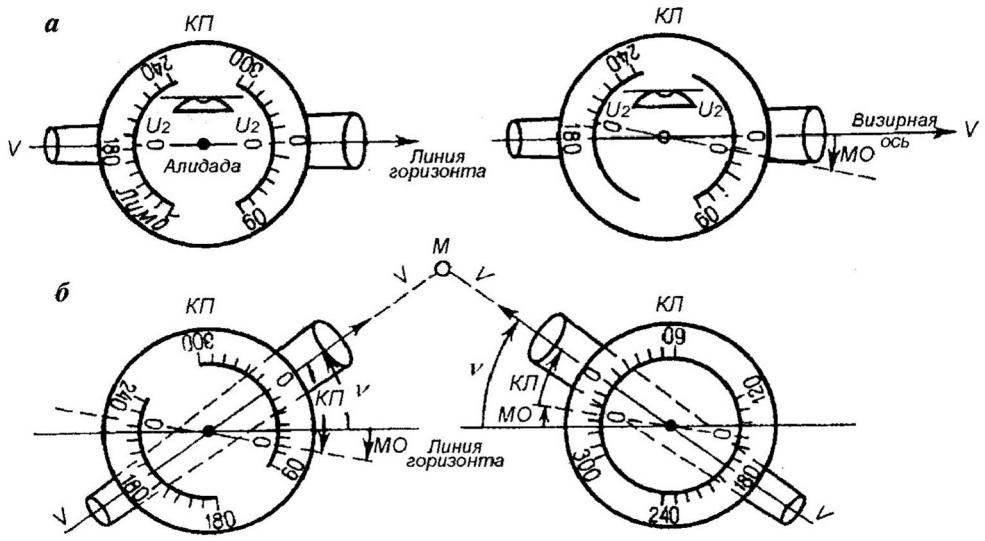


Рис. 39. Измерение вертикальных углов

В оптических теодолитах 2Т30М определяют МО:

$$\text{МО} = \frac{(\text{КЛ} + \text{КП} + 180°)}{2}, \tag{14}$$

$$\nu = \text{КЛ} - \text{МО}, \tag{15}$$

$$\nu = \text{МО} - (\text{КП} + 180°), \tag{16}$$

$$\nu = \frac{\text{КЛ} - (\text{КП} + 180°)}{2}. \tag{17}$$

При значениях КП и КЛ меньшим 90°, прибавить 360°.

6.3. Теодолит

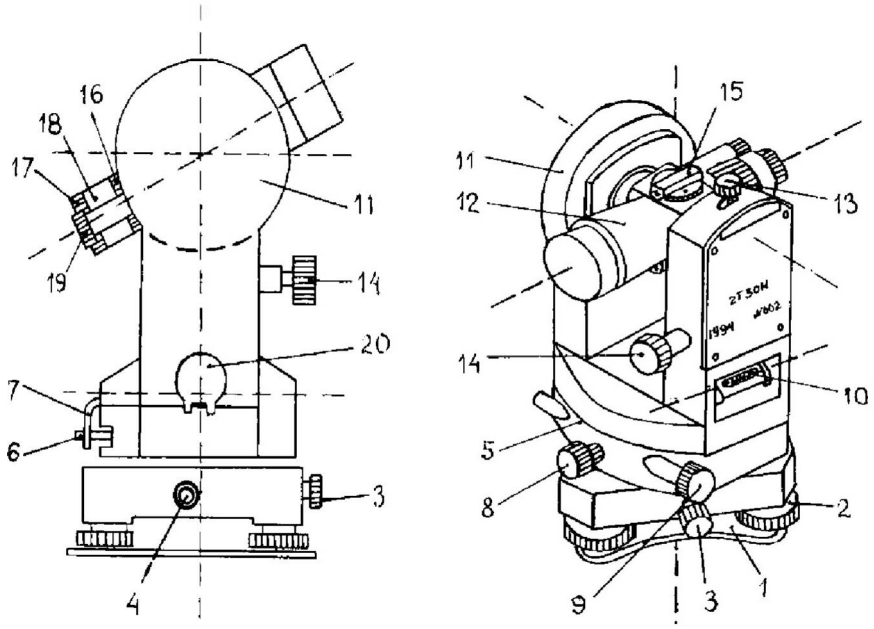
Теодолит предназначен для измерения вертикальных и горизонтальных углов, для измерения расстояний и определения магнитных азимутов по буссоли. В соответствии с ГОСТом 10529-86 теодолиты по точности измерения в разделяются на:

- высокоточные (Т-1)
- точные (Т-2,Т-5)
- технические (Т-15, Т-30)

(цифры – это средняя квадратичная ошибка измерения углов).

Устройство теодолита

Общий внешний вид теодолита показан на рисунке 40:



1. трегер (нижняя часть теодолита)
2. подъемные винты
3. закрепительный винт трегера
4. предохранительная пружина
5. горизонтальный круг состоящий из лимба и алидады
6. закрепительный рычаг алидады (отсчёт не меняется)
7. открепительный рычаг алидады
8. закрепительный винт горизонтального круга
9. наводящий винт горизонтального круга
10. цилиндрический уровень
11. вертикальный круг
12. зрительная труба
13. закрепительный винт трубы
14. наводящий винт трубы
15. визир
16. кремальера
17. диоптрическое кольцо трубы (окуляра)
18. предохранительный кожух исправительных винтов сетки нитей
19. окуляр микроскопа
20. зеркало

Рис.40.Внешний вид теодолита

Подготовка теодолита к работе

Сначала устанавливается и регулируется штатив. Верхняя часть штатива (головка) должна быть горизонтальна плоскости, на которой располагается, а высота соответствовала росту наблюдателя. После того как был установлен штатив закрепляет-

ся теодолит (в футляре) с помощью станового винта. На крючок станового винта подвешивается нитяной отвес. Длина нити отвеса регулируется перемещением планки вдоль нити. Отклонение острия отвеса от точки местности не должно превышать 1-3 мм. Затем цилиндрический уровень при алидаде приводится в положение параллельное двум подъемным винтам и при их одновременном вращение (во внутрь или наружу) устанавливается уровень (пузырек в середине ампулы). После чего алидада разворачивается на 90° и опять устанавливается уровень, вращая третий винт. Такая операция проводится до тех пор, пока при любом положение алидады пузырек уровня не будет отклонятся больше чем на одно деление.

Поверки теодолита

Поверка цилиндрического уровня алидады горизонтального круга.

Формулировка поверки :ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита.

Последовательность выполнение поверки: цилиндрический уровень располагают между двумя подъёмными винтами, и вращают эти винты в противоположном направлении и выводят пузырек уровня на середину. После алидаду поворачивают на 90° и третьим подъемным винтом пузырек уровня выводят на середину. Затем повернув алидаду на 180°. Если смещение пузырька превышает одно деление, то половина смещения исправляется с помощью исправительных винтов уровня. А вторая половина с помощью вращения подъемного винта. Если отклонение пузырька не более чем 1, 2 деления, то прибор готов к работе.

Поверка коллимационной ошибки.

Формулировка поверки: визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы.

Последовательность выполнение поверки: При двух положениях теодолита «круг слева», «круг справа» наводят на визирную цель, удаленную не менее чем на 50 метров, и с горизонтального лимба снимается показание Л, П. После того как

все отсчеты сняты производится расчет по формуле:

$$c = \frac{(КЛ - КП \pm 180°)}{2}. \quad (18)$$

Если коллимационная ошибка превышает двойной точности отсчетного приспособление теодолита (для теодолита 2Т-30 с=1'), то производится юстировка (исправление).

Поверка Место нуля

Формулировка: Визирная ось в горизонтальном положении должна быть близкой к 0

Производство поверки: При двух положениях круга КЛ и КП наводят на визирную цель и берут отсчёт по вертикальному кругу. Отклонение визирной оси от горизонта называют «место нуля» (МО) и вычисляют по формуле (14).

Поверка положения сетки нитей.

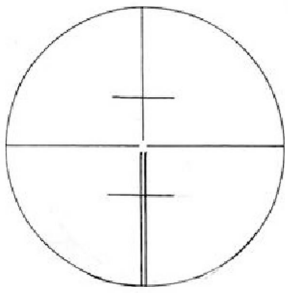


Рис. 41. Поле зрения сетки нитей

На хорошо видимую точку наводится зрительная труба. Изображение цели должно оказаться совмещенным с концом вертикальной нити сетки. Затем зрительная труба вращается вокруг своей оси. Если точка будет перемещаться вдоль нити, то сетка установлена правильно. Если изображение точки будет отклоняться от сетки нити (рис. 41), то оправу сетки нитей необходимо поправить. Для исправления необходимо вначале ослабить винты, которые закрепляют сетку нитей с корпусом трубы, а потом, поворачивая их привести сетки нитей в нужное положение.

6.3.1. Угловые измерения

Измерение горизонтальных углов. Способ приемов.

Теодолит устанавливается в рабочем положении. Затем на выбранные точки (А и В) наводится при двух положениях круга

КЛ и КП. Отчеты по горизонтальному кругу записывают в журнал установленной формы (табл.4).

Таблица 4

Журнал измерения углов способом приемов

Дата: 03марта 2013 года Наблюдал: Семёнов А.

Теодолит: 2Т30М № 1247 Записывал: Жуков И.

Погода: ясная

номера точек		кр уг	Отчет	углы из полуприемов	угол средний
стояния	визирования				
С	А	КЛ	119°37'30″	32°56'30	32°56'45″
	В	КЛ	152°34'00″		
	А	КП	299°35'00″	32°55'00″	
	В	КП	332°30'00″		

Последовательность выполнения измерений.

Начинают всегда измерения с положения КЛ. Наводят на точку (А) и берут отсчёт по шкале горизонтального круга. После закрепительный винт алидады открепляют, и по ходу часовой стрелки зрительная труба наводится на вторую точку (В) и производят отсчет. Все выше выполненные действия составляют первый полуприем измерений горизонтального угла, величина которого вычисляется разностью отчетов. Затем выполняется второй полуприем измерений угла. Труба переводится через зенит и наводится на точки А и В при положении КП, и снимают отсчеты. На этом второй полуприем заканчивается. Если между вычисленными значениями угла при каждом полуприеме расхождения не превышают удвоенной точности отчетного микроскопа, то окончательное значение угла вычисляют как среднее арифметическое. Если расхождения превышают более чем 2t, то измерение угла придется повторить после проверки устойчивости штатива и закрепления теодолита в подставки и на штативе.

Измерения углов наклона

Измерение углов наклона происходит при помощи вертикального круга. Измерения угла происходит как правило при

двух положениях трубы КЛ и КП (рис.39). Отсчеты снимаются после наведения горизонтальной нити сетки зрительной трубы на нужную цель с вертикального круга. Угол наклона вычисляется по одной из формул:(15-17). Измерения заносят в полевой журнал пример записи приведен в табл.5.

Таблица 5

Журнал измерения углов наклона

Точки		Отсчеты по вертикальному кругу		Место нуля МО	Угол наклона ν
стояния	визирования	КЛ ° ′ ″	КП ° ′ ″	′ ″	° ′ ″
1	Лесной	9° 27′ 00″	170° 34′ 00″	0′ 30″	9° 26′ 30″

6.4. Линейные измерения

При помощи сетки нитей теодолита можно измерять расстояние до рейки.

Для этого имеются горизонтальные штрихи в поле зрения зрительной трубы, они называются дальномерные нити. При наведение на рейку, берут отсчёт между дальномерными нитями верхней (В) ,средней(С) и нижней(Н).и умножив на коэффициент 100 или 200 определяют длину по формуле19.

$$S = (\text{Н} - \text{В})\times 100 = (\text{С} - \text{В})\times 200 = (\text{Н} - \text{С})\times 200 \qquad (19)$$

Рис.43.Определение расстояния с помощью нитяного дальномера теодолита

Отсчет по верхней нити **В** =1210 мм
Отсчет по средней нити **С** = 1260мм
Отсчет по нижней нити **Н** = 1310мм

Расстояние S = .(1310-1210)×100 = 10 м

S = (1260-1210)×200 = 10м

Для измерения длин линий в теодолитных ходах используют мерные ленты и рулетки. Они обеспечивают точность измерений. В заданном диапазоне. $\left(\frac{1}{1000} \div \frac{1}{3000}\right)$.

Мерные ленты типа ЛЗ 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) шпилек.

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 (64% железа, 35,5% никеля и 0,5% различных примесей), имеющего малый коэффициент линейного расширения.

Компарирование ленты

Перед работой ленту *компарируют,* т.е. устанавливают ее действительную длину. При измерениях с обычной точностью $\left(\frac{1}{1000} \div \frac{1}{3000}\right)$ производится сравнение рабочей ленты с эталонной лентой, длина которой определена в лаборатории. Зная отличие длины рабочей ленты от номинала $\Delta\ell$, вводят поправку за компарирование:

$$\Delta D_K = n\Delta\ell, \qquad (20)$$

где n - число отложений ленты $\left(n = \frac{D}{\ell}\right)$.

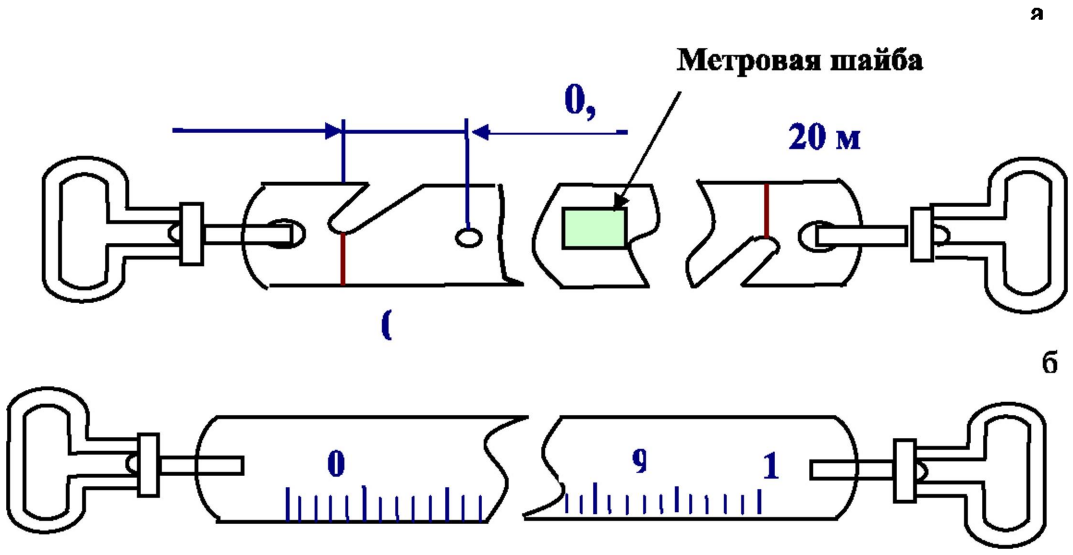


Рис. 44. Мерные ленты: а) штриховая лента; б) шкаловая лента

Параллактический метод измерений расстояний – это косвенный метод определения расстояния, он используется ,если препятствие (река, обрыв, здание) делает расстояние недоступным для измерения лентой, то его измеряют косвенным методом.

Так, для определения недоступного расстояния d измеряют лентой длину базиса b и углы α и β рис. 45. Из ΔABC находят

$$d = b \sin \alpha / \sin (\alpha + \beta), \qquad (21)$$

где учтено, что $\sin \gamma = \sin (180° - \alpha - \beta) = \sin (\alpha + \beta)$.

