

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии

А.М. Зеленский, Л.Ф. Зуева, Г.В. Фолитар

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Методическое пособие

для студентов специальности

1 – 70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

Брест 2009

УДК 528.4 (075.8)

ББК 26 1я73

3 48

Рецензенты:

доцент кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета, кандидат технических наук Н.В. Синякина;
доцент кафедры геодезии и кадастров Полоцкого государственного университета,
кандидат технических наук Л.А. Черкас

3 48

Зеленский А.М., Зуева Л.Ф., Фолитар Г.В.

Инженерная геодезия (методическое пособие). – Брест: Издательство БрГТУ, 2008. – 104 с., илл. 92, табл. 23, библи. 15 назв.

ISBN 976-985-493-085-5

Рассмотрены основные виды геодезических измерений: линейные, угловые, нивелирование. Топографические съемки. Приборы и принадлежности для создания плано-высотного обоснования. Геодезические методы обмеров фасадов и интерьеров зданий и сооружений имеющих форму тел вращения. Даны основы фотограмметрии.

Приведены типовые вопросы для подготовки к зачету и экзамену и типовые задачи.

Издание предназначено для студентов специальности 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» дневной и заочной форм обучения, будет полезно при изучении теоретического материала, выполнении лабораторных и расчетно-графических работ, при подготовке к зачету и экзамену, а также при прохождении летней геодезической практики.

УДК 341.7(075.8)

ББК 66.49я73

ISBN 976-985-493-085-5

© Зеленский А.М., 2008

© Зуева Л.Ф., 2008

© Фолитар Г.В., 2008

© Издательство БрГТУ, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Зрительные трубы и уровни геодезических инструментов. Линейные измерения	5
1.1 Зрительные трубы и уровни геодезических инструментов.....	5
1.2 Линейные измерения.....	7
1.2.1 Общие сведения.....	7
1.2.2 Измерение расстояний мерной лентой.....	9
1.2.3 Измерение расстояний нитяным дальномером.....	12
1.2.4 Измерение расстояний светодальномерами.....	14
1.2.4.1 Электронный тахеометр 3Та5Р.....	15
1.2.5 Ручные лазерные дальномеры (лазерные рулетки).....	17
2. Угловые измерения	20
2.1 Принцип измерения горизонтального угла теодолиты.....	20
2.2 Устройство теодолита Т30, 2Т30.....	21
2.3 Вертикальный круг теодолита Т30, 2Т30.....	23
2.4 Поверки теодолита.....	25
2.5 Определение теодолитом магнитного азимута.....	29
2.6 Измерение горизонтальных углов.....	29
2.6.1 Способ приемов.....	30
2.6.2 Способ круговых приемов.....	31
3. Нивелирование	32
3.1 Общие сведения. Нивелирные знаки.....	32
3.2 Сущность геометрического нивелирования.....	34
3.3 Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования.....	35
3.4 Устройство нивелира НЗ и НЗК.....	36
3.5 Поверки нивелиров Н-З, Н-ЗК (Н-ЗКЛ).....	39
3.6 Программа работы на станции при техническом нивелировании.....	41
3.7 Обработка результатов технического нивелирования.....	42
3.8 Сущность гидростатического нивелирования.....	45
3.9 Тригонометрическое нивелирование.....	46
4. Топографические съемки	49
4.1 Общие сведения.....	49
4.2 Проложение теодолитных ходов.....	50
4.3 Вычисление координат вершин теодолитного хода.....	51
4.4 Теодолитная съемка.....	56
4.5 Построение плана теодолитной съемки.....	57
4.6 Тахеометрическая съемка.....	60
4.6.1 Общие сведения.....	60
4.6.2 Порядок работы на станции при тахеометрической съемке. Обработка журнала тахеометрической съемки.....	61
4.6.3 Построение плана по результатам тахеометрической съемки.....	62
4.7 Нивелирование поверхности.....	65
4.8 Мензуральная съемка.....	69
4.9 Аэрофототопографический способ.....	70

4.10 Фототеодолитная съемка.....	71
5. Геодезические способы обмеров зданий и сооружений.....	72
5.1 Общие сведения.....	72
5.2 Обмер зданий с помощью теодолита.....	72
5.3 Принцип фотограмметрического способа обмера.....	73
5.4 Способы определения вертикальности стен.....	74
5.5 Планово-высотная съемка элементов здания.....	75
5.6 Определение расстояний, недоступных для непосредственного измерения..	78
5.7 Определение вертикального размера фасада.....	80
5.8 Определение параметров сооружений, имеющих форму тел вращения....	82
5.9 Определение площадей.....	84
6. Основы фотограмметрии.....	86
6.1 Понятие об аэро- и космических съемках.....	86
6.2 Виды аэрокосмических съемок.....	88
6.3 Продольное и поперечное перекрытие аэрофотоснимков.....	89
6.4 Геометрические свойства снимка.....	90
6.5 Геометрические свойства горизонтально расположенного снимка.....	91
6.6 Трансформирование аэрофотоснимков.....	93
6.7 Стереоскопическое изучение снимков.....	94
6.8 Ориентирование и дешифрирование снимков.....	95
Приложение 1 Программа выполнения лабораторных работ и самостоятель- ная работа студентов.....	97
Приложение 2 Геодезическая практика. Перечень работ и предусмотренные для них сроки выполнения.....	98
Приложение 3 Вопросы для подготовки к зачету и экзамену.....	99
Приложение 4 Типовые задачи в экзаменационных билетах.....	101
Литература.....	103

1. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ И УРОВНИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Зрительные трубы и уровни геодезических инструментов

Зрительная труба – это оптико-механическое устройство, предназначенное для наведения на цель и рассматривания её в увеличенном виде.

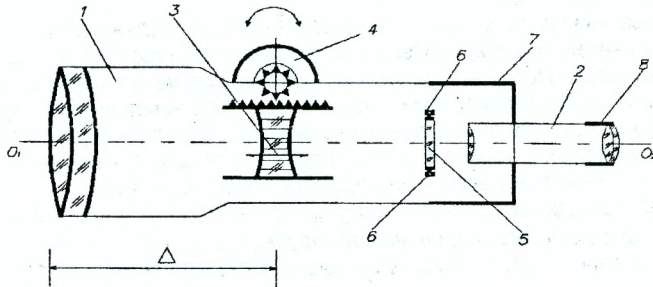


Рис. 1.1. Оптическая схема трубы с внутренней фокусировкой

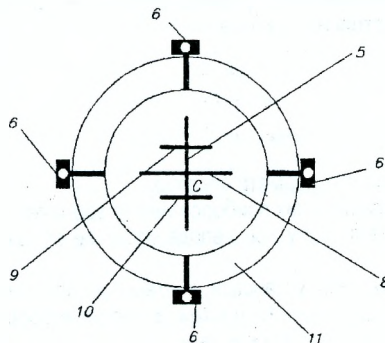


Рис. 1.2. Принципиальное устройство крепления сетки нитей

Зрительная труба изобретена в 1608 году голландским шлифовщиком очковых стёкол Гансом Липергею. В дальнейшем труба усовершенствована в 1609 году итальянским физиком-математиком Галилео Галилеем. Однако эти трубы не сыграли значительной роли в геодезии, потому что они не имели сетки нитей. В 1611 году известный астроном Иоганн Кеплер изобрёл новую линзовую систему с сеткой нитей. Принцип устройства этой трубы сохранён в современных геодезических инструментах.

Зрительные трубы могут быть с внутренней и внешней фокусировкой.

Зрительная труба состоит из системы линз, которые смонтированы в объективном колене 1 и окулярном 2 (рис. 1.1). Фокусирование предмета (чёткость изображения предмета) производится путём перемещения вдоль трубы двояковогнутой (рассеивающей) линзы 3. Последняя перемещается вращением кремальеры 4 (фокусирующий винт). Этот процесс называется установкой трубы по предмету. Для наведения на определённую точку рассматриваемого предмета выгравирована на плоскопараллельной стеклянной пластинке 5 сетка нитей (рис. 1.1 и 1.2). Сетка нитей может иметь различную конфигурацию в зависимости от назначения зрительной трубы и точности измерений.