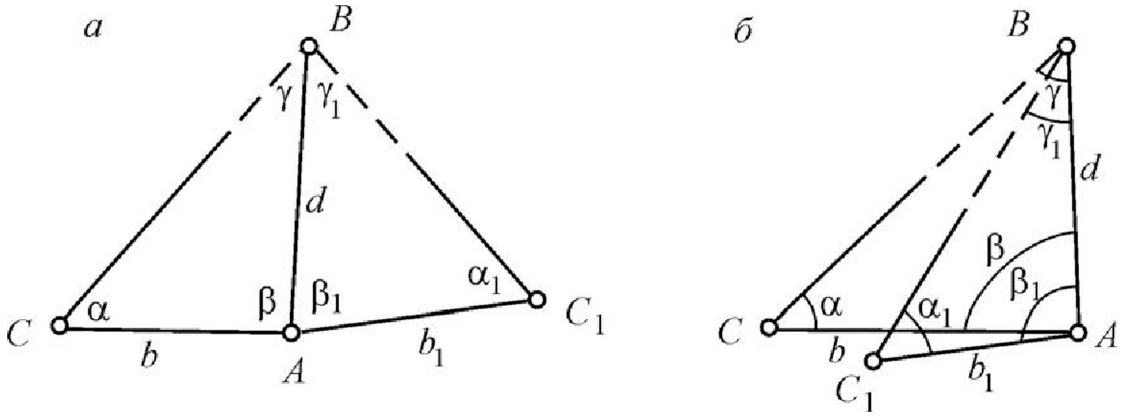


Рис. 45. Определение недоступного расстояния

Для контроля расстояние d определяют ещё раз из треугольника ABC_1 и при отсутствии недопустимых расхождений вычисляют среднее.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные части теодолита 2Т30М.
2. Объясните принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов.
3. Как осуществляют фокусировку прибора при наблюдении на предмет?
4. Как измеряются длины линий в геодезии?
5. Последовательности измерения горизонтального угла
6. Что называют местом нуля (МО) вертикального круга?
7. Перечислить основные поверки теодолита.
8. Последовательности измерения угла наклона.

Раздел 3 Топографические съёмки

Тема 7. Геодезические съёмки

Топографической съемкой называют комплекс полевых и камеральных работ по определению взаимного планово-высотного расположения характерных точек местности, выполняемых с целью получения топографических карт и планов, а также их электронных аналогов — электронных карт (ЭК) и цифровых моделей местности (ЦММ).

7.1.Виды съёмок и их классификация

Совокупность действий, выполняемых на местности для получения плана, или профиля, называется *съёмкой.*

Если съёмка проводиться только получения плана с изображением только ситуации, то её называют *горизонтальной (плановой*) или контурной.

Горизонтальная съемка местности в простейшем варианте выполняется с помощью теодолита и рулетки. Съемочное обоснование обычно создают проложением теодолитных ходов. Если участок съемки имеет вытянутую форму, то теодолитный ход прокладывают по его оси; при этом отдельные пункты съемочного обоснования можно определять из геодезических засечек. Если участок имеет овальную форму, то прокладывают замкнутый ход по его границе; внутри участка можно проложить диагональные ходы.

Съёмка, в результате которой должны получить план местности с изображением рельефа, называется *топографической.* Съемка, у которой определяют, только высоту точек называется *высотной.* А совмещенная высотная и плановая съёмка носит название *комбинированной.*

В зависимости от основного используемого прибора и метода съёмки различают виды съёмок.

Теодолитная съемка выполняется с помощью теодолита и мерных приборов. Теодолитные съемки используют для создания ситуационных планов и карт масштаба 1:2000,1:5000 и 1:10 ООО. Ее широко используют для съемки полосы вдоль трассы автомобильных дорог, для съемки долины реки при изысканиях мостовых переходов.

Тахеометрическая съёмка. В современных условиях в качестве мерных приборов используют электронный тахеометр.

Наземная стереосъёмка съемка производится с помощью специального прибора — фототеодолита, который представляет собой комбинацию теодолита и высокоточной фотокамеры. При фотографировании участка местности с двух точек базиса можно получить стереоскопическую модель местности, при камеральной обработке которой можно подготовить топографический план в горизонталях и ЦММ. Это один из наиболее перспективных видов топографических съемок, требующий минимальных затрат труда в полевых условиях, с перенесением основного объема работы по получению исходной информации о местности в камеральные условия с максимальным привлечением средств автоматизации и вычислительной техники. Фототеодолитная съемка — это дистанционная топографическая съемка, использование которой оказывается особенно эффективным в открытой пересеченной и горной местности, а также при обследовании существующих инженерных сооружений.

Аэро– и космическая фотосъемка производится с помощью специальных высокоточных фотокамер — аэрофотокамер, устанавливаемых на летательных аппаратах или искусственных спутниках Земли. В отличие от фототеодолитной съемки, где луч фотографирования практически горизонтален, аэрофотосъемка производится при практически отвесном луче фотографирования. Получаемые стереоскопические модели местности легко подда-

ются обработке в камеральных условиях с широким привлечением средств автоматизации и вычислительной техники.

Наземно-космическая — один из самых перспективных видов топографических съемок, основанный на использовании систем спутниковой навигации «GPS» (Global Positioning System). В этой системе специальные искусственные спутники Земли используют в качестве точно координированных подвижных точек отсчета, по положению которых определяют трехмерные координаты характерных точек местности наземным методом с помощью приемников спутниковой навигации «GPS». Очевидно, в ближайшем будущем наземно-космическая съемка вытеснит многие традиционные виды наземных топографических съемок.

Нивелирование (вертикальная и ли высотная съёмка) производиться с целью определения высот точек земной поверхности.

Различают следующие виды нивелирования:

геометрическое выполняемое с помощью нивелира.

тригонометрическое, выполняемое с помощью теодолита и рейки или тахеометра.

барометрическое, основанное на физическом законе измерения атмосферного давления.

гидростатическое, основанное на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах, с помощью шланговых нивелиров.

7.2. Плановые и высотные геодезические сети

Геодезические опорные сети служат основой для решения научных задач геодезии инженерно технических. Для выполнения топографических съёмок, для проектирования строительства и для эксплуатации сооружений различного назначения. Геодезические опорные сети – совокупность пунктов на земной поверхности, положение которых определено координатами в принятой системе координат и высотами над уровнем моря или другой принятой уровневой поверхности. При этом пункты могут быть плановые или высотные. Эти пункты располагают согласно заранее составленному проекту и отмечают на местности соответствующими знаками.

Все геодезические сети по назначению и точности построения подразделяются на три большие группы:

- государственные геодезические сети (ГГС),
- геодезические сети сгущения (ГСС),
- геодезические съемочные сети.

Принцип построение опорных геодезических сетей производится *от общего к частному*. Это значит, что первоначально на обширной территории строятся сети (рис.46) с редкими пунктами, но измерения проводят с высокой точностью. Затем от этих пунктов уже при меньшей точности, переходя постоянно к пунктам служащим непосредственным обоснованием съемки.

Планово геодезические сети строятся методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии или их сочетаний и видоизменений в зависимости от требуемой точности. Высотные сети создаются методами геометрического и тригонометрического, а иногда и барометрического нивелирования.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) является главной геодезической основой съемок всех масштабов. Они подразделяются на: сети 1,2, 3 и 4 классов, различающиеся точностью измерений углов, расстояний и превышений, длиной сторон сети и порядком последовательного развития. Сети строятся по методу *триангуляцюии, трилатерации и полигонометрии.*

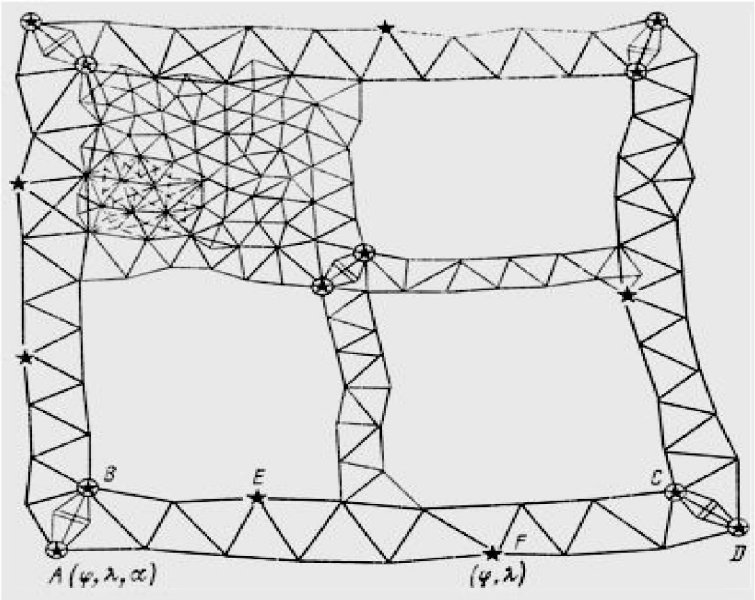


Рис. 46. Схема построения геодезических сетей

Метод *триангуляции* (рис.47) заключается в том, что на ме-

стности строят систему примыкающих один к другому треугольников, в которых измеряют все углы и обычно две стороны. На основе старшего класса строятся сети меньшего. Построение геодезических сетей методом триангуляции производится по программе, разрабатываемой в каждом отдельном случае в зависимости от физико-географических и других условий района работ.

Пункты государственной геодезической сети закрепляют на местности подземными сооружениями, (рис.50.) призванными обеспечить их неизменное положение и долговременную сохранность. Для измерения углов и линий над центрами пунктов сооружают деревянные или металлические наружные знаки, конструкция которых зависит от физико-географических условий - рельефа, а также от расстояний между пунктами.

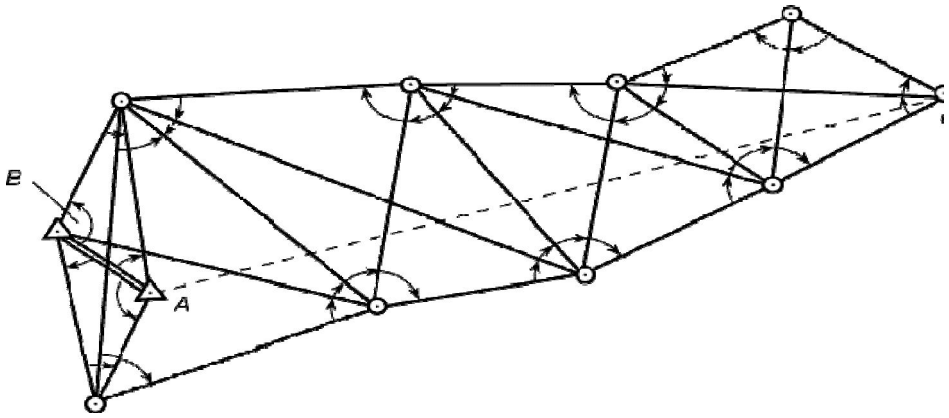


Рис.47 Построение геодезической сети методом триангуляции

Метод *трилатерации* (рис.48), подобно триангуляции представляет собой систему примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряют все стороны.

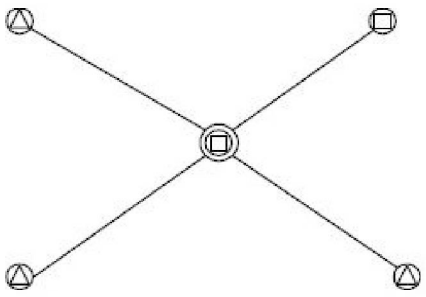


Рис.48. Построение сети методом трилатерации

Метод полигонометрии состоит из одного или нескольких

ходов, в которых измеряют с высокой точностью все углы и стороны. Этим методом обычно строят опору в равнинных закрытых районах и населенных пунктах.

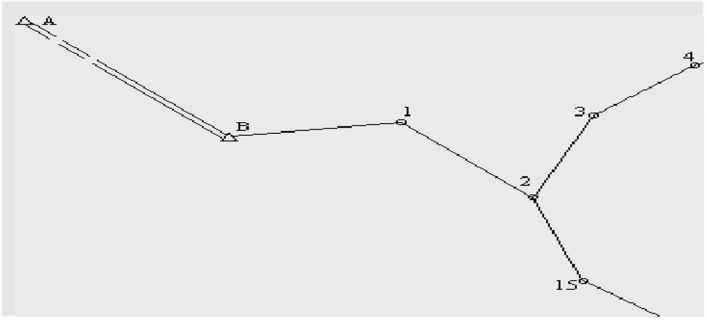


Рис.49.Построение сети методом полигонометрии

Построение геодезических опорных сетей выполняют в три этапа: прежде всего, строят государственную сеть, затем - сети сгущения, и наконец, съемочные сети.

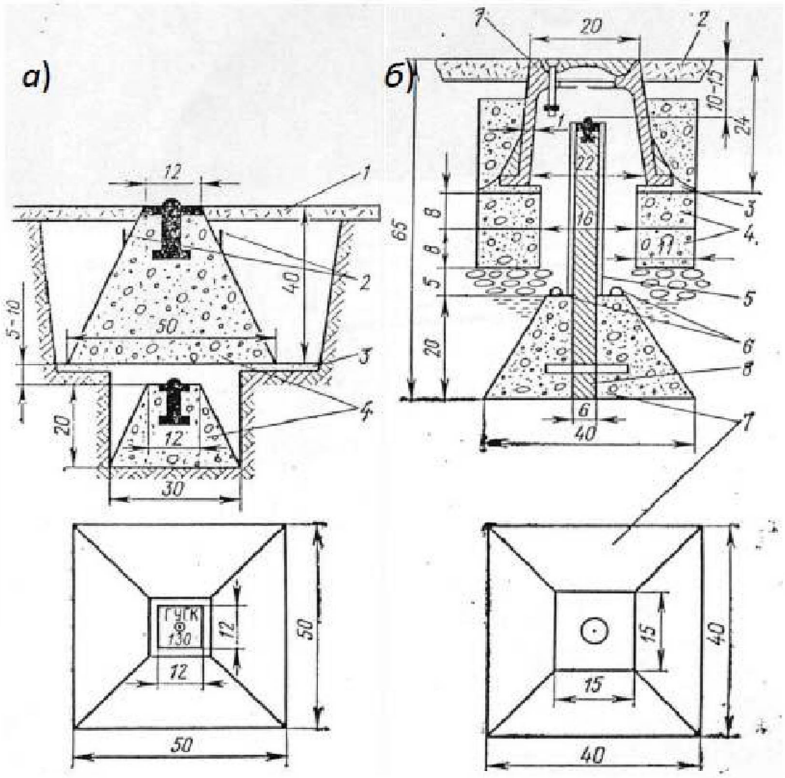


Рис.50.Подземные центры пунктов

Геодезические сети сгущения. (ГСС) являются планово-высотным обоснованием топографических съемок масштабов от 1:5000 до 1:500, а также служат основой для производства различных инженерно-геодезических работ. Они создаются методами триангуляции и полигонометрии. По точности измерения углов и расстояний полигонометрия ГСС бывает 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов. Следует подчеркнуть, что измерения в 4-м класс полигонометрии ГСС выполняются со значительно меньшей точностью, чем в 4-м классе ГГС. Государственную геодезическую сеть 4 класса можно считать переходным видом сетей между ГГС и ГСС. Сети, создаваемые методом триангуляции, образуют типовые фигуры: центральную систему, цепь треугольников и геодезический четырехугольник. Каждая такая фигура опирается на пункты геодезической опоры высшего класса.

Сети сгущения являются опорой для создания *съемочного обоснования* при крупномасштабных съемках. Густота пунктов местного значения зависит от масштаба топографической съемки. Например, для съемки в масштабе 1:10000 при расстояниях между пунктами 2-3 км количество пунктов на трапеции должно быть не менее 4-5. Пункты закрепляются бетонными центрами и наружными знаками в виде пирамид или вех.

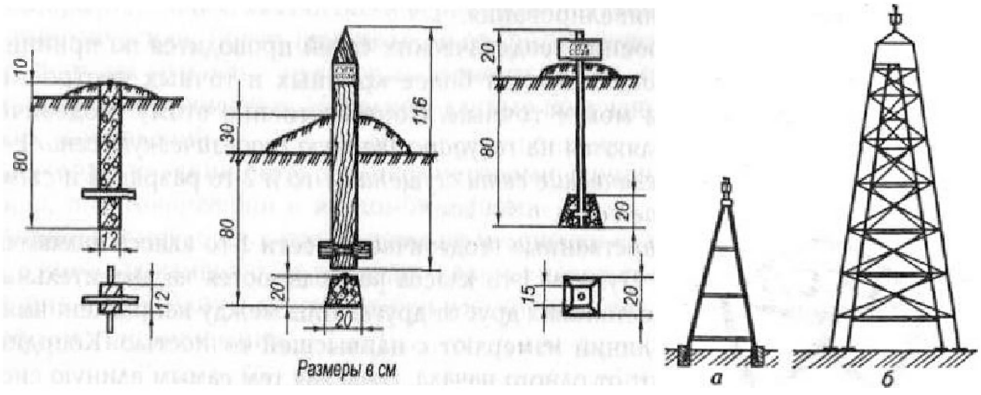
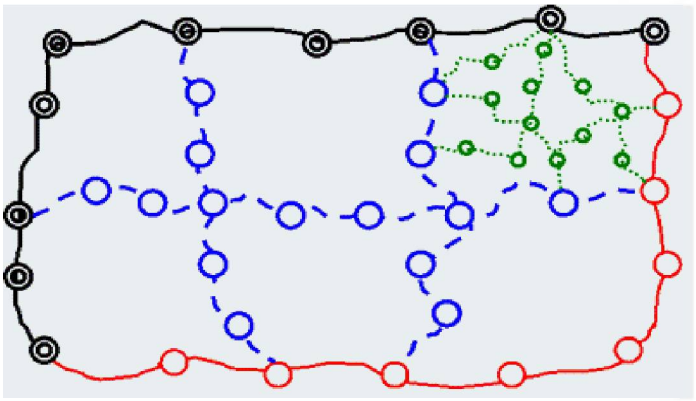


Рис.51 Пункты закрепляются центрами и наружными знаками

Государственная нивелирная сеть (ГНС) – единая система высот на территории всей страны, она является высотной основой всех топографических съемок и инженерно-геодезических работ, выполняемых для удовлетворения потребностей экономики, науки и обороны страны. На всей территории России вычисление

высот производится в нормальной системе высот от нуля Кронштадтского футштока. Эта система называется Балтийской. За нуль Кронштадтского футштока принята горизонтальная черта на медной пластине футштока. Государственная нивелирная сеть России разделяется по классу точности на нивелирные сети I, II, III и IV классов (рис.37). I и II классы относят к высокоточному нивелированию, III и IV классы – к точному.

Все линии государственной нивелирной сети не реже чем через 5 км по трассе закрепляются на местности специальными знаками — реперами. В труднодоступных районах расстояние между реперами может быть увеличено до 7 км. Конструктивно, реперы нивелирования классифицируются по 6 категориям: вековые, фундаментальные, грунтовые, скальные, стенные и временные.



Реперы и линии нивелирной сети I класса

Реперы и линии нивелирной сети II класса

Реперы и линии нивелирной сети III класса

Реперы и линии нивелирной IY класса

Рис. 52. Схема построения высотной сети по классу точности

7.3 Теодолитная съёмка

Выполнение теодолитной съёмки состоит из 4 этапов.

Рекогносцировка. В пределах площади съемки производится рекогносцировка и выбирается местоположение пунктов съемоч-

ного обоснования так, чтобы выполнялись требования инструкций к съемочному обоснованию и обеспечивались наилучшие условия для последующей съёмки подробностей ситуации. Прямая видимость между пунктами. Достаточный обзор местности.

Прокладка теодолитного хода по точкам съёмочной сети.

Съемочная сеть (точки теодолитного хода) на местности закрепляются колышками, вокруг каждой точки делается окопка и ставится сторожок с № точки, далее производятся полевые геодезические измерения линейные – измерение длин линий между точками в прямом и обратном направлении и измерение горизонтальных и вертикальных углов. Далее выполняется *съемка объектов ситуации.*

Камеральная обработка результатов полевых измерений и построение ситуационного или контурного плана. Полевые данные обрабатываются в камеральных условиях и вычерчивается план (при некоторых съемках все работы выполняются в полевых условиях).

Последовательность работы при вычислении координат точек теодолитного хода следующая, образец заполнения ведомости представлен в таблице 6:

В графу 2 занесены значения измеренных углов и сумма измеренных углов $\sum \beta_{\text{изм.}}$;

Предварительно необходимо вычислить теоретическую сумму углов замкнутого полигона по формуле:

$$\sum \beta_{\text{теор}}=180(n-2) \qquad (22)$$

И далее вычислить величину угловой невязки хода

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{изм.}} - \sum \beta_{\text{теор}} \qquad (23)$$

Далее сравнивают угловую невязку с допустимой величиной, которую определяют по формуле 24

$$f_{\beta\,\text{доп.}} = 1'\sqrt{n}, \qquad (24)$$

где n – количество углов в полигоне

Полученную невязку f_β необходимо сравнить с допустимой $f_{\beta\,\text{доп}}$, если $f_\beta \le f_{\beta\,\text{доп.}}$, то величину невязки распределить с обратным знаком поровну на все измеренные углы. Поправки к измеренным углам выписать в графу 2 «Ведомости...» над секундами красным цветом.

С учётом поправки .вычислить исправленные углы. Записать их в графу 3. $\beta_{изм.} \pm V = \beta_{исправл.}$,

где $V = \frac{f_\beta}{n}$;

Для контроля подсчитать сумму исправленных углов, которая должна равняться теоретической сумме.

Далее приступают к вычислению дирекционного угла зная начальный угол α_{1-2} и исправленные углы вычисляют последовательно дирекционные углы остальных линий хода по формулам:

для правых углов $\alpha_{i+1} = \alpha_i + 180 - \beta_{i+1}$; (25)

для левых углов $\alpha_{i+1} = \alpha_i - 180 + \beta_{i+1}$ (26)

и записывают их в графу 4. Следует учесть, что дирекционные углы не могут быть отрицательными и превышать 360°. Если $(\alpha + 180) \lhd \beta$, то прибавляют 360°;

В графе 5,6 переведены значения дирекционных углов в табличные, т.е. румбы r. Чтобы далее вычислить приращения .вычисляют cos r и sin r табличных углов (графа 6).

В графу 7 выписаны значения горизонтальных проложений d и найден периметр всего хода $P = \sum d$;

Приращения координат записаны их в графы 8 и 9 с точно-

$$\Delta X = d\cos\alpha = d\cos r;$$

стью до сантиметров.

$$\Delta Y = d\sin\alpha = d\sin r$$

По каждому столбцу 8 и 9 с учётом знака вычислены линейные невязки $f_{\Delta X} = \sum \Delta X;$ $f_{\Delta Y} = \sum \Delta Y,$

Для оценки линейных невязок $f_{\Delta X}$ и $f_{\Delta Y}$, определяют абсолютную невязку хода по формуле 27,

$$f_{абс} \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2}, \quad (27)$$

а затем относительную невязку

$$f_{отн.} = \frac{f_{abc}}{P} = \frac{I}{P/f_{abc}} = \frac{I}{N}. \quad (28)$$

Невязки $f_{\Delta X}$ и $f_{\Delta Y}$ считаются допустимыми, если $f_{отн.} \le \frac{1}{2000}$;

Далее вводят в приращения поправки V_X и V_Y с обратным знаком пропорционально длинам сторон хода:

$$V_{\Delta X} = -\frac{f_{\Delta X}}{P} d, V_{\Delta Y} = -\frac{f_{\Delta Y}}{P} d; \quad (29)$$

Вычисляют исправленные приращения (графы 10, 11):

$$\Delta X_{испр} = \Delta X + V_{\Delta X}, \qquad \Delta Y_{испр} = \Delta Y + V_{\Delta Y},$$

контроль суммы которых по столбцам должны быть равны нулю.

Координаты точек теодолитного хода (графа 12, 13):

$$X_{i+I} = X_i + \Delta X_{i-i+I};$$
$$Y_{i+I} = Y_i + \Delta Y_{i-i+I}. \quad (30)$$

ВЕДОМОСТЬ Таблица 6

Вычисления координат точек замкнутого теодолитного хода

	Углы		Дирекционные углы	Направление Румб	° ′ ″	Горизонтальные проложения	Приращения				Координаты точек	
							вычисленные		исправленные			
	Измеренные ° ′ ″	Исправленные ° ′ ″					±Δ X	±Δ Y	±Δ X	±Δ Y	X	Y
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	87 °49 ′00″	87 °49′ 24″			44°34 ′30 ″		-0,017	0,032				
	24 150°19 ′00 ″	150°19′ 24 ″	342°25′ 30 ″	СВ		107,90	102,86	-32,58	102,85	-32,55	500,0	-150,00
	24″ 125°06′00″	125°06′24″	12°6′6 ″	СВ	12°06 ′06 ″	72,45	-0,011 70,84	0,022 15,19	70,83	15,21	602,85	-182,55
	24″ 87°30′00″	87°30′24″	66°59′42 ″	ЮВ	66°59′42 ″	179,90	-0,027 70,31	0,054 165,59	70,28	165,65	673,68	-167,34
	24″ 89°14 ′00 ″	89°14 ′24 ″	159°29′18 ″	ЮЗ	20°30′42 ″	179,40	-0,027 -168,03	0,054 62,86	-168,05	62,92	743,96	-1,69
	24″		250°14′54 ″	СЗ	70°14 ′54 ″	224,50	-0,034 -75,87	0,068 -211,29	-75,90	-211,22	575,90	61,22
			342°25′30 ″			*P*=761,15	+0,116	-0,23	0		500,0	-150,00

$\sum \beta_{изм}$=539°58′00″

$\sum \beta_{теор}$=540°00′00″

$f_{\beta доп}$= 0°02′00″

$f_{\Delta X}$ =+0,116 $f_{\Delta Y}$ =-0,23

$f_{абс}=\sqrt{f_{\Delta X}^2+f_{\Delta Y}^2}$ =0,258

$f_{отн}=\frac{f_{abc}}{P}=\frac{I}{N}$= 1/3000 ∠1/2000

7.3. Классификация нивелиров

Отечественная и зарубежная промышленность выпускает приборы различной конструкции и точности.

По устройству различают следующие типы нивелиров.

Нивелиры с уровнем при трубе снабжены точным цилиндрическим уровнем, приводимым для измерений вместе со зрительной трубой в горизонтальное положение вручную. Нивелирами с уровнем при трубе являются нивелиры российского производства Н-3, Н-05, 3Н5Л и др.

Нивелиры с компенсатором углов наклона отличаются наличием устройства, автоматически приводящего визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение. Компенсатор работает в пределах 12 – 15′, поэтому прибор предварительно устанавливают в рабочее положение по круглому уровню. Такими нивелирами являются Н-3К, 3Н2КЛ и др.

Нивелиры с оптическим микрометром (например, нивелир Н-05) имеют перед объективом стеклянную пластину, повороты которой вокруг ее горизонтальной оси смещают лучи света параллельно самим себе. Это позволяет наводить визирную ось точно на штрих рейки. Величина смещения измеряется оптическим микрометром, чем достигается высокая точность отсчета по рейке.

Лазерные нивелиры излучают видимый пучок света. Отсчет берут по световому пятну на рейке.

Цифровые нивелиры автоматически формируют отсчет по рейке, шкала которой представляет собой штриховой код. Снабжены компенсатором углов наклона. Отсчеты по рейкам регистрируются на магнитном носителе. Примером такого прибора является нивелир *SDL30M*, Япония.

По точности нивелиры делят на *высокоточные, точные* и *технические* в зависимости от величины средней квадратической погрешности m_h измерения превышения на 1 км двойного хода (табл. 7.).

Таблица 7

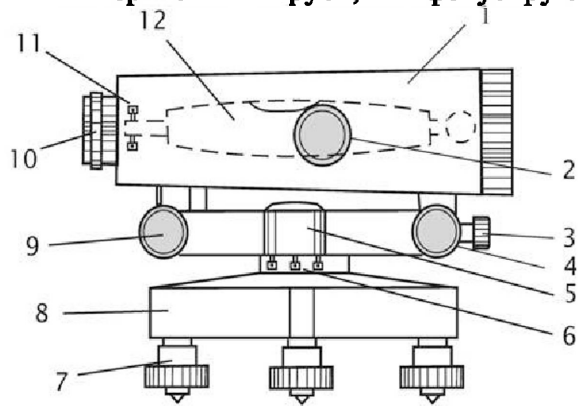
Классификация нивелиров по точности

Типы нивелиров	Точность	Примеры нивелиров
Высокоточные	$m_h \le 0{,}5$ мм	Н-05 (Россия), PL1 (Япония)
Точные	$m_h \le 3$ мм	3Н2КЛ, Н-3, Н-3К (Россия), С300 (Япония), DSZ3(Китай)
Технические	$m_h \le 5$ мм	3Н5Л (Россия), AT20D (Китай)

7.3.1. Устройство нивелира

Рассмотрим устройство на примере нивелира Н-3. Его устройство показано на рис. 53.

Для выполнения измерений нивелир устанавливают на штативе и подъемными винтами 7 приводят в нульпункт пузырек круглого уровня 5. Пользуясь закрепительным 3 и наводящим 4 винтами, наводят зрительную трубу на рейку. Вращением диоптрийного кольца окуляра 10 фокусируют сетку нитей и вращением фокусирующего винта 2 – «изображение». В поле зрения трубы будут видны штрихи сетки нитей, изображение нивелирной рейки и в отдельном окошке – изображения двух половинок цилиндрического уровня рис. 54. Вращая элевационный винт 9, изменяющий наклон трубы 1 и цилиндрического уровня 12, приводят ось уровня в горизонтальное положение. Ось уровня горизонтальна, если его пузырек находится в нульпункте.



1 – зрительная труба; 2 – фокусирующий винт зрительной трубы; 3, 4 – закрепительный и наводящий винты; 5 – круглый уровень; 6 – исправительные винты круглого уровня; 7 – подъемные винты; 8 – подставка; 9 – элевационный винт; 10 – окуляр с диоптрийным кольцом; 11 – исправительные винты цилиндрического уровня; 12 – цилиндрический уровень.

Рис. 53. Устройство нивелира Н-3

Отсчет берут по среднему штриху сетки нитей.

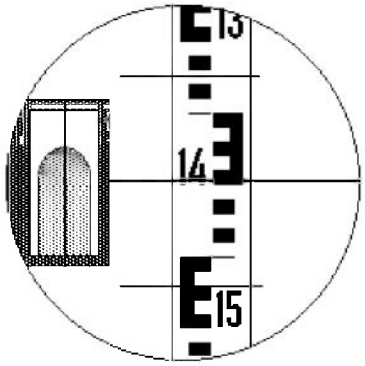


Рис. 54. Поле зрения зрительной трубы нивелира: отсчет по рейке равен 1449 мм

Нивелирные рейки идут всегда в комплекте с нивелиром. Для точного и технического нивелирования служат трехметровые цельные или складные деревянные рейки. На двух сторонах рейки нанесены шкалы с сантиметровыми делениями в виде шашек, на одной стороне – черных, на другой – красных. Установка таких реек в вертикальное положение выполняется по круглому уровню или на глаз.

При измерениях цифровыми нивелирами пользуются специальными рейками со шкалой в виде штрих-кода.

7.3.2. Поверки нивелира

Необходимая точность нивелирования может быть достигнута только в том случае, если обеспечено верное взаиморасположение основных осей нивелира. Для контроля предъявляемых к прибору требований в начале и периодически в ходе работ выполняют поверки нивелира. Основными поверками являются следующие.

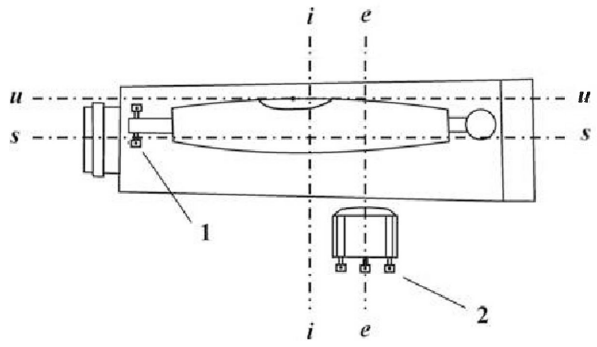
Поверка круглого уровня.