Она представляет стеклянную пластинку в металлической оправе, крепится между объективом и окуляром при помощи исправительных винтов 6 и может перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях за счёт зазора 11. Исправительные винты закрыты защитным колпаком 7. На сетке нанесены четыре нити (рис. 1.2), две из которых наиболее длинные 12 и 13, они соответственно называются горизонтальной и вертикальной нитью. Точка С (рис. 1.2) называется **пересечением сетки нитей**. Две другие, более короткие горизонтальные нити 9 и 10 называются **дальномерными** и предназначены для измерения расстояний.

При наведении на точку плоскость изображения точки должна совпадать с изображением сетки нитей. При невыполнении этого условия возникает, так называемый, параллакс сетки нитей - кажущееся смещение положения предмета в трубе при вертикальном или горизонтальном перемещении глаза наблюдателя относительно окуляра зрительной трубы. Для устранения параллакса нужно вначале установить трубу по глазу, т.е. вращением диоптрийного кольца 8 (рис. 1.1) добиться чёткого изображения сетки нитей, а затем вращением кремальеры 4 добиться отсутствия параллакса.

Прямая, проходящая через оптический центр объектива O_1 и центр сетки нитей С, называется **визирной осью зрительной трубы**, её положение можно изменять перемещая сетку винтами 6, а прямая, проходящая через оптические центры объектива O_1 и окуляра O_2 , называется **оптической осью зрительной трубы**.

Увеличение трубы принимается равным отношению фокусного расстояния объектива $f_{об.}$ к фокусному расстоянию окуляра $f_{ок.}$

$$v = \frac{f_{об.}}{f_{ок.}}, \quad (1.1)$$

$$\text{или } v = \frac{D}{d}, \quad (1.2)$$

где D – диаметр объектива; d – диаметр окуляра.

Зрительные трубы геодезических приборов имеют увеличение от $15\times$ до $50\times$ (крат).

Пространство, видимое в трубу при неподвижном её положении, называется полем зрения трубы.

Уровни предназначены для установки в отвесное или горизонтальное положение прибора в целом или отдельных его частей. В геодезических приборах применяются уровни двух типов: цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 1.3, а) представляет собой стеклянную трубку (ампулу) 1, внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определённого радиуса. Радиус кривизны в зависимости от назначения уровня может быть от 3,5 до 300 м. Стеклянная трубка заполняется нагретым до $+60^\circ$ спиртом 2 или эфиром и запаивается. После охлаждения жидкость сжимается, и в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называется пузырьком уровня. 3. На верхней части ампулы цилиндрического уровня нанесены деления. Средняя точка шкалы делений (точка О на рис. 1.3,б) называется нуль-пунктом уровня. Прямая UU, касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте, называется **осью цилиндрического уровня**.

Изготовленная таким образом ампула вставляется в металлическую оправу, один конец которой (5) скреплен с прибором шарнирно, а другой (6) – при помощи винтов 7, которые называются исправительными винтами уровня. На верхней части ампулы нанесены деления длиной $\ell = 2$ мм. Цена деления уровня определяется величиной центрального угла, на который нужно наклонить уровень, чтобы пузырек сместился на одно деление ампулы. Согласно рис. 1.3, б цена деления равна

$$\tau = \frac{\ell \cdot \rho}{R}, \quad (1.3)$$

где ℓ – линейная величина одного деления уровня; $\rho = 206265''$ – число секунд в радиане; R – радиус дуги внутренней поверхности ампулы уровня.

В геодезических инструментах используются цилиндрические уровни с ценой деления от $6''$ до $60''$.

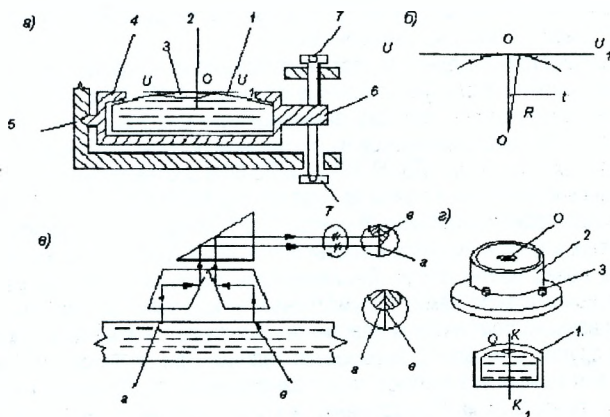


Рис. 1.3. Уровни

Пузырёк уровня всегда стремится занять наивысшее положение, поэтому, когда концы пузырька расположены симметрично относительно нуля-пункта, ось уровня занимает горизонтальное положение. Этим свойством пользуются для приведения отдельных частей прибора в горизонтальное положение.

Для повышения точности приведения уровня в нуль-пункт применяют контактные уровни (рис. 1.3, в). Это призмочно - оптическая система, которая передаёт изображение двух концов "а" и "в" пузырька уровня в окуляр трубы. В окуляре видны два конца пузырька, разделённые оптической гранью призмы. Пузырёк считается установленным в нуль-пункт, если его концы видны совмещёнными.

Круглый уровень (рис. 1.3, г) представляет собой стеклянную ампулу с отшлифованной внутренней сферической поверхностью определённого радиуса. За нуль-пункт O круглого уровня принимается центр окружности, выгравированной в середине верхней поверхности ампулы. **Осью круглого уровня** является нормаль KK_1 , проходящая через нуль-пункт O перпендикулярно к плоскости, касательной внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте. Ампула вставляется в металлическую оправу 2, которая крепится к прибору тремя винтами 3. Винты называются исправительными. Круглый уровень имеет, как правило, небольшую чувствительность (цена деления от $3'$ до $20'$) и применяется для предварительной установки прибора в рабочее положение.

1.2. Линейные измерения

1.2.1. Общие сведения

По назначению линейные измерения можно разделить на две группы.

1. Измерение расстояния между точками на земной поверхности. В этом случае конечной целью является определение горизонтального проложения линии местности. Для этого используют как непосредственные, так и косвенные способы измерений.

Высокоточные непосредственные измерения производят подвесными мерными приборами - стальными или инварными проволоками (инвар – сплав железа и никеля, коэффициент температурного расширения его в 12 раз меньше, чем у стали). При помощи подвесных мерных приборов можно измерить расстояния с относительной погрешностью от 1:5000 до 1000000.

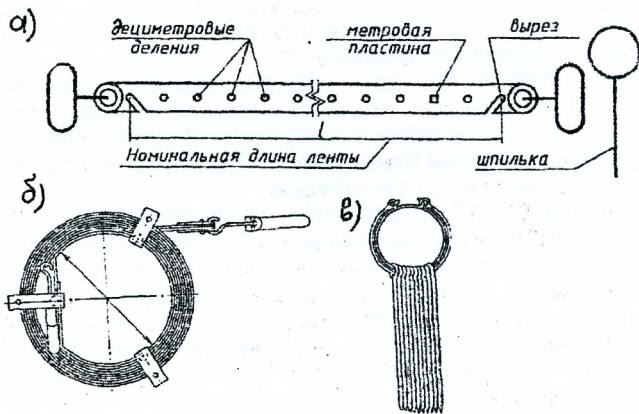
Измерения с меньшей точностью выполняют мерными лентами и рулетками.

К косвенным методам относятся: определение расстояний при помощи оптических дальномеров; светодальномеров; путем различных геометрических построений с использованием угловых и линейных измерений и т.д.

2. Измерение расстояний для определения размеров сооружений или их фрагментов. Для этих целей используют стальные рулетки в 5,10, 20 и 50 м. В нерабочем положении они наматываются на катушку, заключенную в корпусе.

Землемерные ленты изготавливаются из стальной полосы шириной 10-15 мм, толщиной 0,4-0,5 мм. Их обозначают ЛЗ-20, ЛЗ-24 и ЛЗ-50 в соответствии с длиной 20, 24 и 50 м между концевыми штрихами ленты при натяжении 98 Н (10 кг).