Формулировка: Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора.

Производство поверки: подъемными винтами нивелира приводят пузырек круглого уровня в нульпункт. Поворачивают нивелир на 180° вокруг оси его вращения *ii* (рис. 55). Если после поворота пузырек остался в нульпункте, проверяемое условие выполнено – ось круглого уровня *ее* параллельна оси вращения прибора *ii*.

Если пузырек ушел из нульпункта, исправительными винта-

ми 2 изменяют наклон уровня так, чтобы пузырек сместился в сторону нульпункта на половину отклонения. Для поворота исправительных винтов пользуются шпилькой.



ss – визирная ось зрительной трубы; *ii* – ось вращения прибора; *uu* – ось цилиндрического уровня; *ee* – ось круглого уровня; 1 – исправительные винты цилиндрического уровня; 2 – исправительные винты круглого уровня

Рис. 55. Оси и исправительные винты нивелира

Поверка цилиндрического уровня (главное условие нивелира)

Формулировка: Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Производство поверки:

У точных нивелиров проекция на отвесную плоскость угла между осью цилиндрического уровня и визирной осью не должна превышать 10". Это означает, что при расстоянии до рейки d = 100 м допустима ошибка в отсчете по рейке при отсутствии параллельности оси уровня и визирной оси, не превышающая $\frac{10''}{\rho} d$ = 5 мм, где ρ = 206 265" – число секунд в одном радиане.

Поверка выполняется путем измерения одного и того же превышения дважды – с неравными расстояниями до реек. На расстоянии 50 – 60 м друг от друга закрепляют две точки, на которые устанавливают рейки (рис.56).Нивелир переносят и устанавливают на расстоянии 5–7 м от одной из реек (рис. 56). Берут отсчет b_2 по ближней рейке. Ввиду малости расстояния до рейки погрешность в отсчете b_2, вызванная наклоном луча визирования, мала. Поэтому отсчет b_2 считают безошибочным.

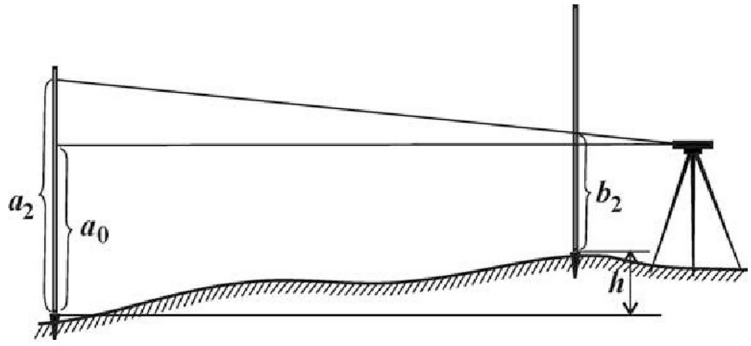


Рис. 56. Схема поверки главного условия нивелира

Вычисляют отсчет, который должен быть на дальней рейке, если луч визирования горизонтален: $a_0 = b_2 + h$.

Наводят нивелир на дальнюю рейку и берут фактический отсчет a_2. Сравнивают вычисленный и фактический отсчеты.

Если вычисленный a_0 и фактический a_2 отсчеты различаются меньше, чем на 5 мм, то считают, что ось цилиндрического уровня *uu* (рис. 55) параллельна визирной оси *ss*.

Если вычисленный и фактический отсчеты различаются больше, чем на 5 мм, то положение цилиндрического уровня необходимо исправить.

Для этого элевационным винтом наводят средний штрих сетки нитей на отсчет a_0 по дальней рейке. При этом пузырек цилиндрического уровня уйдет из нульпункта. Вертикальными исправительными винтами приводят пузырек цилиндрического уровня в нульпункт, совмещая изображения концов половинок пузырька в поле зрения трубы.

7.4. Методы нивелирования

Нивелированием называется измерение превышений с целью определения высот точек. Путем нивелирования значения высот передают от исходных точек с известными высотами на точки, высоты которых надо определить.

В зависимости от применяемых приборов и методов различают следующие виды нивелирования.

Геометрическое нивелирование – метод определения превышений путем взятия отсчетов по вертикальным рейкам при горизонтальном луче визирования. Это – основной метод нивелиро-

вания. Методом геометрического нивелирования создана государственная нивелирная сеть, создаются инженерно-геодезические высотные сети различного назначения.

Тригонометрическое нивелирование – метод определения превышения путем измерения вертикального угла и расстояния. Метод используют при создании высотного обоснования топографических съемок, а также при определении превышений и передаче высот на строительных площадках.

Барометрическое нивелирование основано на зависимости между высотой и атмосферным давлением. Для определения превышений измеряют атмосферное давление и температуру в точке с известной высотой и в точках, высоты которых определяют. По разностям давлений вычисляют превышения. Метод применяют при работах в труднодоступной местности, им пользуются геологи, геофизики. Точность измерений этим методом невысокая: на равнинной местности – 0.5 м, в горной – 1.5 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах устанавливаться на одном уровне. Простейший гидростатический нивелир представляет собой два сосуда с делениями, соединенные шлангом. Систему заполняют дистиллированной водой. Точность метода очень высокая (0,1 мм), поэтому он применяется при монтаже и выверке конструкций по высоте, особенно при работе в стесненных условиях, при передаче отметок через водные преграды, для наблюдений за деформациями сооружений (плотин, мостов, ускорителей частиц и пр.).

Определение превышений и высот точек с помощью спутниковых измерений. Автономное определение высот точек аппаратурой ГЛОНАСС и *GPS* выполняется с точностью нескольких метров, а определение превышений между точками – с точностью 10 – 15 мм.

7.4.1. Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование выполняют, используя нивелир и нивелирные рейки. Нивелир – прибор, в котором визирный луч приводится в горизонтальное положение. Отсчеты берут по шкалам устанавливаемых вертикально нивелирных реек. Оцифровка шкал на рейках возрастает от пятки рейки вверх. Если

на пятке рейки расположен ноль шкалы, то отсчет по рейке равен расстоянию от пятки до луча визирования.

Геометрическое нивелирование выполняют двумя способами – «из середины» и «вперед».

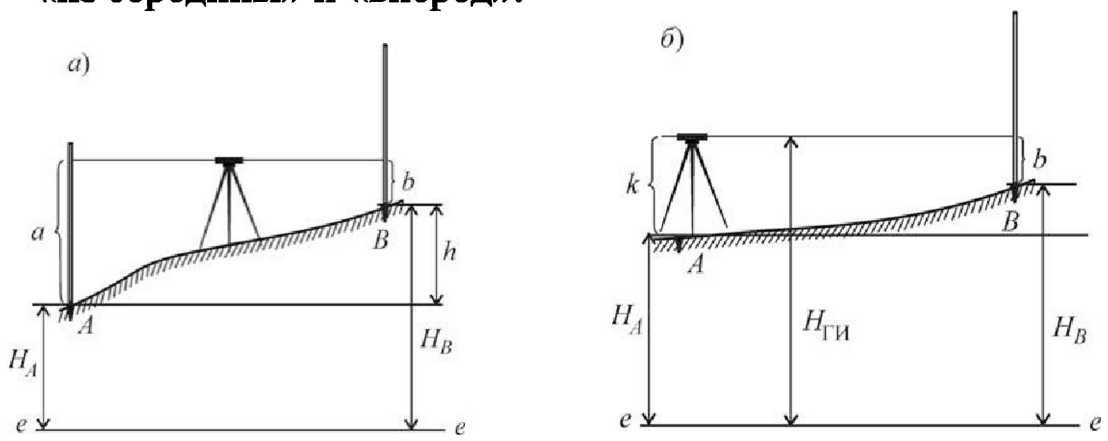


Рис. 57. Нивелирование: *а* – из середины; *б* – вперед;

Нивелирование из середины – основной способ. Для измерения превышения точки В над точкой А (рис. 57, *а*) нивелир устанавливают в середине между точками (как правило, на равных расстояниях) и приводят его визирную ось в горизонтальное положение. На точках А и В устанавливают нивелирные рейки. Берут отсчет *a* по задней рейке и отсчет *b* по передней рейке. Превышение вычисляют по формуле:

$$h = a - b \qquad (31)$$

Обычно для контроля превышение измеряют дважды – по черным и красным сторонам реек. За окончательный результат принимают среднее.

Если известна высота H_A точки А, то высоту H_B точки В вычисляют по формуле

$$H_B = H_A + h_{AB}\,. \qquad (32)$$

При *нивелировании вперед* (рис. 57, *б*) нивелир устанавливают над точкой А и измеряют (обычно с помощью рейки) высоту прибора *i*. В точке В, высоту которой требуется определить, устанавливают рейку. Приведя визирную ось нивелира в горизонтальное положение, берут отсчет *b* по черной стороне рейки. Вычислив превышение

$$h = i - b,$$

по формуле (32) находят высоту точки В.

На строительной площадке, где на земляных работах, ук-

ладке бетона или асфальта и пр. требуется с одной стоянки нивелира определить высоты многих точек, сначала вычисляют общую для всех точек высоту $H_{ГИ}$ горизонта инструмента, то есть высоту визирной оси нивелира

$$H_{ГИ} = H_A + i, \qquad (33)$$

а затем – высоты определяемых точек

$$H_1 = H_{ГИ} - b_1, \quad H_2 = H_{ГИ} - b_2, \quad \ldots,$$

где 1, 2, … – номера определяемых точек.

Если точки А и В, расположены так, что измерить между ними превышение с одной установки нивелира невозможно, превышение измеряют по частям, то есть прокладывают *нивелирный ход* (рис. 51).

Превышения вычисляют по формуле 31 и соответственно превышения будут иметь вид:

$$h_1 = a_1 - b_1;$$
$$h_2 = a_2 - b_2;$$
$$h_3 = a_3 - b_3;$$

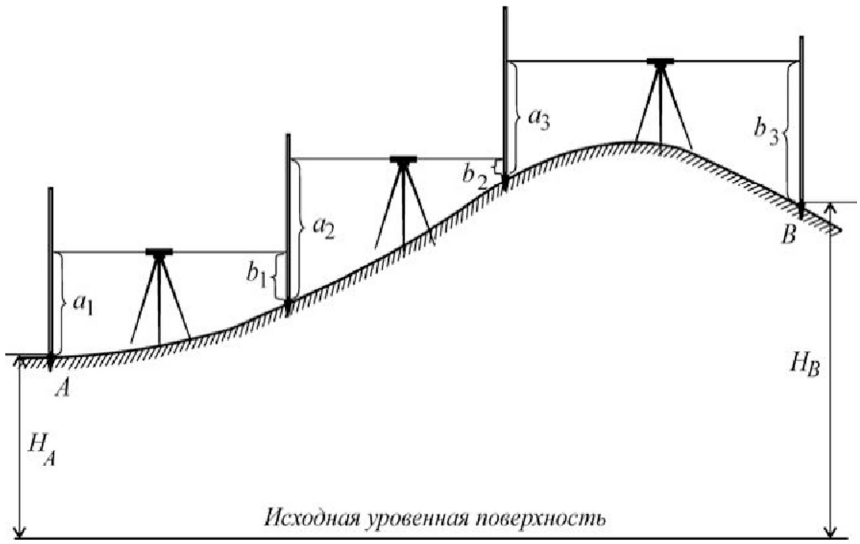


Рис. 51. Нивелирный ход

Превышение между конечными точками хода А и В равно сумме вычисленных превышений,

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3,$$

а высота точки В определится по формуле (30).

Контролем точности измерений в ходе служит невязка f_h, которую вычисляют по формулам:

- в разомкнутом ходе

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_{кон} - H_{нач}); \quad (34)$$

- в замкнутом ходе

$$f_h = \sum h_{ср}\,. \quad (35)$$

Здесь $\Sigma h_{ср}$ – сумма средних превышений в ходе;

$H_{кон}$ и $H_{нач}$ – высоты конечного и начального реперов.

Невязка f_h считается допустимой, если она не превышает $50мм \cdot \sqrt{L}$, где L – длина хода, выраженная в километрах.

Невязку равномерно распределяют в измеренные превышения.

Поправку к превышению вычисляют по формуле $\delta_h = -f_h / n$, где n – число превышений в ходе. Поправками исправляют измеренные превышения: $h_i' = h_i + \delta_h$. Используя исправленные превышения, последовательно вычисляют отметки всех точек нивелирного хода.

$$H_{i+1} = H_i + h_i' \qquad (i = 1, 2, \ldots, n)$$

7.4.2.Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование – определение превышений по измеренным вертикальным углам и расстояниям.

Для определения превышения между точками А и В на точке А устанавливают теодолит, а на точке В – рейку (рис. 52). Теодолитом измеряют угол наклона ν.

Если известно горизонтальное расстояние d между точками A и B, то превышение h вычисляют по формуле:

$$h = d \cdot \mathrm{tg}\nu + i - l, \quad (36)$$

где ν – угол наклона,

i – высота прибора,

l – высота визирования.

Если расстояние АВ измерено нитяным дальномером, то горизонтальное расстояние равно

$$d = Kn \cos^2\nu, \quad (37)$$

где K – коэффициент дальномера и n – отсчет по рейке. Подставляя это выражение для d в формулу (36) получаем :

$$h = Kn \cos^2\nu \,\mathrm{tg}\,\nu + k - l$$

и окончательно $h = \frac{1}{2} Kn \sin 2\nu + i - l$ (38)

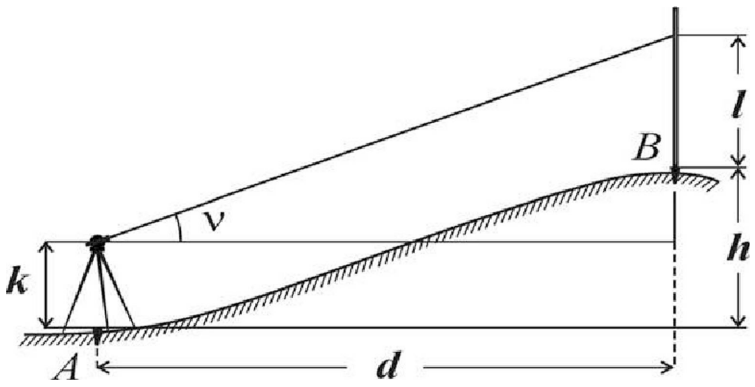


Рис. 52. Тригонометрическое нивелирование

7.5. Методика работ при техническом нивелировании

Техническое нивелирование производится, как правило, способом «из середины» при нормальной длине визирных лучей, равной 100 м; при благоприятных условиях работы: увеличении зрительной трубы не менее 25$^{\times}$, цене деления цилиндрического уровня не более 15" на 2 мм и хорошей погоде (тихо, пасмурно). Расстояния до реек измеряются шагами, допустимое неравенство визирных лучей на станции - 10 м.

По характеру организации и выполнения геодезических работ при техническом нивелировании ходы бывают:

- разомкнутые, прокладываемые между двумя точками с известными отметками - реперами;
- замкнутые (полигоны), когда ход кончается на начальной точке;
- висячие, опирающиеся на одну точку с известной отметкой, применяющиеся как исключение и обязательно нивелирующиеся дважды (в этом случае допустимое расхождение превышений равно).

Порядок полевых работ при техническом нивелировании. При двусторонних рейках на станции без промежуточных точек реечники под руководством наблюдателя забивают костыли в выбранных точках и ставят на них рейки. Нивелир устанавливают в рабочее положение по круглому уровню, затем берут отсчет по верхней и средней нитям сетки черной стороны задней и передней реек. После этого рейки поворачивают к наблюдателю красной стороной и снимают отсчеты только по средней нити пе-

редней и задней реек. До перехода на следующую станцию производят такие вычисления. Контролируют правильность отсчетов по рейкам, для чего вычисляются разности высот нулей пяток реек.

Камеральная обработка

Таблица 8

Журнал технического нивелирования

Пр=100

№ Станции	№ точек	Отсчёты по рейке, мм		Превышение, $\pm h$, мм	Среднее Превышение, $\pm h_{ср}$, мм	Отметки, м
		задняя	передняя			
I	1	1808 (1)	0595 (3)	+1366 (7)		
	2	6593 (2)	5280 (4)	+1264 (8)	+1365 (9)	
		4785 (5)	4685 (6)	+100 (Пр)		
		∑З	∑П	$\sum h$	$\sum h_{ср}$	

(1)отсчёт по черной стороне по средней нити задней рейки;

(2) отсчёт по красной стороне по средней нити задней рейки;

(3) отсчёт по черной стороне по средней нити передней рейки;

(4) отсчёт по красной стороне по средней нити передней рейки;

(5), (6) пяточные разности: отсчёт по красной стороне минус отсчёт по чёрной стороне рейки: (5) = (2) – (1); (6) = (4) – (3).

– Вычисляют превышения по чёрной и красной сторонам рейки (7), (8).с учётом знака превышения: (7) = (1) – (3); (8) = (2) – (4).

Расхождение не должно превышать (± 5 ± ПР), мм, если пятки рейки разные.

– Если расхождения в допуске, то вычисляют средние превышения $h_{ср}$ (9):

$$(9) = \frac{(7)+(8)\pm ПР}{2}, \text{ если пятки разные.}$$

На каждой странице выполняют постраничный контроль:

$$\frac{\sum З - \sum П}{2} = \frac{\sum \Delta h}{2} = \sum \Delta h_{ср},$$

где ∑З – сумма отсчётов по задней рейке; ∑П – сумма отсчётов по передней рейке; $\sum h$ – сумма превышений; $\sum h_{ср}$ – сумма средних превышений на странице.

Следует помнить, что если на странице журнала написано нечетное количество станций, то в указанном выше равенстве, в последней его части, должна быть учтена, величина пяточной разности (чаще ±100 мм)

Высотная невязка f_h для замкнутого хода определяется по формуле:

$$f_h = \sum h_{ср}. \quad (39)$$

Допустимая невязка для технического нивелирования рассчитывается по формуле:

$$f_{h\,доп.} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (40)$$

где L – длина хода, км.

Если $f_h \leq f_{h\,доп}$, то фактическую невязку f_h распределяют с обратным знаком поровну на все превышения хода:

Высотные отметки точек хода вычисляют по формулам

$$H_i = H_{i-1} \pm \Delta h_{испр.i} \quad (41)$$

7.6.Тахеометрическая съёмка

Тахеометрическая съемка является наиболее распространенным методом наземной топографической съемки. В переводе с греческого языка тахеометрия означает «быстрое измерение».

Быстрота тахеометрической съемки достигается благодаря тому, что при одном только визировании на точку местности с исходного пункта сразу определяют расстояние до этой точки, направление на нее и превышение, что позволяет определить положение точки относительно исходного пункта в плане и по высоте. Тахеометрическая съемка имеет существенное преимущество перед всеми другими видами наземных съемок когда полевую часть работы требуется выполнить в кратчайший срок. Она применяется для создания планов небольших участков как основной вид съемки или в сочетании с

другими видами, а также при съемках вдоль трасс, проектируемых и существующих линейных сооружений, застроенной территории и там, где применение другого вида съемки экономически нецелесообразно и технически невозможно. Недостатком тахеометрической съемки является то, что составление плана камеральным путем исключает возможность сравнения его с оригиналом местности, вследствие чего возможны пропуски отдельных деталей и искажения в изображении рельефа.

Выполняют тахеометрическую съемку с помощью геодезических приборов, теодолита и нивелирной рейки или специальными приборами – *тахеометрами.* При этом расстояния до точек определяют по дальномеру тахеометра, направление линии – по горизонтальным углам, а превышения – способом тригонометрического нивелирования.

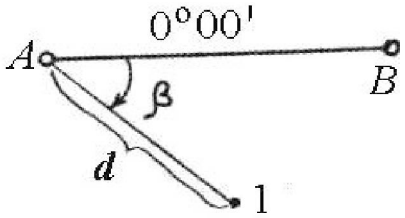


Рис.53 Параметры тахеометрической съёмки –полярный способ съёмки

Для определения планового положения точки используется *полярный способ съемки,* при котором положение точки 1 определятся с помощью измерения горизонтального угла β и полярного расстояния *d* (рис. 53). Высотное положение точки определяется путем измерения тахеометром превышения способом тригонометрического нивелирования.

1) Тахеометрическая съемка - позволяет выполнять измерения на практически неограниченное число точек. В эту программу встроены функции установки станции и ориентирования инструмента по измерениям на известные пункты.

2) Используя тахеометр, его программа позволяет определить координаты точки, высотную отметку и ориентировку в любом недоступном месте. У тахеометров есть различные программы работ в отражательном и без отражательном режиме

Точность тахеометрической съёмки зависит в основном от точности измерения угла наклона и величины расстояния от тахеометра до точки. В среднем при ошибке измерения угла наклона m_υ = 1' погрешность определения превышения будет составлять 4 см на каждые 100 м расстояния, то есть на 200 м m_h = 8 см.

При расстояниях свыше 1–2 км на ошибку в определении превышения начинают оказывать значительное влияние непостоянство земной рефракции и условия видимости. Поэтому тригонометрическое нивелирование следует производить в полуденное время с 9 до 16 часов, когда земная рефракция принимает более устойчивое значение.

7.6.1. Приборы, предназначенные для выполнения тахеометрической съёмки

Как отмечалось выше, при производстве тахеометрической съемки могут использоваться теодолиты типов Т30М, Т15 и др., имеющие горизонтальный и вертикальный круги и нитяной дальномер. Перед началом съемки выполняют поверки прибора. Для удобства вычислений вертикальных углов МО вертикального круга приводится к нулю; колебания МО в процессе работы не должно превышать ±1'. При работе с теодолитами применяют специальные дальномерные рейки либо шашечные нивелирные рейки.

В настоящее время при тахеометрической съемке все более широкое применение находят электронные тахеометры (рис. 54, 55).

Рис.54. Современные тахеометрические работы с использованием систем автоматического наведения

Рис.55. Тахеометр TPS 407 фирмы *Leica*

Электронный тахеометр содержит угломерную часть, созданную на базе штрих-кодового лимба, светодальномер и встроенную программное обеспечение. С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы. Дальномер тахеометра позволяет измерять расстояния как в отражательном , так и безотражательном режимах. Программное обеспечение тахеометра дает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего электронный тахеометр снабжен набором необходимых прикладных программ. Программное обеспечение электронных тахеометров позволяет решать доста-

точно широкий круг геодезических задач. Для этого предусмотрен ввод и сохранение данных о станции (стоянке тахеометра). В эти данные входят номер точки, ее координаты и отметка над уровнем моря, высота прибора, дата, время, сведения о погоде, имя оператора и другие сведения.

По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных, вертикальных и дирекционных углов, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, где установлены отражатели, приращений координат, а также плоских и пространственных координат наблюдаемых точек. Предусмотрена также возможность определения координат точек по результатам засечек, вычисления неприступных расстояний и определение высоты недоступной точки.

Для обеспечения разбивочных работ служат программы вычисления углов и расстояний для выноса точки с заданными координатами. При решении задач может учитываться влияние кривизны Земли и рефракция.

Применение электронных тахеометров при выполнении тахеометрической съемки значительно повышает производительность труда, исключает ошибки наблюдателя при снятии отсчетов и записи результатов измерений, сокращает время на обработку и вычисление полевых наблюдений. Поэтому электронные тахеометры в последнее время находят самое широкое применение в геодезических работах.

7.6.2. Порядок работы на станции при прокладке тахеометрической съёмки.

Для выполнения тахеометрической съёмки сначала прокладывают теодолитный ход, закрепляют точки на местности. Далее с каждой точки производят съёмку ситуации по пикетам. Для места расположения каждого пикета в плане и по высоте определяют все параметры тахеометрической съёмки рисунок 53.

Для определения превышения (h) в точке А устанавливают тахеометр, а в точке 1 – рейку. Измеряют с помощью рулетки или рейки высоту прибора (i.) Затем наводят зрительную трубу тахеометра на рейку и определяют по вертикальному кругу угол наклона (υ) линии визирования. С помощью дальномера тахео-

метра измеряют наклонное расстояние D или горизонтальное проложение (*d*).

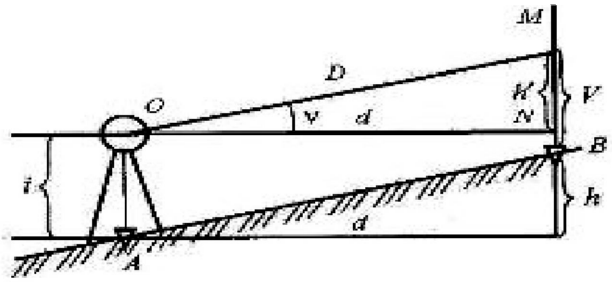


Рис. 56. Тахеометрическая съёмка

Из рисунка 56 превышение (*h*) можно определить по формуле

$$h = h' + i - V, \quad (42)$$

где *h*' – превышение над горизонтальным лучом визирования;

V – высота наведения на рейке (высота визирования).

Из прямоугольного треугольника OMN, видно, что

$$h' = d \times \mathrm{tg}\upsilon, \quad (43)$$

или, учитывая, что

$$d = D \times \cos^2\upsilon, \quad (44)$$

получим

$$h' = D \times \cos^2\upsilon \times \sin\upsilon / \cos\upsilon = 0{,}5D \times \sin 2\upsilon. \quad (45)$$

Окончательно с учетом формулы (45) превышение

$$h = 0{,}5D \times \sin 2\upsilon + i - V. \quad (46)$$

Если при измерении углов наклона средний штрих сетки нитей тахеометра наводят на высоту прибора, то есть V = *i*, формулы (42), и (46) примут более простой вид:

$$h = h' = d \times \mathrm{tg}\upsilon; \quad (47)$$

$$h = 0{,}5\,D \times \sin 2\upsilon; \quad (48)$$

Вычисления по формулам (47) и (48) можно выполнять с помощью специальных тахеометрических таблиц, в которых по аргументам (D) и (υ) определяются горизонтальное проложение (*d*) и величина превышения над горизонтальным лучом (*h*').

При выполнении съемки техническими теодолитами работа на станции выполняется в следующем порядке.

1. Теодолит устанавливают над точкой в рабочее положение, измеряют высоту прибора *i* и отмечают ее на рейке.

2. При КЛ совмещают нули лимба и алидады и вращением лимба визируют зрительной трубой на предыдущую (иногда последующую) станцию; тем самым лимб ориентируется нулевым делением по выбранному начальному направлению. Лимб закрепляют.

3. Открепив алидаду, производят последовательное визирование на снимаемые пикетные точки, на которых устанавливается рейка. Зрительную трубу наводят на рейку так, чтобы вертикальная нить сетки совместилась с осью рейки, а горизонтальная — с меткой, соответствующей высоте прибора. Берут отсчеты по нитяному дальномеру, горизонтальному и вертикальному кругам и записывают их в журнал (табл.9).

В графе «Примечание» указывают место расположения реечной точки, характер рельефа в данной точке и другие сведения, необходимые для вычислений и при последующем составлении плана. Если реечная точка является только контурной, то при ее съемке отсчет по вертикальному кругу не берется.

7.6.3. Съемка ситуации и рельефа. Абрис

Съемка местных предметов, контуров и рельефа местности производится, как правило, полярным способом; в исключительных случаях (при съемке недоступных местных предметов) применяется способ угловых или линейных засечек. Превышение точек местности определяют тригонометрическим нивелированием.

Вокруг каждой станции намечают *реечные (пикетные) точки,* необходимое количество которых зависит от характера рельефа, сложности ситуации и масштаба съемки. Реечные точки выбирают на характерных точках рельефа — на вершинах и подошвах холмов, на дне и бровках котловин и оврагов, по линиям водоразделов и водосливов (тальвегов), на перегибах скатов и седловинах, а также в характерных точках контуров и у местных предметов. Чем крупнее масштаб съемки, меньше принятая высота сечения рельефа и сложнее характер снимаемой местности, тем больше должно быть число реечных точек.

Рассмотрим на примере (рис. 57) как правильно выбрать установку реек для изображения рельефа.

Для изображения рельефа устанавливают рейку на всех точках

перегибов местности по характерным линиям рельефа с таким расчетом, чтобы скат между соседними реечными точками можно было считать равномерным, допуская колебания в пределах не более половины высоты сечения рельефа горизонталями. Так, для того чтобы изобразить рельеф холма, реечник должен последовательно установить рейку в следующих точках: 1—9, 12, 13, 14 — для определения подошвы холма; 15, 16, 17, 30, 31 — перегибов скатов; 20, 26, 29 — вершины холма; 21, 27 — седловин; 10, 11, 19, 22, 28 — направлений линий тальвегов лощин и т. п. В пределах снимаемого участка местности должны быть сняты все объекты ситуации, выражающиеся в заданном масштабе плана. При выборе контурных точек следует иметь в виду, что изгибы снимаемых контуров меньше 0,5 мм в масштабе плана спрямляются.

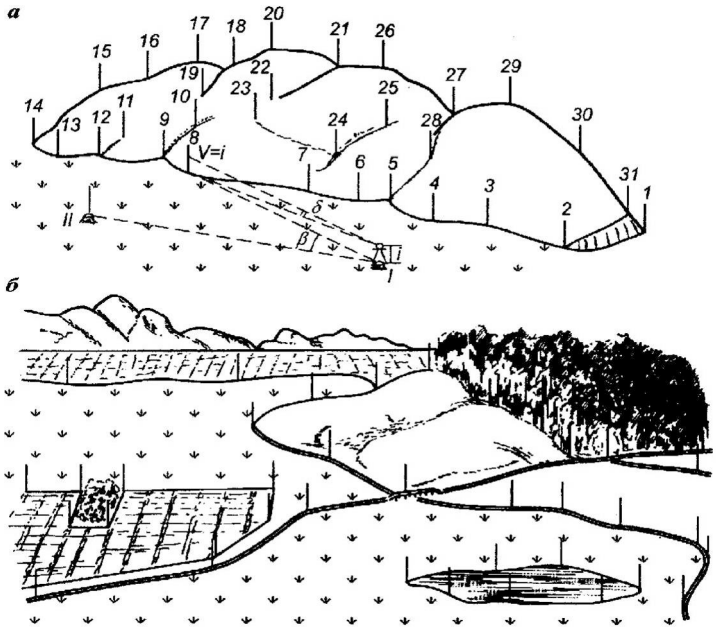


Рис.57. Реечные пикеты а) высотные; б) контурные

Таблица 9

Журнал тахеометрической съемки

Точка стояния III ориентир. на т. II 18 июля 2013 г.

H = *435,57 м* *i = 1,42 м* V = *i* МО = 0°01' Теодолит 2Т30 № 05784

№ точки визирования	Отсчеты по кругу		Дальномерные расстояния D =, м	Угол наклона *υ*	Горизонт, проложение *d*, м	Превышение *h*, м	Абсолютная отметка H, м	Примечание
	горизонтальному	вертикальному						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
т. II	0°00'							
28	12°32'	+2°03'	37,2	+2°02	37,2	+1,32	436,89	лощина
29	47° 16'	+5°27'	54,3	+5°26'	53,8	+5,13	440,70	дорога
52	342°12	-2°04'	78,3	-2°05'	78,2	-2,84	431,15	граница леса
т. II	0°01'							

Вращением алидады визируют на следующую реечную точку и повторяют те же действия.

Для каждой реечной точки с помощью микрокалькулятора либо по тахеометрическим таблицам находят горизонтальное проложение и превышение. После съемки 20 — 30 реечных точек, а также по окончании работы на станции повторно визируют по начальному направлению и берут контрольный отсчет по горизонтальному кругу; если контрольный отсчет отличается от 0° не более ±1,5', то ориентировку лимба считают ненарушенной.