Наиболее распространены штриховые ленты ЛЗ-20. Концы ленты снабжены ручками, напротив концевых штрихов имеются вырезы для шпилек (рис. 1.4, а), которыми лента фиксируется на поверхности земли. Дециметровые деления на ленте маркированы двухмиллиметровыми отверстиями; полуметровые – круглыми заклепками; метровые деления оцифрованы на ромбических пластинках. Конец ленты с меткой 20 м называется передним, а другой, с меткой 0, называется задним. При двухсторонней оцифровке концы ленты и вся оцифровка меняют свое назначение на противоположное. Погрешность отсчета по ленте 0,01 м. При хранении и транспортировке ленту наматывают на специальное металлическое кольцо (рис. 1.4, б). В комплект ленты входят 6 или 11 штук металлических шпилек (рис. 1.4, в).



а - лента в развёрнутом виде; б - лента в намотанном виде; в - комплект шпилек

Рис. 1.4. Землемерная лента

Рулетки РК изготовлены из стальной ленты (ширина 1 см, длина 50, 75 и 100 м), намотанной на каркас-крестовину; рулетки РВ (длиной 20,30 и 50 м) в нерабочем состоянии наматаны на каркас-вилку (рис. 1.5).

Наименьшим делением шкалы рулеток являются миллиметровые или сантиметровые деления. В первом случае оцифрован каждый сантиметр (рис. 1.5) и выделены деци-

метровые и метровые деления. Во втором случае оцифрован каждый дециметр и выделены метровые деления.

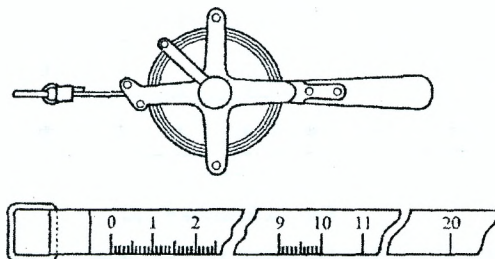


Рис 1.5. Рулетка на вилке

В обмерных работах широко используют ручные лазерные дальномеры (лазерные рулетки), а также дистанционные косвенные измерения при обмере фрагментов зданий, недоступных для непосредственного измерения.

1.2.2. Измерение расстояний мерной лентой

Для непосредственного измерения линий на местности используют землемерные ленты со шпильками (рис. 1.4), рулетки и стальные или инварные проволоки. Землемерные ленты делятся на:

- **штриховые** ЛЗ-20, ЛЗ-24 и ЛЗ-50 длиной 20, 24 и 50 м;
- **шкаловые** ЛЗШ-20, ЛЗШ-50 длиной 20 м и 50 м.

Перед началом измерений ленты или рулетки компарируют. *Компарирование* – это сравнение длины рабочей ленты l с длиной рабочего эталона l_0 , которое выполняется на компараторе. Простейший компаратор можно устроить в виде двух штрихов или шкал, закрепленных на концах гладкого горизонтального бруса или другой горизонтальной поверхности. Поверяемую ленту кладут на поверхность компаратора, натягивают и определяют длину. Если разница между эталоном и мерным прибором превышает $\pm 0,0001$ длины мерного прибора, то её следует вводить в результаты измерений поправки за компарирование. Для мерного прибора длиной 20 м эта разница не должна превышать ± 2 мм.

Длину мерного прибора l можно представить в виде суммы номинала l_0 и поправки за компарирование δ_k

$$l = l_0 + \delta_k \quad (1.4)$$

Измерение длин линий производят в следующей последовательности:

1. Рекогносцировка – предварительное ознакомление с местностью.

2. Вешение линий – установка вех в створе измеряемой линии примерно через 100 м. Створом называют вертикальную плоскость, проходящую через конечные точки. Чтобы не закрывать видимость по створу, вешение выполняют «на себя», т.е. начинают с точки 1, затем устанавливают вешку 2 и т.д. (рис. 1.6).

Если длина линии менее 150 м, и имеется видимость между точками А и В, то вехи устанавливают только в конечных точках измеряемого отрезка.

В сложных условиях, например, при отсутствии прямой видимости между конечными точками или при пересечении линией долины (оврага) вешение производится с двух концов линии. В первом случае (рис. 1.7,а) сначала ставят веху в точке C_1 примерно вблизи от створа линии АВ, и, провесивая линию C_1A , устанавливают веху в точке D_1 . Затем провесивают линию D_1B и перемещают веху из точки C_1 в точку C_2 . Далее снова провесивают линию C_2A , перемещая веху из точки D_1 в точку D_2 и т.д. до тех пор, пока

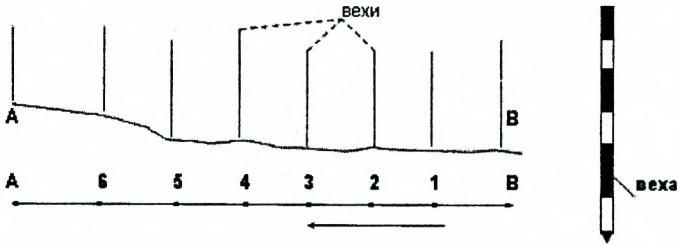
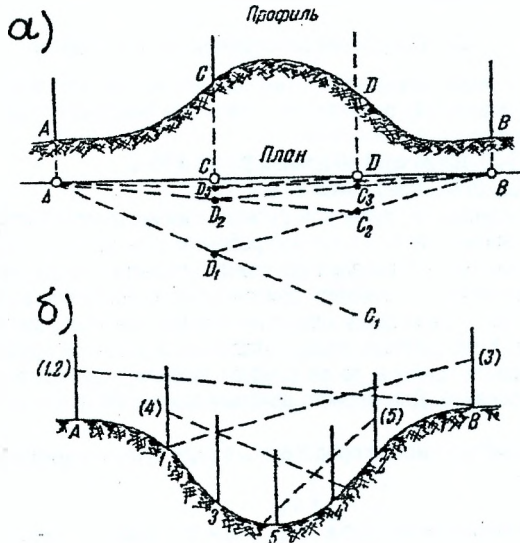


Рис. 1.6. Вешенные линии

ни одна из вех не может быть передвинута. В этом случае обе вехи (С и D) будут находиться в створе линии АВ. Во втором случае (рис 1.7, б) с точки А устанавливают вехи в точках 1 и 2 а с точки В веху 3 и уже по выставленным вехам устанавливают все последующие вехи. На рис. 1.7, б в скобках показаны номера вех, которые выставлены с данного места.



а – видимости между точками А и В нет, б – через овраги и долины

Рис. 1.7. Вешенные линии в сложных условиях

3. Измерения выполняют два мерщика – задний и передний. В начале передний мерщик берет себе 5 шпильки из 6. Задний держит шестую шпильку в центре колышка, зацепляет за неё вырез (крючок) ленты и направляет переднего мерщика по линии АВ. Передний мерщик встряхивает ленту, натягивает ее с усилием, примерно, в 10 кг и фиксирует длину ленты шпилькой, втыкая ее в грунт. Задний мерщик вынимает шпильку, а передний протягивает ленту вперед для измерения следующего отрезка. Задний мерщик, подойдя к оставленной в земле шпильке, зацепляет за нее вырез ленты и т.д. Последний отрезок (остаток) измеряют с точностью 0,01м. Длину линии D вычисляют по формуле:

$$D = nl + r, \quad (1.5)$$

где: n – число целых отложений ленты в измеряемой линии;

l – длина мерного прибора;

$г$ – остаток.

Все линии измеряют в прямом и обратном направлениях, а за окончательное принимается их среднее значение

$$D = \frac{D_{\text{пр.}} + D_{\text{обр.}}}{2} \quad (1.6)$$

Абсолютная погрешность измеренного расстояния – это разность длин линий в прямом и обратном направлениях: $\Delta D = |D_{\text{пр.}} - D_{\text{обр.}}|$.