Для контроля и во избежание пропусков (незаснятых участков) в съемке местности на смежных станциях выполняют съемку с перекрытием, равным максимально допустимому расстоянию между соседними пикетными точками для данного масштаба съемки. Нумерация пикетных точек на всех станциях принимается сквозной. В процессе съемки на каждой станции одновременно с полевым журналом ведется *абрис* — схематический чертеж местности. На абрис наносят по полярным координатам (ß, d) все реечные точки и контуры местности; стрелками, соединяющими соседние пикетные точки, между которыми имеется равномерный уклон, указывают направления скатов; пунктиром показывают линии водоразделов и тальвегов; условными горизонталями изображают отдельные ясно выраженные формы рельефа. Абрисы выполняют условными знаками с пояснительными подписями,

примерно выдерживая масштаб съемки. Для каждой станции абрис составляется на отдельном листе.

Абрис удобно составлять на круговой номограмме (рис. 58), представляющей собой ряд концентрических окружностей через 1 см и радиальных кривых, проведенных через 10°. Станция, с которой ведется съемка, принимается в центре номограммы; вертикальный диаметр номограммы принимается за начальное направление, от верхнего конца которого ведется отсчет горизонтальных углов. Реечные точки наносят по полярным координатам: расстояния отсчитывают по концентрическим кругам в принятом для номограммы масштабе, а полярные углы — по градусному кольцу. Ведение абриса является одной из наиболее ответственных операций тахеометрической съемки, так как составление плана производится в камеральных условиях, когда исполнитель не видит перед собой местности; следовательно, от качества абриса во многом зависит правильность изображения на плане ситуации и рельефа местности.

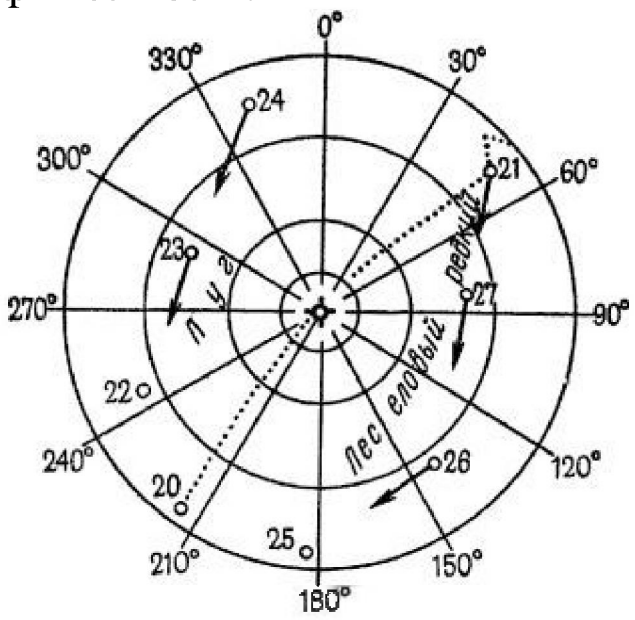


Рис.58.Абрис на круговой номограмме

Когда полярный способ из – за особенностей рельефа не применим, то можно использовать один из следующих способов:

способ прямоугольных координат;

способ створов;

способ засечек (угловых, линейных, комбинированных);

Способ прямоугольных координат.

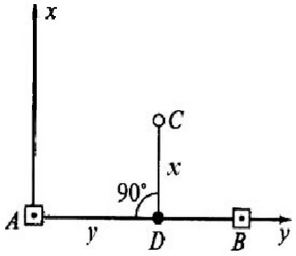


Рис.59. Прямоугольных координат

Этот способ наиболее целесообразно использовать в том случае, когда объекты расположены недалеко от стороны теодолитного хода АВ.

В точке D устанавливают теодолит и строят прямой угол к направлению АВ. По перпендикуляру измеряют рулеткой расстояние *x* (рис.59). и закрепляют полученную точку. Для контроля положение точки С можно получить, выполнив разбивку от другого пункта разбивочной основы.

Способ угловой засечки.

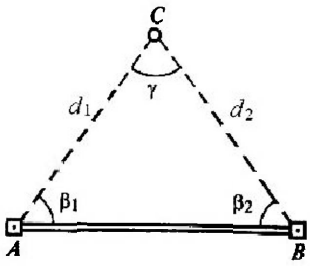


Рис. 60. Способ угловой засечки

Очень часто условия рельефа осложняют выполнение линейных измерений, и если при этом определяемая точка находится на значительном удалении от пунктов разбивочной основы, то целесообразно положение точки получать с помощью построения двух углов засечки β_1 и β_2 (рис. 60).

Определяется положение искомой точки С при помощи двух горизонтальных углов β_1 и β_2.Точку С находят, измеряя на исходных пунктов А и В углы β_1 и β_2. Точка С будет располагаться на пересечении двух створов АС и ВС.

Способ линейной засечки.

Данный способ применяют в том случае, когда точки расположены от пунктов на расстоянии, не превышающем длину мерного прибора. Искомая точка С на местности получается пересечением двух дуг, проведенных радиусами АС и ВС (рис. 61).

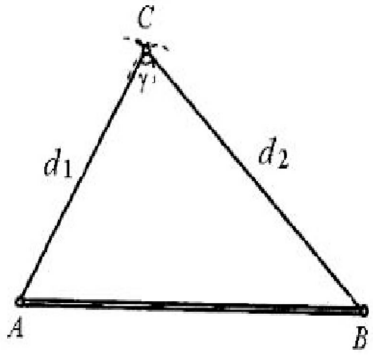


Рис.61. Способ линейной засечки

Наиболее удобно выполнять работу при помощи двух рулеток. От точки А по рулетке измеряют расстояние d_1, а от точки B по второй рулетке – расстояние d_2.

Способ створной засечки или способ створов.

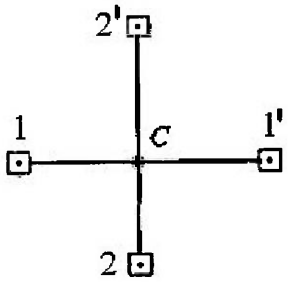


Рис.62. Способ створной засечки

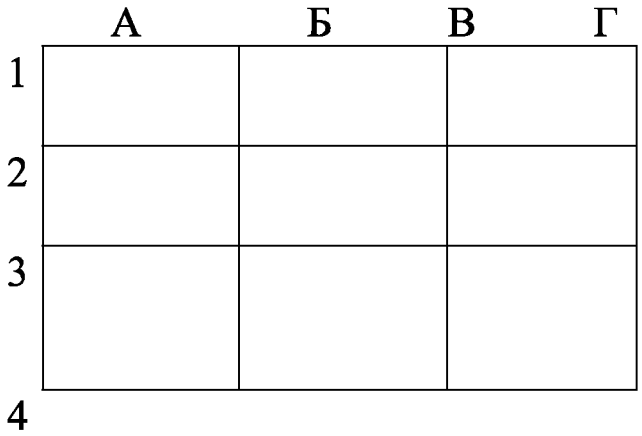
Способ створной засечки или способ створов применяется когда съёмка выполняется на строительной площадке и имеются разбивочных осей зданий и сооружений, монтажных осей конструкций, технологического оборудования. Положение точки С в способе створной засечки определятся пересечением двух створов, задаваемых между исходными точками (рис. 62). Наилучшая засечка получается, когда створы пересекаются под прямым углом. Створы желательно строить двумя теодолитами. В створном

способе важное значение имеет центрировка теодолитов, особенно в направлениях, перпендикулярных к заданному створу.

7.7. Вертикальная съёмка

Нивелирование поверхности производят для получения топографического плана местности в крупных масштабах, а также для выполнения вертикальной планировки площадок. На строительной площадке достаточно часто возникает необходимость в получении высотных отметок, чтобы произвести нивелировку площади под строительство объекта и для повышения производительности геодезических работ используют *методику – нивелирования по квадратам*

В зависимости от характера рельефа местности нивелирование поверхности может быть выполнено или путем нивелирования вершин построенной на местности сетки квадратов, или проложением теодолитных и нивелирных магистральных ходов с поперечниками.



Ри.63.Разметка квадратов при нивелировании

Обычно нивелирование поверхности по квадратам применяют для равнинной местности, а нивелирование по магистралям с поперечниками используют при пересеченной местности с значительными углами наклона.

Наиболее распространенным способом нивелирования поверхности является нивелирование по квадратам. В этом способе на участке местности, намеченном под строительство, разбивают *сетку квадратов*. Длины сторон квадратов обычно берут от 20 до 200 м с таким расчетом, чтобы они на плане были равны 2–6 см.

Вершины квадратов закрепляют точкой и сторожком. На сторожке подписывают номер вершины квадрата, состоящий из обозначения двух линий, пересечение которых образует точку, например 1А, 2А, …, 1Б, 2Б и т. д. (рис. 63).

Сетку квадратов строят на местности при помощи теодолита и мерной ленты. Вначале разбивают наружный полигон для чего в одной из вершин полигона, например 1А, устанавливают теодолит. Выбирают и закрепляют вехой исходное направление (например, 1А – 1Г), и от него под углом 90° строят направление 1А – 4А, по которому устанавливают веху. По полученным направлениям мерной лентой или рулеткой откладывают стороны квадратов заданной длины и закрепляют их колышками. Затем теодолит переносят в точку 4А, откладывают от линии 1А – 4А прямой угол и устанавливают веху по направлению 4А – 4Г, вдоль которого отмеряют длины сторон квадратов. Для контроля разбивки производят измерение последней линии 1Г – 4Г, длина которой должна отличаться от теоретической не более чем на 1:1000 от периметра полигона. При соблюдении указанного допуска закрепляют вершины квадратов. Вершины квадратов, которые находятся внутри полигона (2Б, 2В, 3Б и т. д.), находят и закрепляют на пересечении створов, выполняя промеры с вехи на веху. Например, с 2А на 2Д, с 3Д на 3А и т. д.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут *съемку контуров* ситуации и предметов местности, привязывая их к вершинам квадратов. При наличии резких изменений уклонов на сторонах квадратов дополнительно закрепляют плюсовые точки, измеряя до них расстояния от ближайших вершин. Все данные съемки заносят в абрис, в котором также показывают стрелками диагонали квадратов с неизменным уклоном местности.

Для определения высот вершин квадратов производят их нивелирование, которое выполняют или из середины каждого квадрата, или с нескольких станций с общими связующими точками.

Если квадраты имеют большие размеры 50×50 и более то ведут *нивелирование из середины каждого квадрата.* Для этого устанавливают нивелир примерно в центре первого квадрата и берут отсчеты по черной стороне рейки, установленной на всех его вершинах. Потом аналогично нивелируют второй квадрат.

Запись отсчетов ведут на схематическом чертеже (рисунок 64). Для контроля нивелирования во втором квадрате вычисляют разности отсчетов по рейке на точках у стороны, смежной для обоих квадратов.

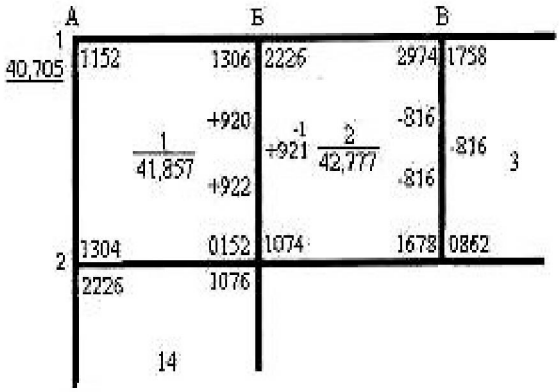


Рис.64 Схема журнала нивелирования по квадратам

Если длины сторон квадратов небольшие, то их нивелирование можно выполнять с нескольких станций с общими связующими точками. Схема такого нивелирования показана на (рис. 65). При нивелировании запись отсчетов по рейкам в этом случае ведут в обычном журнале.

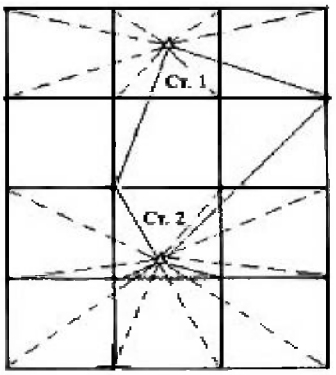


Рис. 65.Схема выбора станций для нивелирования

Вычисление разности горизонтов нивелира по отсчетам на связующих точках, уравнивание этих разностей (при образовании замкнутого или разомкнутого хода), вычисление значений горизонтов нивелиров и по ним высот вершин квадратов производят аналогично тому, как это выполнялось при нивелировании из середины каждого квадрата. При *составлении плана нивелирования поверхности* вначале на листе чертежной бумаги в заданном масштабе строят сетку квадратов, используя для этого дирекци-

онный угол начальной линии и длины сторон квадратов.

Около каждой вершины квадрата выписывают их высоты, округляя до сотых долей метра. Далее при помощи палетки по всем сторонам квадратов и по одной из диагоналей в каждом квадрате с наибольшим постоянным уклоном выполняют интерполирование горизонталей, находя точки пересечения горизонталями сторон квадратов.

Соединяя точки с одноименными высотами плавными кривыми линиями, проводят горизонтали, которые оформляют светло-коричневым цветом толщиной 0,2 мм. Горизонтали кратные 0 и 5 м проводят толще в 2 раза с указанием их высоты. План вычерчивают в условных топографических знаках и оформляют в соответствие с приведенным в методических указаниях для выполнения лабораторных работ примером.

Нивелирование поверхности по магистралям с поперечниками применяют при ярко выраженном рельефе местности и используют для съемки полосы отвода железнодорожных путей, съемки карьеров и водосборных площадей небольших водотоков. При этом способе прокладывают по характерным линиям местности магистральный разомкнутый теодолитный ход с разбивкой на нем поперечников. Затем выполняют нивелирование всех характерных точек поперечников и магистрали. Полученные по результатам нивелирования высоты точек поперечников используют для построения на плане горизонталей.

Для составления топографического плана наносят на чертежной бумаге магистральный ход и перпендикулярно ему поперечники. Высоты характерных точек округляют до сантиметров, и по ним с помощью прозрачной бумаги выполняют интерполирование горизонталей. План оформляют в соответствие с условными топографическими знаками.

Рассмотрим некоторые случаи применения нивелирования поверхности по магистралям с поперечниками. Пусть, например, на рисунке 66. показана площадка карьера строительных материалов.

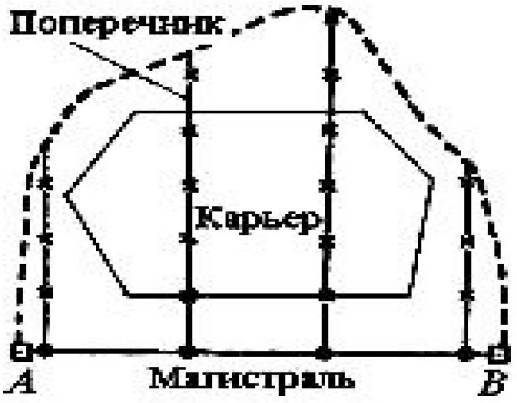


Рис.66. Нивелирование по магистралям

Тогда вне ее прокладывают магистраль (АВ) и через 10–50 м разбивают поперечники с пикетами и плюсовыми точками, которые закрепляют колышками или небольшими столбами. Затем выполняют нивелирование точек магистрали и поперечников, по результатам которого, составляют план и профили по поперечникам.

Контрольные вопросы

1. Виды топографических съёмок.
2. Тахеометрическая съёмка
3. Объясните понятия рекогносцировка, абрис.
4. Последовательность работ на станции при выполнении тахеометрических.
5. Виды топографических съёмок.
6. Объясните понятия рекогносцировка, абрис.
7. Последовательность работ на станции при выполнении тахеометрических работ.
8. Перечислите методы вертикальных съёмок.

Тема 8. Геодезические работы на строительной площадке

8.1. Этапы геодезических изысканий.

Инженерно-геодезические изыскания представляют собой комплекс геодезических и топографических работ, выполняемых в строгой последовательности, причем в каждом конкретном случае последовательность выполнения работ уточняется в соответствии с требованиями технического задания заказчика и с учетом физико-географических условий проведения изысканий. Объек-

том изучения инженерно-геодезических изысканий являются рельеф и ситуация в пределах участка строительства, на выбираемой площадке или трассе.

Виды инженерно-геодезические изысканий:

Инженерно-геодезические изыскания выполняются в три этапа:

- подготовительный,
- полевой,
- камеральный.

В подготовительном этапе выполняются:

- получение технического задания и подготовка договорной (контрактной) документации ;
- сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет на район (участок, площадку) изысканий, а также топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных, находящихся в государственных и ведомственных фондах;
- подготовка программы (предписания) инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания заказчика, с учетом опасных природных и техногенных условий территории;
- осуществление в установленном порядке регистрации (получение разрешений) производства инженерно-геодезических изысканий.

В полевом этапе выполняются:

- рекогносцировочные обследования территории;
- комплекс полевых работ в составе топографо-геодезических работы;
- необходимые вычислительные и другие работы по предварительной обработке полученных материалов и данных для обеспечения контроля их качества, полноты и точности.

В камеральном этапе выполняются:

- окончательная обработка полевых материалов и данных с оценкой точности полученных результатов, с необходимой для проектирования и строительства информацией об объектах , элементах ситуации и рельефа местности , о подземных и надземных сооружениях с указанием их технических характеристик , а также об опасных природных и техноприродных процессах ;

- составление технического отчета (пояснительной записки) с необходимыми приложениями по результатам выполненных инженерно-геодезических изысканий;
- передача в установленном порядке отчетных материалов выполненных инженерно-геодезических изысканий в государственные фонды.

8.2. Элементы геодезических разбивочных работ.

Вынос проектного угла. Разбивочные работы сводятся к нахождению на местности точек, определяющих геометрию сооружения. Плановое положение точек можно определить полярным методом, т.е. путем построения на местности относительно исходной стороны проектного направления (угла) и отложения по нему проектного расстояния от исходного пункта.

Проектный угол строят относительно известного направления *BA* (рис. 67) и известной вершины угла *B*. Теодолит устанавливают над точкой *B,* приводят его в рабочее положение, т. е. центрируют, нивелируют и т. д.. Перекрестие нитей зрительной трубы наводят на точку *A* и берут отсчет по горизонтальному кругу, к этому отсчету прибавляют проектный угол β и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет, при этом визирная ось трубы указывает, направление BC_1 на местности фиксируют точку C_1. Выполнив аналогичные действия при другом круге, получают точку C_2. Из положений точек C_1, C_2 определяют среднее, т. е. точку *C*, и полученный угол *ABC* принимают за проектный.

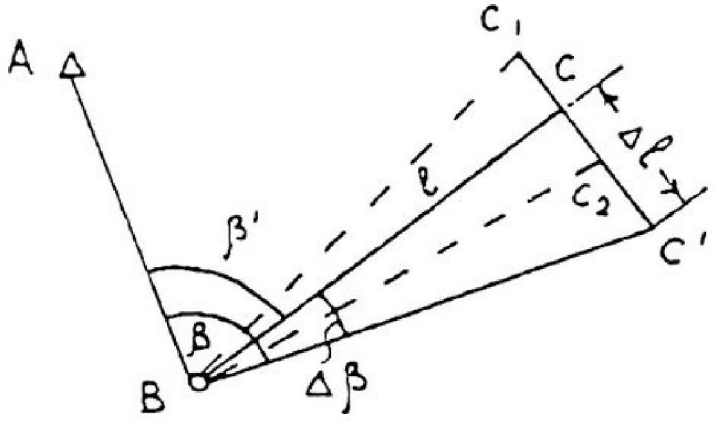


Рис.67. Построение проектного угла

Для построения проектного угла с повышенной точностью угол *ABC* измеряют несколькими приемами и определяют его более точное значение β'. Число *n* приемов можно определить, исходя из следующих соображений.

Так как $\beta' = (\beta_1 + + \beta_2 + ... + \beta_n) / n$, то,

используя формулу средней квадратической ошибки функции при $m_{\beta 1} = m_{\beta 2}..... = m_{\beta n} = m\beta$, находим который при положительном значении откладывают от точки *C* вправо (если смотреть по линии *BC*) в перпендикулярном *BC* направлении и получают точку *C'*. При отрицательном значении Δl его откладывают влево от точки *C*. Угол *ABC'* равен проектному углу β с заданной точностью. Для контроля угол *ABC'* измеряют. Если измеренное значение отличается от проектного β на допустимую величину, то измерения заканчивают. В противном случае выполняют дополнительные измерения для уточнения результата.

Вынос в натуру проектного расстояния. При отложении на поверхности Земли горизонтального проложения линии с помощью мерной ленты (рулетки) нужно учитывать влияние наклона местности, (рис.68) температуру измерений и несоответствие фактической длины мерного прибора ее номинальному значению $\Delta l_k = l - l_0$.

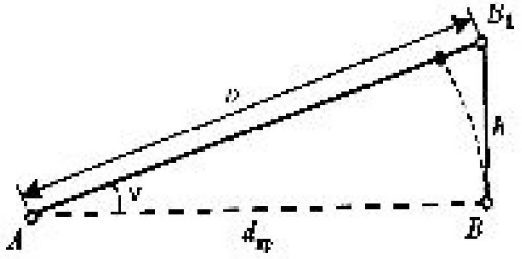


Рис.68. Вынос проектной длины

Значение длины линии на местности D будет отличаться от горизонтального проложения линии d, взятого с проекта, на сумму поправок за наклон Δd_v, за компарирование $\Delta d_к$ и за температуру мерного прибора Δd_t :

$$D = d + \Delta d_v - \Delta d_к - \Delta d_t \quad (48)$$

Поправка за наклон линии Δd_v вычисляется,

$$\Delta d_v = 2d\sin^2(v/2), \quad (49)$$

где v- угол наклона местности.

Если известно превышение между концами выносимого проектного расстояния, то поправка за наклон может быть получена по формуле:

$$\Delta d_v = h^2/2d$$

Поправку за компарирование находят по формуле:

$$\Delta d_к = d\Delta l_к / l\,, \qquad (50)$$

d/ l – количество отложений ленты (рулетки) в проектном расстоянии,

l- фактическая длина ленты (рулетки),

l_0- номинальное значение длины ленты (рулетки).

Поправка за температуру мерного прибора при выносе проектного расстояния в натуру вычисляется по формуле:

$$\Delta d_t = kd(t-t_0), \qquad (51)$$

где t – температура при разбивке (считается равной температуре мерного прибора),

t_0- температура при компарировании ленты (рулетки),

к – коэффициент температурного расширения стали.

От опорной точки в заданном (отложенном) направлении несколько раз откладывают преобразованную проектную длину линии Д и при допустимом расхождении закрепляют среднее положение конечной точки.

Вынос в натуру проектного расстояния можно выполнить также способом редуцирования. В этом случае от опорной точки в заданном направлении откладывают проектное расстояние, закрепляют предварительно. Отложенное расстояние измеряют компарированной рулеткой или лентой несколько раз. В вычисленное затем среднее значение длины отрезка вводят поправки за компарирование $\Delta d_к$, за температуру измерений Δd_t и за наклон линии Δd_v:

$$d = D_{ср} + \Delta d_к + \Delta d_t + \Delta d_v \qquad (52)$$

Далее полученное значение горизонтального проложения линии сравнивают с проектным значением. Затем разницу с соответствующим знаком откладывают при помощи металлической линейки с миллиметровым делениями от предварительно закрепленной точки и получают точку, которую закрепляют колышком как конечную точку проектного отрезка.

Вынос в натуру проектной отметки. На строительной площадке разбивают сеть рабочих реперов такой густоты, чтобы

любую проектную отметку можно было вынести в натуру нивелиром с одной станции. Установив поэтому на ближайший репер с отметкой H_{Rp} рейку, а нивелир посередине между репером и выносимой точкой, берут отсчет **а** по рейке на репере. Определив горизонт прибора H_i по формуле:

$$H_i = H_{Rp} + a, \qquad (53)$$

вычисляют отсчет по рейке **в**, соответствующий проектной отметке $H_{пр}$

$$b = H_i - H_{пр} \qquad (54)$$

Перемещают рейку в выносимой точке вверх или вниз до получения отчета **в**, после чего фиксируют положения пятки на забитом рядом колышке (рис. 69).

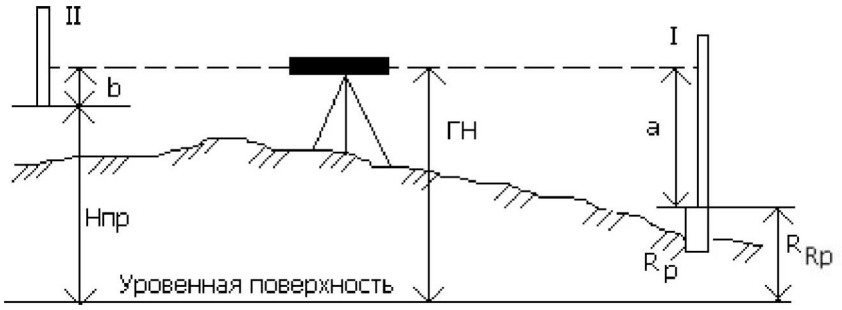


Рис.69. Вынос в натуру проектной отметки.

Если проектная отметка находится ниже уровня земли - выносят отметку, которая будет расположена выше уровня земли и отличается от проектной на целое число дециметров. На колышке надо подписать со знаком минус разность вынесенной и проектной отметок.

Для контроля необходимо проверить превышение между репером и вынесенной проектной точкой обычным нивелированием. Если оно равно разности $H_{Rp} - H_{пр}$ в пределах допуска, работа выполнена верно. В противном случае ее переделывают.

8.3. Геодезические работы при возведении зданий и сооружений

При возведении современных объектов промышленного и гражданского строительства требуется особо точное соблюдение проектной схемы геометрически и технологически связанных между собою сооружений. Для этого на строительной площадке

создается специальная разбивочная основа, обеспечивающая возможность взаимной увязки всех элементов проекта и получения исходных данных для выноса проекта в натуру.

Основой для определения положения точек и линий сооружения могут служить геодезические опорные пункты, строительная сетка, красная линия застройки, предметы местности.

Для выполнения разбивочных работ необходимо иметь следующие *основные технические документы*: разбивочный чертеж с указанием на нем элементов привязки к опорной сети или постоянным предметам местности; рабочие чертежи, на которых в крупных масштабах показаны планы и разрезы, профили всех частей сооружения с размерами и высотами деталей; план организации рельефа; планы и профили дорог, подземных коммуникаций.

До начала выполнения геодезических работ необходимо изучить чертежи строящегося объекта и проверить взаимную увязку размеров, координат и отметок в чертежах, используемых при разбивочных работах, а при необходимости составить дополнительные разбивочные чертежи (схемы). Недостающие для геодезических построений на строительной площадке размеры и отметки должны определяться аналитически. Графическое определение размеров и отметок допускается как исключение при строительстве временных зданий и сооружений.

К началу производства разбивочных работ соответствующие участки должны быть освобождены от строений, подлежащих сносу. Для закладки реперов и знаков, закрепляющих оси зданий и сооружений, должны быть подготовлены свободные места. Для измерения линий, углов должны быть расчищены полосы шириной не менее 1 м.

8.3.1. Геодезическая разбивочная основа для строительства

В *состав геодезических работ*, связанных с их выполнением непосредственно на строительной площадке, входят:

- создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающее построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей зданий и сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений, а также для монтажа технологического оборудования;

- разбивка внутриплощадочных линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);
- создание внутренней разбивочной сети здания (сооружения) на исходном и монтажном горизонтах и разбивочной сети для монтажа технологического оборудования, а также производство детальных разбивочных работ;
- геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки законченных объектов или их отдельных частей с составлением исполнительной геодезической документации;
- геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора.

Указанные выше геодезические работы являются необходимой частью технологии строительно-монтажных работ и осуществляются по единому графику, увязанному со сроками выполнения процесса строительного производства. Для крупных и сложных объектов и зданий выше 9 этажей разрабатываются проекты производства геодезических работ.

Геодезические работы в строительстве выполняются в объеме и с точностью, которые обеспечивают при размещении и возведении объектов строительства соответствие геометрических параметров проектной документации требованиям строительных норм и правил. Поэтому для выполнения работ по геодезическому обеспечению строительства на объектах необходимо иметь разбивочную основу.

Геодезическая основа стройплощадки строится из сети плановых и высотных пунктов и служит для выноса в натуру всех объектов строительства в плане и по высоте на основе проекта.

В соответствии с техническим кодексом установившейся практики ТКП 45-1.03-26-2006 «Геодезические работы в строительстве. Правила проведения» предлагаются *схемы плановой разбивочной сети* строительной площадки в виде строительной сетки, красных линий, центральной системы (рис. 70).

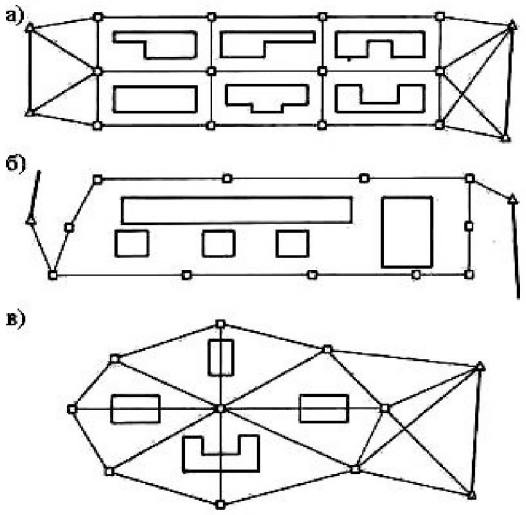


Рис. 70.Схемы плановой разбивочной сети

Такое обоснование позволяет осуществить разбивку основных осей сооружения. Полученную систему пунктов называют внешней разбивочной основой. Схема плановой разбивочной основы строительной площадки выбирается в зависимости от размеров стройплощадки, характера сооружения, требуемой точности работ. Кроме того, на практике стремятся к тому, чтобы точки разбивочной основы были одновременно высотными пунктами, отметки которых получают способом геометрического нивелирования.

Основные требования, которые предъявляются к разбивочной основе, следующие:

- пункты разбивочной основы выбираются таким образом, чтобы они были удобны для установки геодезических приборов и по возможности сохранялись до конца строительства;
- она должна иметь заданную степень точности, которая устанавливается с учетом вида и характера сооружения.

Для геодезических работ в строительстве техническим кодексом установлены средние квадратические погрешности измерений при создании разбивочной сети строительной площадки (таблица 10).

Разбивка и закрепление основных осей сооружений. Весь процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, то есть его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности.

Таблица 10

Средние квадратические погрешности измерений при разбивке сетей строительной площадки

Объекты строительства	Допустимая средняя квадратическая погрешность		
	угловые измерения	линейные измерения	превышения на 1 км хода, мм
Здания на участке площадью более 1 км^2,отдельно стоящие здания с площадью застройки более 100 000 м^2	3"	1/25 000	4
Здания на участке площадью менее 1 км^2;отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки от 10 000 до 100 000 м^2	5"	1/10 000	6
Отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки менее 10 000 м^2; дороги, инженерные сети в пределах застраиваемых территорий	10"	1/5 000	10
Дороги, инженерные сети вне застраиваемых территорий; земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	30"	1/2 000	15

Следующая затем детальная разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

Основным документом, по которому выполняются работы по выносу проекта в натуру, является *разбивочный чертеж*. Его составляют в масштабах 1:500 – 1:2000, а иногда и крупнее, в зависимости от сложности сооружения. На разбивочном чертеже показывают контуры выносимых зданий и сооружений, их размеры и расположение осей, пункты разбивочной основы, разбивочные элементы.

Геодезические работы следует выполнять после предусмотренной проектной документацией расчистки территории, освобождения ее от строений, подлежащих сносу, и, как правило, после вертикальной планировки.

Выбор способа разбивки зависит от вида сооружения, условий его возведения, схемы построения разбивочной основы, требуемой точности выполнения разбивочных работ и т. д.