Точность измерения линий характеризуется следующими относительными погрешностями $\frac{\Delta D}{D}$:

1:3000 – благоприятные условия (асфальт, бетон, твёрдая подстилающая поверхность);

1:2000 – обычные условия (поле с мелкой луговой растительностью и т.п.);

1:1000 – неблагоприятные условия (кустарник, высокая трава, кочки и т.д.).

Пример 1.1. Длина линии измерена в прямом и обратном направлениях. Получены результаты: $D_{\text{пр.}}=112,76\text{м.}$; $D_{\text{обр.}}=112,64\text{м.}$ Условия измерений хорошие. Найти абсолютную и относительную погрешности измерений и оценить результаты измерений.

Абсолютная погрешность равна: $\Delta D = |D_{\text{пр.}} - D_{\text{обр.}}| = |112,76 - 112,64| = 0,12\text{м.}$

Окончательная длина линии равна: $D = \frac{112,76 + 112,64}{2} = 112,70\text{м.}$

Относительная погрешность равна: $\frac{\Delta D}{D} = \frac{0,12}{112,70} = \frac{1}{940} > \frac{1}{2000}$, следовательно, линию необходимо измерить заново.

4. Вычисление длин линий. При вычислении длин линий в результат измерения вводят поправки, которые исключают влияние систематических погрешностей:

- Поправка δD_K за компарирование мерного прибора

$$\delta D_K = D - D_0 = \frac{D_0}{l_0} \delta l_K \quad (1.7)$$

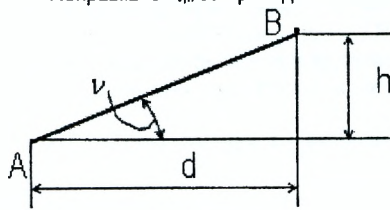
где D_0 – длина линии, вычисленная с номинальным значением мерного прибора.

- Поправка δD_t за температуру мерного прибора

$$\delta D_t = D - D_0 = \alpha (t - t_0) \cdot D_0 \quad (1.8)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала мерного прибора при изменении температуры на 1°C (для стали $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$); t и t_0 – температура в момент измерений и в момент компарирования. Если $t - t_0 < 10^\circ$, то поправка за температуру не вводится.

- Поправка $\delta D_{v,h}$ за приведение линии к горизонту



$$d = D \cos v; \quad (1.9)$$

$$\delta D_{v,h} = d - D = -D(1 - \cos v) = -2 \cdot D \sin^2\left(\frac{v}{2}\right); \quad (1.10)$$

$$\delta D_{v,h} \approx -\frac{h^2}{2D} \quad (1.11)$$

где v – угол наклона измеряемой линии к горизонту;
 h – превышение точки В над точкой А.

Поправка $\delta D_{v,h}$ за приведение линии к горизонту всегда отрицательна, т.к. горизонтальное положение d всегда меньше наклонной линии D .

Окончательное горизонтальное положение линии с учётом всех поправок равно:

$$d = D_0 + \delta D_K + \delta D_t + \delta D_{v,h} \quad (1.12)$$

Результаты измерений и вычислений заносят в специальный журнал (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Журнал измерения длин линий

Название линии	Результаты измерений, м			Угол наклона или превышение	Погрешность		Поправки, см		Длина линии, м
	Прямо	Обратно	Среднее		Абсолютная $\Delta D, \text{ см}$	Относительная $\Delta D, D$	$\Delta D_{\text{к.п}}$	$\Delta D_{\text{к}}$	
1-2	101,36	101,32	101,34	3°30'	4	1:2500	-19	-3	101,12
2-3	64,40	64,42	64,41	0°00'	2	1:6400	0	-2	64,39
3-4	89,19	89,22	89,20	2,5 м	3	1:3000	-3	-3	89,14

Примечание: поправки за температуру равны нулю.

1.2.3. Измерение расстояний нитяным дальномером

Для определения расстояния D_0 между точками 1 и 2 (рис. 1.8) над точкой 1 устанавливают геодезический прибор со зрительной трубой, а над точкой 2 нивелирную рейку.

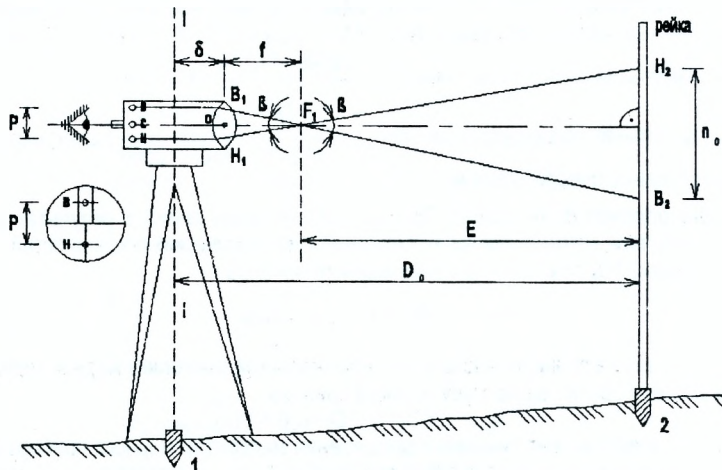


Рис. 1.8. Определение расстояния нитяным дальномером

Наблюдатель отсчитывает по рейке величину n_0 – базис, число делений по рейке между дальномерными штрихами сетки В и Н. В треугольниках $F_1B_1H_1$ и $F_1B_2H_2$ величины β – угол поля зрения зрительной трубы; f – фокусное расстояние объектива, $P=B_1H_1$ – расстояние между дальномерными нитями сетки являются постоянными для данной зрительной трубы.

Величина n_0 – зависит от удаления рейки от прибора. Из подобия этих треугольников можно составить равенство

$$\frac{E}{n_0} = \frac{f}{P} \text{ или } E = \frac{f}{P} \cdot n_0 \quad (1.13)$$

$$\text{или } E = k \cdot n_0, \quad (1.14)$$

где $k = \frac{f}{P}$ называется коэффициентом дальномера.

Расстояние D_0 между точками 1 и 2 можно выразить формулой:

$$D_0 = k n_0 + c, \quad (1.15)$$

где $c = f + \delta$; δ – расстояние от объектива до оси вращения инструмента.

В современных геодезических приборах зрительные трубы имеют $k = 100$, $c \approx 0$, а параллактический угол $\varphi = 34,38'$.

При практическом использовании величиной C пренебрегают, т.к. она сравнима с точностью измерения расстояний нитяным дальномером, и пользуются формулой:

$$D_0 = k \cdot n_0 \quad (1.16)$$

Формула $D_0 = k \cdot n_0$ получена для случая, когда рейка установлена перпендикулярно к визирной оси трубы.

При измерениях наклонных расстояний это условие нарушается, т.к. рейку устанавливают вертикально и при наклонном положении визирной оси (рис. 1.9). В этом случае вместо отсчёта $n_0 = H_2 B_2$ по рейке измеряется расстояние $n = H_2' B_2'$. Треугольники $O_1 H_2 H_2'$ и $O_1 B_2' B_2$ можно считать прямоугольными, из которых можно записать

$$n_0 = n \cdot \cos v, \quad (1.17)$$

где v – угол наклона визирной оси к горизонту (вертикальный угол).

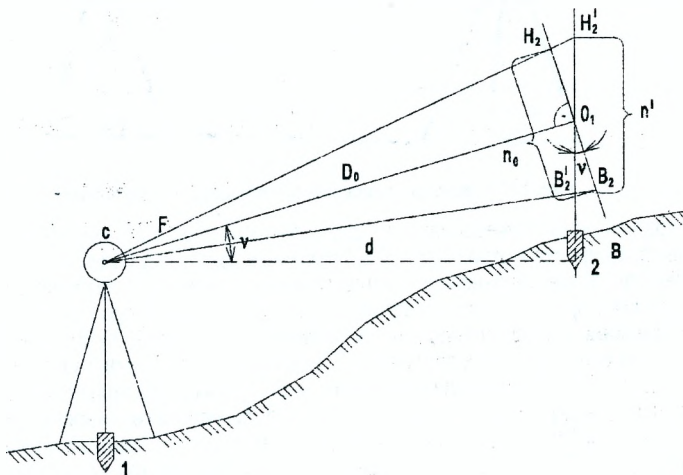


Рис. 1.9. Приведение наклонных расстояний, измеренных нитяным дальномером, к горизонту

Из прямоугольного треугольника $2CO_1$ можно определить горизонтальное проложение линии d

$$d = D_0 \cdot \cos v. \quad (1.18)$$

Формула (1.18) с учётом (1.17) и (1.16) примет вид

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (1.19)$$

где наклонное расстояние $D = k \cdot n$.

Относительная погрешность измерения расстояния нитяным дальномером находится в пределах $\frac{1}{200} - \frac{1}{400}$.

1.2.4. Измерение расстояний светодальномерами

Светодальномер – электронно-оптический прибор, предназначенный для измерения расстояний с использованием световых волн. Измерение расстояния D светодальномером сводится к следующему: на одной из конечных точек A (рис. 1.10) устанавливается приёмопередатчик 1, который излучает электромагнитные колебания и направляет их на отражатель 2, расположенный в точке B . Отражатель принимает световой поток и направляет его обратно в точку A . Приёмопередатчик фиксирует моменты выхода t_1 и возвращения t_2 светового потока. Таким образом, световой поток в интервале времени $t_{2D} = t_2 - t_1$ пройдёт расстояние D в прямом и обратном направлениях. Зная скорость v распространения электромагнитных колебаний, расстояние можно выразить формулой:

$$D = \frac{v \cdot t_{2D}}{2} \quad (1.20)$$

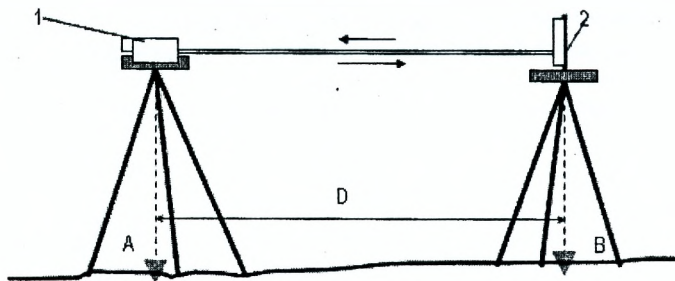


Рис. 1.10. Принцип измерения расстояния светодальномером

При традиционных измерениях светодальномером призма-отражатель (2) используется для фокусировки и отражения лучей обратно к приемнику излучения. Характеристики некоторых светодальномеров и электронных тахеометров приведены в табл.1.2.

В настоящее время известны светодальномеры и электронные тахеометры с пассивным отражением, т.е. без использования призмных отражателей. Здесь используют отражательные свойства самих предметов. Такие приборы применяют при исполнительной съемке зданий, сооружений, для измерения недоступных расстояний и т.д. В этих приборах используют излучатель большой мощности, чтобы повысить точность измерений.

Примером прибора, работающего в безотражательном режиме, является российский светодальномер ДИМ-2, точность измерения расстояний которым составляет ± 20 см. Им можно измерять расстояния до деревянных и бетонных покрытий до 300 м. Для коротких расстояний (до 80 м) точность измерений повышается и может достигнуть $\pm(2-3)$ мм.

Таблица 1.2 Характеристики светодальномеров и тахеометров

Название	Страна изготовитель	Дальность	Точность
Светодальномеры			
Геодезические:			
СГЗ, ДК0001	Россия	до 30 км	0,8-5 мм +1,5 мм/км
Геодиметр 6, 8, 110, 600	Швеция	до 30 км	5 мм + 5 мм/км
Мехометр МЕ-300	Швейцария	до 30 км	0,2 мм + 5 мм/км
Для прикладной геодезии и маркшейдерии:			
МСД-1, МСД-1М	Россия	до 5 км	5 мм + 5 мм/км
Топаз	Россия	до 2 км	1 мм + 1 мм/км

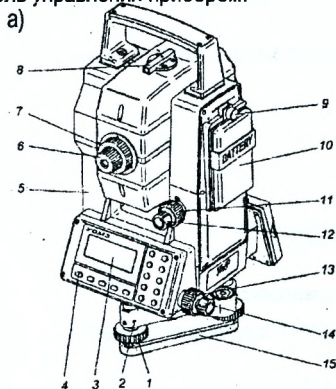
Продолжение таблицы 1.2

Топографические:			
СТ5	Россия	до 5 км	10 мм + 5 мм/км
2СТ10	Россия	до 10 км	5 мм + 3 мм/км
2СМ2	Россия	до 2 км	20 мм
3СМ2	Россия	до 3 км	10 мм + 5 мм/км
СМ5	Россия	до 0,5 км	30 мм
ЕОК2000	Германия	до 2,5 км	5 мм + 4 мм/км
Электронные тахеометры			
Та 3 ($m_{гор} = 4''$; $m_{вер} = 6''$)	Россия	до 5 км	10 мм + 5 мм/км
3Та5Р ($m_{гор} = 5''$; $m_{вер} = 7''$)	Россия	от 0,2 км до 30 км	5 мм + 3 мм/км
ЕОТ2000 ($m_{в} = 1''$)	Германия	до 2,5 км	10 мм
RECOTA ($m_{в} = 3''$)	Германия	до 3 км	5 мм + 2 мм/км
Topcon GPT-3000 ($m_{в} = 2''-7''$)	Япония	до 2 км	3 мм + 2 мм/км
Nikon DTM-851 ($m_{в} = 1''$)	Япония	до 2,7 км	2 мм + 2 мм/км
Leica TPS1200 ($m_{в} = 1''-5''$)	Швейцария	до 3 км	2 мм + 2 мм/км
TSA1800, TC2003 ($m_{в} = 0,5''$)	Швейцария	до 3 км	1 мм + 1 мм/км
Trimble 5600 ($m_{в} = 1''-5''$)	США	до 3 км	1 мм + 1 мм/км

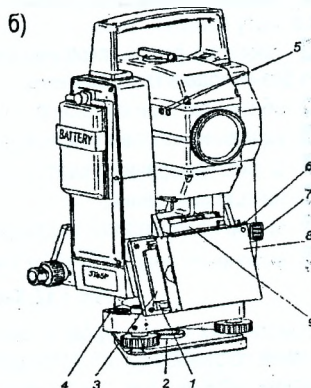
1.2.4.1. Электронный тахеометр 3Та5Р

Электронный тахеометр 3Та5Р - оптико-электронный прибор, совмещающий в себе электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и регистратор информации, предназначен для: выполнения крупномасштабных съёмок; создания сетей планово-высотного обоснования; автоматизированного решения различных инженерно-геодезических задач при помощи прикладных программ; крупномасштабных съёмок при инвентаризации земель; создания и обновления земельного кадастра и решения задач землеводства. Тахеометром можно производить измерения в полярных и прямоугольных системах координат.

На рис. 1.11 показано устройство электронного тахеометра 3Та5Р, а на рис. 1.12 – панель управления прибором.



1 - подъёмный винт; 2 - юстировочный винт; 3 - дисплей; 4 - кнопка включения (выключения); 5 - колонка; 6 - диоптрийное кольцо; 7 - кольцо кремальеры зрительной трубы; 8 - коллиматорный визир; 9 - винт; 10 - кассетный источник питания; 11, 13 - наводящий винт; 12, 14 - закрепительный винт; 15 - подставка



1 - кнопка инжектора (внутри узла сопряжения); 2 - юстировочная гайка; 3 - карта памяти (внутри узла сопряжения); 4 - круглый уровень; 5 - клеммы; 6 - юстировочный винт центра; 7 - окуляр оптического центра; 8 - узел сопряжения с картой памяти; 9 - цилиндрический уровень

а - вид с панели управления; б - вид с регистрационной карты

Рис. 1.11. Устройство тахеометра 3Та5Р

Опыт работы тахеометром на спорткомплексе «Виктория» в г. Бресте, спортивном дворце в г. Пружаны и других объектах Брестской области показал, что помимо основного его назначения, тахеометр может успешно использоваться при испытаниях конструкций сооружений и определении горизонтальных и вертикальных смещений объектов. Результаты измерений могут быть записаны в карту памяти и переданы в персональный компьютер для дальнейшей обработки.