Главные или основные оси сооружения выносят с точек за-

крепления осей внешней разбивочной сети при помощи теодолита. Эту работу выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита. Рассмотрим случай, когда, согласно проекту генерального плана и данным разбивочного чертежа, необходимо произвести *вынос в натуру здания прямоугольной формы* с размерами в осях 36×90 м. На (рис. 71) указаны все разбивочные размеры с привязками к геодезической основе. В данном примере это стороны строительной сетки с закрепленными на местности вершинами № 25, 26, 37 и 38 (аналогично будет выполняться вынос в натуру сооружения с привязкой от красной линии или от существующих зданий и сооружений).

Сначала выносят более длинную сторону. Для этого от ближайших пунктов геодезической основы (в нашем примере это точки № 25 и 26) переносят в натуру контур здания по способу прямоугольных координат.

Для этого разбивают вспомогательные точки M и N в створе линии между пунктами № 25 и 26. Над точками M и N устанавливают теодолит и строят углы в 90°при двух положениях вертикального круга. От инструмента в направлении NB и MA откладывают последовательно расстояния 30 и 36 м и закрепляют точки A, B, C, D металлическими штырями или кольями. После закрепления вынесенных точек устанавливают на каждой из них теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей.

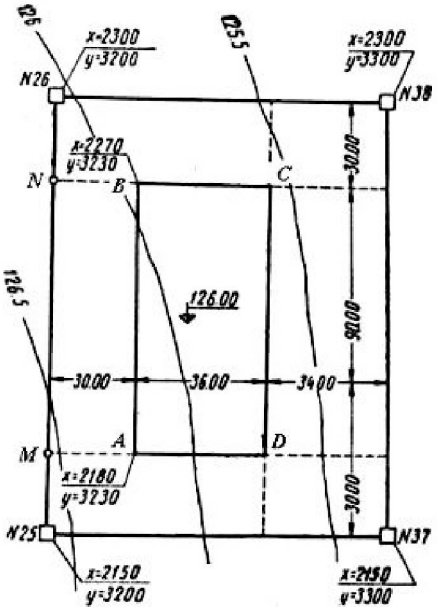


Рис.71. Вынос проектных точек здания в натуру

Кроме того, проверяют соответствие расстояний между осями их проектным значениям, проверяются диагонали здания. Следует иметь в виду, что взаимная перпендикулярность основных осей является одним из главнейших требований, предъявляемых к их разбивке. Расхождения между полученными и заданными размерами не должны превышать 1:2000–1:3000.

При рытье котлована под строящееся здание вынесенные точки A, B, C, D (см. рис.71) будут уничтожены.

Для сохранения основных осей на весь период строительства каждую из них закрепляют створными точками (2) (рис. 72). Если в створе осей находятся капитальные строения (1) то на их стенах оси маркируют яркой несмываемой краской.

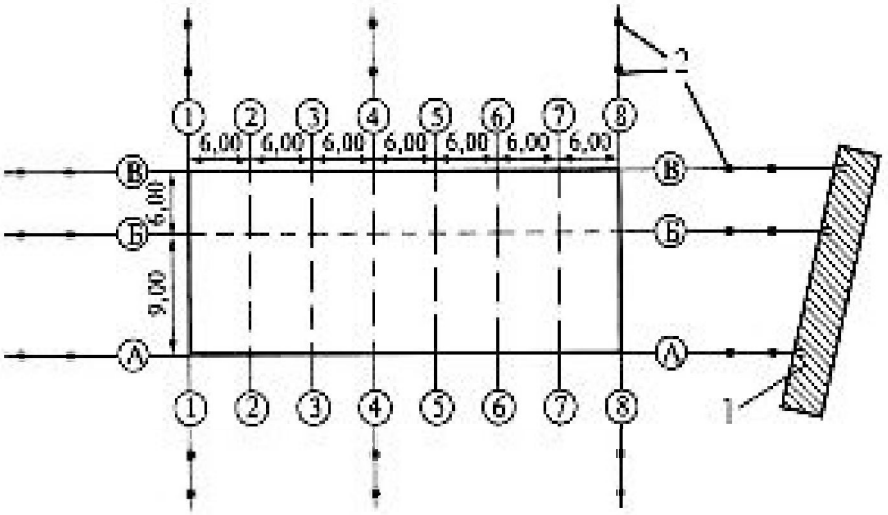


Рис. 72. Закрепление осей сооружения

Створные точки закрепляют за пределами разработки котлована, вне призмы обрушения, в местах. свободных от складирования строительных материалов и т. д., руководствуясь стройгенпланом. При монтаже надземной части здания со створных точек основные оси передаются на его этажи. Поэтому при выборе мест размещения створных точек учитывают и этажность здания: чем оно выше, тем дальше от него должны отстоять створные точки.

На (рис. 72) такими точками будут точки расположенные по осям 1-1, 4- 4, 8-8, А-А, Б-Б, В-В. Оси закрепляют по обе стороны

от габаритов сооружения не менее чем двумя знаками. Знаки, которыми точки закреплены, должны быть тем надежнее, чем сложнее и крупнее сооружение.

8.3.2.Передача осей и отметок на монтажный горизонт

Монтажным горизонтом называется условная плоскость, проходящая через опорные площадки возведенных несущих конструкций определенного этажа надземной части сооружения, на которой ведутся монтажные работы. Для выполнения детальной разбивки осей на монтажном горизонте точки разбивочной основы, определяющие положение осей, переносят с исходного горизонта на монтажный.

В зависимости от типа сооружения, его этажности, конструктивных особенностей и стесненности строительной площадки перенос точек опорной сети на монтажный горизонт может осуществляться наклонным проецированием (рис. 73) с помощью теодолита или вертикальным (рис.74) с помощью приборов вертикального проецирования.

Способ наклонного проецирования обычно применяют при возведении сооружений малой и средней этажности и при наличии больших свободных территорий в пределах строительной площадки. При этом способе теодолит центрируют над створным знаком 1 (см. рис. 73). Наводят трубу на точку на исходном горизонте 2 и затем, поднимая ее в вертикальной плоскости, по вертикальному штриху сетки нитей фиксируют направление оси на перекрытии монтажного горизонта 3. То же самое делают при втором положении вертикального круга и из двух положений оси отмечают среднее.

Аналогичным образом определяют положение оси в перпендикулярном направлении. В пересечении получаем точку на монтажном горизонте как проекцию соответствующей точки исходного горизонта.

При проецировании точек разбивочных осей на монтажные горизонты на точность передачи влияют ошибки наклона оси вращения инструмента, визирования, фиксации точки на монтажном горизонте, установки инструмента в створ, коллимационная ошибка. Это все в сумме может дать ошибку в положении оси на

этаже, достигающую 5–10 мм.

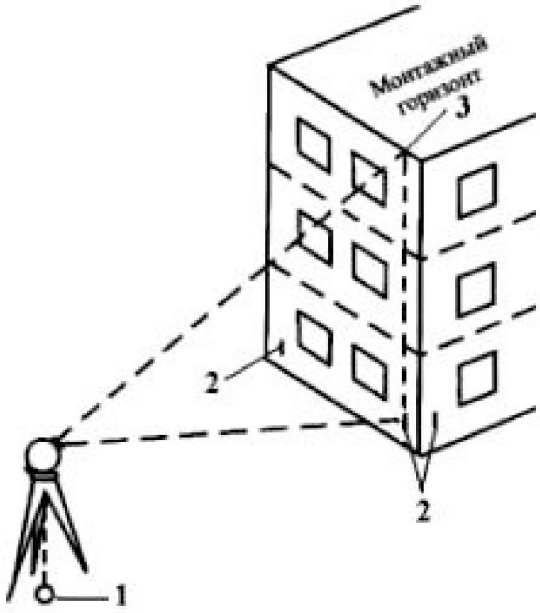


Рис. 73 Способ наклонного проецирования

При возведении зданий повышенной этажности и в стесненных условиях применяют *метод вертикального проецирования* (рис. 74). При использовании этого метода возможны два варианта передачи осей.

1. Сквозной, при котором точки с исходного горизонта проецируются последовательно на все монтажные горизонты.
2. Шаговый, когда проецирование ведется с исходного на первый монтажный горизонт, с первого на второй и т. д. В обоих случаях методика выполнения работ одинакова.

При этом способе передачи осей применяют приборы вертикального проецирования (ПВП). К ним относятся оптический двухсторонний центрир ОДЦ, прибор оптического вертикального проецирования ПОВП, прибор вертикального проецирования PZL, лазерный зенит-центрир и др.

Опорные точки располагают на линии, параллельной оси конструкции, непосредственно на перекрытии исходного горизонта либо за пределами сооружения на выносных площадках. Места расположения этих точек выбираются таким образом, чтобы их можно было использовать в течение всего периода строительства.

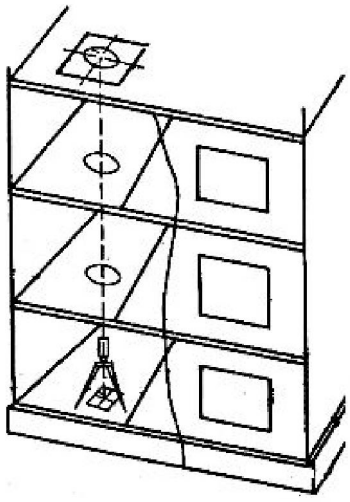


Рис. 74 Метод вертикального проецирования

Для переноса осей на следующие горизонты над опорной точкой устанавливается прибор, и опорная точка проецируется по вертикали на специальную палетку, закрепленную над отверстием в перекрытии монтажного горизонта. Применение приборов вертикального проецирования ускоряет процесс переноса осей на этажи и позволяет выполнять разбивочные работы одновременно с монтажными работами.

Наблюдения за креном сооружения

Креном называется отклонение сооружения от проектного положения в вертикальной плоскости. Крен – это вид деформации свойственный в основном сооружениям башенного типа. Причиной крена могут быть неравномерная осадка сооружения в целом, изгиб и наклон верхней части его из-за одностороннего температурного нагрева, ветрового воздействия и т. д.

Наблюдения за кренами высотных сооружений могут быть систематическими и разовыми. Целью *разовых* наблюдений является определение только линейной составляющей крена на момент наблюдения, которая используется для оценки состояния сооружения и составления заключения о возможности его эксплуатации. Разовые наблюдения проводят по свободной схеме с наиболее удобных на момент измерения точек. Установку визирных марок на оси сооружения при этом не производят. Целью

систематических наблюдений является определение величины крена и его изменения во времени. При организации систематических наблюдений крена точки установки инструмента, закрепляют на местности долговременно центрами различной конструкции и фиксируют, по крайней мере, двумя визирными марками ось сооружения для наблюдения за ней с каждой точки установки инструмента.

В геометрическом плане сущность измерения крена сводится к определению взаимного положения двух точек *A* и *B* сооружения, которые по условиям проектного решения должны лежать на одной отвесной линии.

Крен характеризуется двумя величинами: углом γ между вертикальным направлением и наклонным (фактическим) *AB* и горизонтальной проекцией наклонной линии сооружения *b* на горизонтальную плоскость.

Для определения величины крена применяют следующие способы.

Способ вертикального проектирования. При этом способе возможны следующие варианты. Наиболее просто определить величину крена построением вертикали с помощью механического отвеса рис. 75. В этом случае нить отвеса совмещают с осью сооружения в его верхнем сечении. В нижнем сечении по линейке с миллиметровыми делениями измеряют отклонение *b* точки отвеса от оси сооружения в его нижнем сечении. Угловая величина крена

$$\gamma = \operatorname{arctg}(b / a). \qquad (55)$$

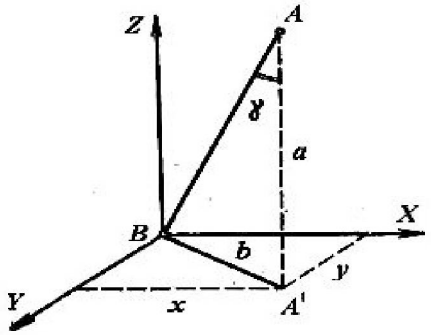


Рис.75. – Определение крена

Точность измерения крена в этом случае невелика и зависит от отклонения отвеса от вертикали под влиянием движения воздуха.

В сложных условиях, особенно для сооружений большой высоты, для определения величины крена с более высокой точностью применяют приборы вертикального визирования (ПВП). Для этого над осью сооружения в нижнем сечении устанавливают прибор, а в верхнем сечении определяют величину смещения. В том случае, если прибор нельзя установить внутри сооружения, поступают следующим образом (рисунок 8.26). По направлению одной из осей откладывают небольшой отрезок a, и над полученной точкой A устанавливают прибор вертикального визирования. В верхнем сечении устанавливают горизонтально рейку и берут по ней отсчет b. Отклонение определяют следующим образом:

$$\Delta = (R_{\text{Н}} + a) - (R_{\text{В}} + b). \qquad (56)$$

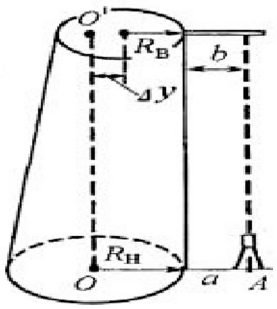


Рис. 76 – Определение крена с помощью ПВП

При определении величины крена с помощью теодолита инструмент последовательно устанавливают на каждой из осей x и y рис. 77. Точку B проектируют при двух положениях вертикального круга на миллиметровую линейку, располагаемую поочередно в направлениях створов перпендикулярно оси визирования.

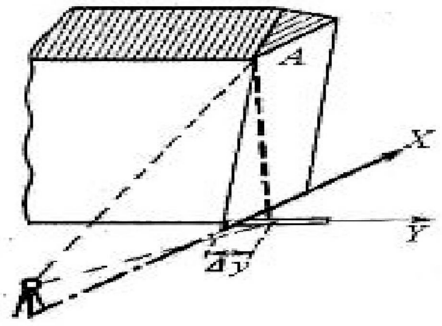


Рис. 77 – Определение крена с помощью теодолита

По полученным отклонениям Δx и Δy определяют линейную Δ и угловую α величину крена:

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad (57)$$

$$\alpha = \text{arctg}\,(\Delta y / \Delta x). \quad (58)$$

Способ координат. При этом способе вокруг сооружения на расстоянии, равном одной-двум его высотам, закладывают не менее трех опорных пунктов *A*, *B* и *C* и определяют в условной системе их координаты рис. 78.

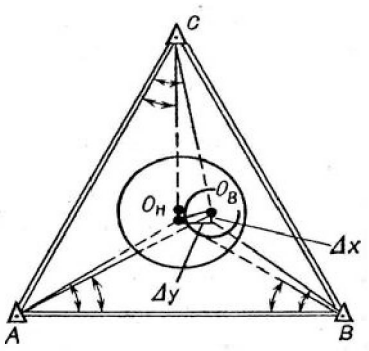


Рис. 78. – Способ координат

С этих пунктов через определенные промежутки времени прямой засечкой определяют координаты оси сооружения в его нижнем и верхнем сечениях.

Вычисляют по формулам прямой угловой засечки координаты оси сооружения для нижнего и верхнего сечений. При засечках для определения направления на ось сооружения производят отсчеты по левой и правой наружным граням, а за окончательное значение принимают среднее арифметическое.

По разностям координат в двух циклах наблюдений находят составляющие крена Δx и Δy по осям координат и определяют линейную Δ и угловую α величины крена.

Точность определения линейного элемента крена при систематических наблюдениях характеризуется величиной средней квадратической погрешности порядка 6–10 мм при высоте сооружения 100 м и использовании высокоточного теодолита типа Т2.

Контрольные вопросы

1. Перечислить основные этапы геодезических изысканий.
2. Назовите основные элементы выноса в натуру проектных данных.
3. Вынос в натуру проектного угла.
4. Вынос в натуру проектной линии.
5. Перечислите методы геодезических наблюдений за креном здания.
6. Методы переноса проектных данных на горизонты многоэтажного здания.