Основные технические характеристики электронного тахеометра 3Та5Р:

- Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла..... $\pm 5''$;
- Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла..... $\pm 7''$;
- Диапазон измерений горизонтального угла..... от 0° до 360° ;
- Диапазон измерений вертикального угла..... от $+45^\circ$ до -45° ;
- Диапазон измерений расстояний..... от 2м до 2000м;
- Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния D определяется формулой

$$m_D = 5 \text{ мм} + 3 \text{ мм/км}. \quad (1.21)$$

Анализируя формулу (1.21) можно сделать следующий вывод: относительная погрешность измерения расстояния зависит от длины линии.

Так, например, при измерении электронным тахеометром 3Та5Р расстояния 100 м абсолютная погрешность составит ± 5 мм, а относительная – 1:20000; расстояния 500 м – соответственно ± 6 мм и 1:83000; расстояния 1 км – соответственно ± 8 мм и 1:125000; расстояния 2 км – соответственно ± 16 мм и 1:125000.

- 1 - 9 - ввод отдельных цифр;
- - ввод знака минус;
- ▲, ▼ - движение курсора по дисплею;
- МЕНЮ - вызов меню для выбора режима работы, выход из режима после проведения измерений;
- ▶ - смена режима, продолжение работы, просмотр результатов измерений, записанных в карту памяти;
- ◀ - просмотр результатов измерений, записанных в карту памяти; смена шаблона дисплея без выхода в главное меню;
- 00 - обнуление горизонтального угла;
- CE - удаление неправильно набранных цифр;
- PEГ - запись измерений в карту памяти;
- ИЗМЕР - начало измерений;
- ВВОД - выбор подпрограмм, подтверждение ввода величин;
- ☀ - включение подсветки дисплеям

Рис. 1.12. Кнопки панели управления

- При измерениях тахеометром автоматически вводятся следующие поправки:
- за влияние коллимационной погрешности;
 - за влияние значения место нуля вертикального круга;
 - поправка за наклон линии к горизонту, если измеряется горизонтальное проложение.
- Для измерения наклонных расстояний вводится специальный режим;
- поправка за кривизну Земли и рефракцию.

В комплектность входят следующие основные принадлежности:

- Отражатели однопризменные для измерения расстояний до 1 км и двухпризменные при измерении расстояний до 2 км;

- Источники питания;
- Зарядное устройство;
- Карта памяти;
- Вехи;
- Источник питания от аккумулятора автомобиля;
- Источник питания от сети 220 вольт.

На рис. 1.13 представлена структура меню тахеометра.

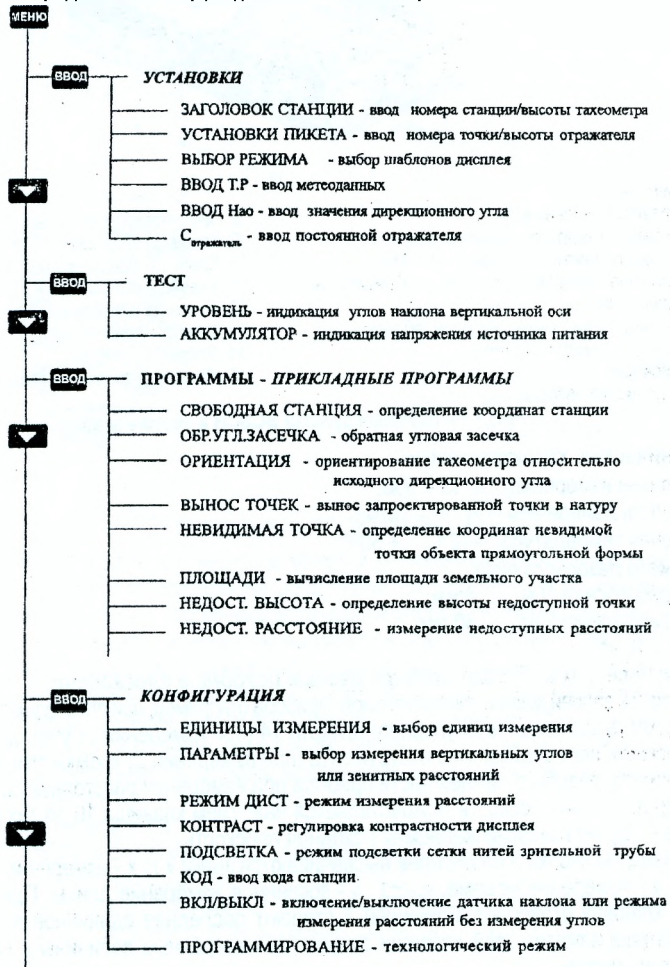


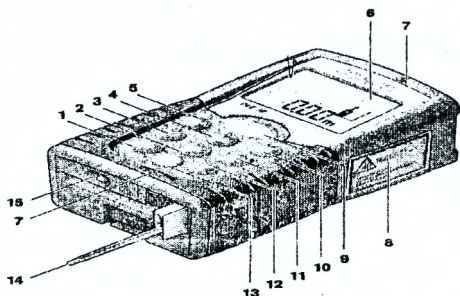
Рис. 1.13. Структура меню электронного тахеометра 3Та5P

1.2.5. Ручные лазерные дальномеры (лазерные рулетки)

Для быстрого и точного измерения коротких расстояний на строительных площадках и в помещениях в настоящее время используются лазерные рулетки (ручные дальномеры). Эти приборы небольших габаритов и малого веса позволяют производить измере-

ния с помощью видимого лазерного луча без отражателя, что очень удобно при обмерных работах внутри помещения.

На рисунке 1.14 показана лазерная рулетка фирмы BOSCH (Германия).



Клавиатура:

- | | |
|--|---|
| 1. Клавиша гашения «С»; | 8. Предупредительная табличка; |
| 2. Клавиша памяти вычитания «М-»; | 9. Клавиша измерения; |
| 3. Клавиша памяти суммирования «М+»; | 10. Клавиша исходной плоскости; |
| 4. Клавиша измерения длины и продолжительного измерения «-»; | 11. Клавиша вызова памяти «Н»; |
| 5. Клавиша измерения площади, объема и косвенного измерения длины; | 12. Клавиша длительного лазерного луча; |
| 6. Дисплей; | 13. Выключатель; |
| 7. Устройство наводки; | 14. Упорный штифт; |
| | 15. Фиксатор упорного штифта. |

Рис. 1.14. Лазерная рулетка BOSCH и её клавиатура

Технические характеристики:



- Диапазон измерений 0,05 – 50м;
- Точность измерений $\pm(1,5 - 3)$ мм;
- Рабочая температура $-10^{\circ}\text{C} \dots + 50^{\circ}\text{C}$;
- Диаметр лазерного луча:
 - на расстоянии 10м 6 мм;
 - на расстоянии 50м 30 мм;
- Вес 0,18 кг.

При измерениях выбирают **четыре разные исходные плоскости**:

- плоскость задней кромки измерительного прибора (например, при прикладывании к стенам);
- плоскость задней кромки упорного штифта 14 (при измерении от углов);
- плоскость передней кромки инструмента (при измерении от кромки стола);
- плоскость резьбы в нижней части прибора при измерении расстояний со штатива.

Выбор исходной плоскости осуществляется нажатием клавиши 10 до тех пор, пока на дисплее не будет показана желаемая исходная плоскость.

При нажатии кнопки 5 на дисплее высвечиваются знаки «□» - измерение площади;

«» - измерение объема; «» - косвенное измерение длины. При выбранном режиме клавишу отпускают. Клавишей 1 стирают последнее единичное значение. При многократном нажатии этой клавиши стираются измеренные величины в обратной последовательности.

Измерение длины. При измерении длин нажимают клавишу 4, пока на дисплее не высветится показание «-»- измерения длины, далее нажимают клавишу 9 один раз для наведения и ещё раз для измерения. Измеренное значение высвечивается на дисплее.

Измерение площади. Для измерения площади нажимают клавишу 5 до появления на дисплее знака «□». Далее измеряют длину и ширину, оставляя лазерный луч включен-

ным. После второго измерения все результаты измерений высвечиваются на дисплее снизу-вверх.

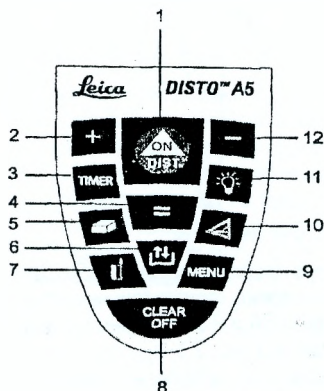
Подобным же образом определяют объем после высвечивания знака « \hookrightarrow » нажатием кнопки 5.

Осторожно! Не направляйте лазерный луч на людей или животных и не смотрите сами в лазерный луч даже при больших расстояниях.

На рисунке 1.15 показан пульт управления лазерной рулеткой фирмы DISTO™A5 фирмы LEICA (Швейцария).

Технические характеристики:

- дальность измерений 0,05 – 200м;
- точность измерения $\pm(1,5 \text{ мм} - 2\text{мм})$;



Клавиатура.

- 1.ON/DIST–включить/измерить;
- 2.«+» – плюс;
3. TIMER – таймер;
- 4.«=» – равно;
5. \rightarrow – площадь/объем;
6. \updownarrow – память;
7. \uparrow – точка отсчета;
- 8.CLEAR/OFF–стереть/выключить;
9. MENU – меню;
10. \triangle – косвенные измерения;
11. light bulb – подсветка;
- 12.«-» – минус.

Рис. 1.15. Клавиатура лазерной рулетки DISTO™A5

Прибор оснащен оптическим визиром, который размещен на его правой стороне. Визир особенно полезен при измерении расстояний до отдаленных объектов. Функция (MENU) позволяет выбрать различные установки прибора, которые сохраняются в его памяти после выключения прибора. Для выбора операции нажимают клавишу MENU несколько раз. Выбор операции подтверждают клавишей [=]. Дальнейшее изменение выбранной операции осуществляют кнопкой [+], [-] и подтверждают клавишей [=].

При измерении расстояний нажимают клавишу DIST, включая этим лазер. Лазер направляют на объект, расстояние до которого необходимо измерить, снова нажимают клавишу DIST. Измеренное расстояние высвечивается на дисплее. Прибор позволяет определить максимальные и минимальные расстояния до объекта справа и слева от центра; площадь, объем и т.д.

Клавиша TIMER предназначена для задержки измерений. Клавишу TIMER нажимают и удерживают до требуемого времени задержки (5-60 сек), далее нажимают клавишу DIST. На дисплее будет высвечиваться время (в секундах) до начала измерения. Отсчет последних 5 секунд сопровождается звуковым сигналом. При последнем сигнале произойдет измерение.

Клавиша 6 предназначена для просмотра 20 значений измерений в обратном порядке. Для этого её нужно нажать дважды кратковременно, используя клавишу «плюс» или «минус». Просматривают содержание памяти нажатием клавиши 4 [=], используют выбранный результат для дальнейших вычислений.

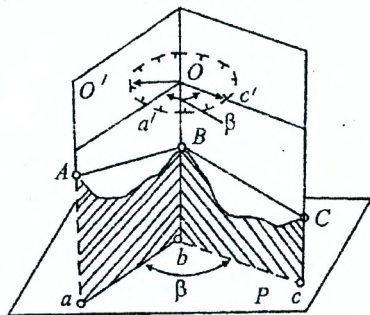
Площадь и объем измеряют таким же образом, как и лазерной рулеткой «BOSH».

2. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Принцип измерения горизонтального угла. Теодолиты

Измерения углов выполняют для определения взаимного положения точек в пространстве. Пусть на местности имеем вершину угла точку В, точки А и С, образующие угол ABC (рис. 2.1, а).

а)



б)

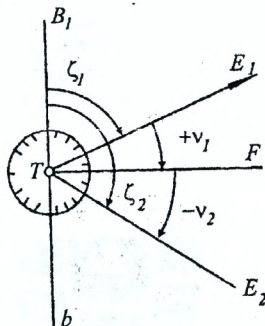


Рис. 2.1. Схема измерения углов на местности

На направлениях ВА и ВС построим вертикальные плоскости $aABv$ и $cCBv$. Для определения положения точек в плановом отношении измеряют горизонтальные углы. **Горизонтальный угол β** (угол $a\hat{e}c$) между направлениями ВА и ВС, лежащими в пересекающихся плоскостях, рассматривается как **двугранный** (рис.2.1, а).

Для измерения горизонтального угла над его вершиной располагают градуированный круг (лимб). Центр круга совмещают с отвесной линией, проходящей через вершину угла В, а сам круг размещают в горизонтальной плоскости. Тогда угол β между радиусами Oc' и Oa' – сечениями круга вертикальными плоскостями будет равен горизонтальному углу между направлениями местности ВА и ВС. Если деления на лимбе подписаны по ходу часовой стрелки, а отсчёты обозначить через a' и c' , то горизонтальный угол равен $\beta = a' - c'$.

Вертикальные углы – углы, лежащие в вертикальной плоскости, измеряются при помощи вертикально расположенного круга с градусными делениями. Центр круга совпадает с осью Т (рис. 2.1, б). **Вертикальный угол, отсчитанный от горизонтальной линии TF называется углом наклона ν** . Он считается положительным ($+\nu$), если направление визирования выше горизонта, и отрицательным ($-\nu$), если ниже. Вертикальный угол, отсчитанный от зенитного направления TB_1 , называется зенитным расстоянием (углы ζ_1 и ζ_2).

Теодолит – геодезический оптико-механический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний нитяным дальномером, а также для проектирования точек в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Теодолиты различаются по точности измерения углов и конструктивным особенностям. Шифр теодолита содержит заглавную букву Т и цифры после буквы, которые соответствуют величине средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла в секундах одним приёмом в лабораторных условиях. Предусмотрено изготовление теодолитов: высокоточных – Т05, Т1, точных – Т2, Т5, технических – Т15, Т30, Т60. Теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний (дальномер), совместное вращение лимба с алидадой и гнездо для закрепления буссоли, называется **теодолитом-тахеометром**.

Таблица 2.1 Технические характеристики теодолитов

Параметр	Тип теодолита					
	T1	T2	T5	T15	T30	T60
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом, угл. с:						
	1	2	5	15	30	60
– горизонтального	1,5	3	12	25	45	–
– вертикального						
Увеличение зрительной трубы, крат	30-40	25	25	25	18	15
Угол поля зрения, угл. градус	1	1,5	1,5	1,5	2	2
Наименьшее расстояние визирования, м	5	2	2	1,5	1,2	1
Коэффициент дальномера	–	100	100	100	100	100
Масса, кг:						
– теодолита	11	5	4,5	3,5	2,5	2
– комплекта в упаковке	16	9	8,5	6,6	3,5	3,5

Высокоточные теодолиты T05, T1 предназначены для измерения углов при развитии государственных геодезических сетей, построении специальных геодезических сетей, как основы для точных разбивочных работ, изучения деформаций сооружений, а также при установке и монтаже оборудования угловыми методами.

Точные теодолиты T2, T5 предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов, а также аналитических сетях 1 и 2 разрядов: они могут быть использованы также при строительстве сооружений, изучении их деформаций, монтаже машин и заводского оборудования.

Технические теодолиты T15 и T30 применяются для проложения на местности теодолитных и тахеометрических ходов, выполнения плановых и высотных съёмок, при рекогносцировочных и изыскательских работах. Цифра перед буквой Т обозначает номер модификации. Например, 2Т30 – 2-ая модель; 4Т30 – 4-ая модель и т.д.

Установка центра лимба теодолита над вершиной измеряемого угла (*центрирование*) осуществляется при помощи *отвесов* или *оптических центриров*.

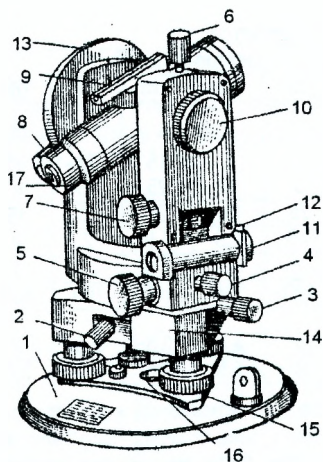
Простейшим приспособлением для центрирования является *нитяной отвес*. Он состоит из гибкой нити (шнура), на конце которой закреплён груз. При центрировании нить отвеса прикрепляется к дужке станového винта и, перемещением подставки теодолита по головке штатива добиваются того, чтобы заостренный конец груза установился над вершиной угла О.

Оптический центрир изготавливается как часть высокоточных и точных теодолитов, встроенная в алидаду горизонтального круга, в поле зрения центрира видны изображения вершины угла точки О и круга сетки нитей. Передвигая подставку теодолита по головке штатива, добиваются совмещения круга сетки с изображением вершины угла – точки О.

2.2. Устройство теодолита T30, 2Т30

Теодолит T30, 2Т30 предназначен для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при создании планово-высотных съёмочных сетей, для измерения расстояний с использованием нитяного дальномера зрительной трубы, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли, а также для нивелирования горизонтальным лучом с помощью уровня при трубе.

Основание 1 (рис. 2.2.), с которым скреплена подставка 14, служит дном футляра прибора. Это позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива. Теодолит приводится в рабочее положение (ось его вращения устанавливается в отвесное положение) подъёмными винтами 15 подставки при помощи цилиндрического уровня 11. У геодезических приборов три подъёмных винта, расположенных в вершинах равнобедренного треугольника.



- 1 – основание теодолита;
- 2 – закрепительный винт лимба;
- 3 – наводящий винт лимба;
- 4 – закрепительный винт алидады;
- 5 – наводящий винт алидады;
- 6 – закрепительный винт зрительной трубы;
- 7 – наводящий винт зрительной трубы;
- 8 – оптический микроскоп;
- 9 – оптический визир;
- 10 – кремальера;
- 11 – цилиндрический уровень на алидаде;
- 12 – исправительный винт уровня;
- 13 – вертикальный круг;
- 14 – подставка (трегер);
- 15 – подъемный винт;
- 16 – отверстие для центрирования;
- 17 – диоптрийное кольцо

Рис 2.2. Общий вид теодолита Т30

При зрительной трубе имеется оптический визир 9 для грубого наведения зрительной трубы на точку. Закрепительным винтом 6 труба фиксируется в заданном направлении. Вращением диоптрийного кольца 17 добиваются чёткого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). Фокусировка трубы на предмет осуществляется вращением кремальеры 10. Горизонтальный круг (лимб) и алидада могут вращаться совместно и раздельно при помощи закрепительных и наводящих винтов 2,4 и 3,5. При закреплении винта 2 и откреплении винта 4 алидада ноль лимба остаётся неподвижным в процессе вращения верхней части теодолита и, наоборот, при закреплении винта 4 и откреплении винта 2 ноль лимба вращается вместе с верхней частью теодолита.

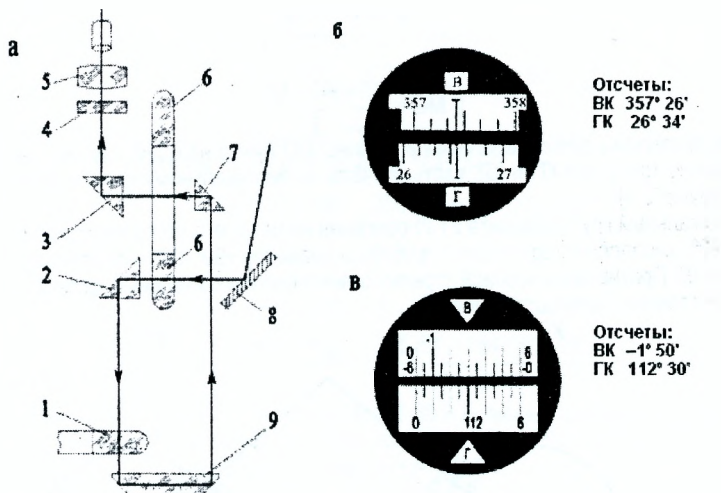
Зрительная труба теодолита может быть использована как оптический центрир. Для этого её устанавливают вертикально окуляром вверх и визируют на точку стояния через специальное отверстие 16 в основании прибора.

В качестве **отсчётных устройств** используются штриховые (теодолит Т30) и шкаловые (теодолит 2Т30) микроскопы. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита Т30 разделены штрихами через $10'$ с оцифровкой через 1° . Изображение отсчётного индекса и штрихов обеих кругов передано в поле зрения микроскопа (рис. 2.3) посредством оптической схемы (рис. 2.3, а).

Луч света, отражаясь от зеркала подсветки 8, проходит через лимб вертикального круга 6 и попадает на призму 2. Посеребренная поверхность отражает луч и направляет его на лимб горизонтального круга 1. После двукратного отражения в призме 9 он проходит через призмы 7 и 3 и попадает на плоско-параллельную пластину 4, на которой нанесён один отсчётный индекс у теодолита Т30. При помощи этого индекса производится отсчёт.

Поле зрения отсчётного микроскопа теодолита Т30 приведено на рис. 2.3, б. В поле зрения микроскопа изображение вертикального круга обозначено буквой В, горизонтального – буквой Г.

Теодолит 2Т30, являющийся модификацией теодолита Т30, отличается отсчётным устройством, оцифровкой угломерных кругов и наличием уровня при трубе. В отличие от теодолита Т30, на круги нанесены деления через 1° (каждый градус оцифрован), а в отсчётном устройстве использован шкаловый микроскоп с ценой деления $5'$. Поле зрения отсчётного микроскопа теодолита 2Т30 приведено на рис. 2.3, в. Отсчётное устройство последующих модификаций такое же, как у теодолита 2Т30.



а - оптическая схема; б - поле зрения теодолита Т30; в - поле зрения теодолита 2Т30.
 Рис. 2.3. Отсчётные устройства теодолитов Т30, 2Т30

2.3. Вертикальный круг теодолита Т30, 2Т30

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. **Вертикальный угол (угол наклона)** – это угол между направлением визирной оси и её проекцией на горизонтальную плоскость. Лимб вертикального круга теодолита неподвижно скреплён с осью вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней, а отсчётный индекс остаётся неподвижным при любом положении зрительной трубы. Отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы называется **местом нуля (МО) вертикального круга**.

Вертикальный круг теодолита Т30 скреплён со зрительной трубой по диаметру 90°–270° и оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 360°. Из рис.2.4 следует, что

$$v = \text{КП} - \text{МО}, \quad (2.1)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} + 180^\circ, \quad (2.2)$$

решая (2.1) и (2.2) относительно v и МО, получим

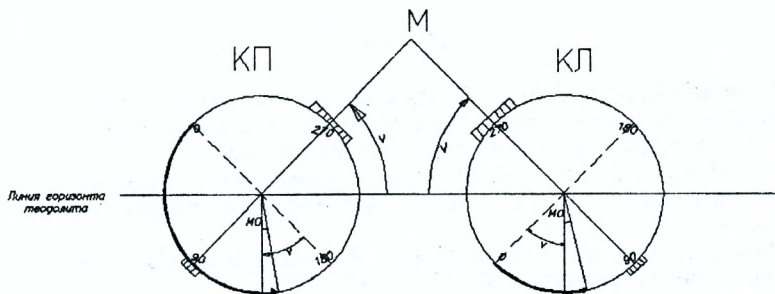


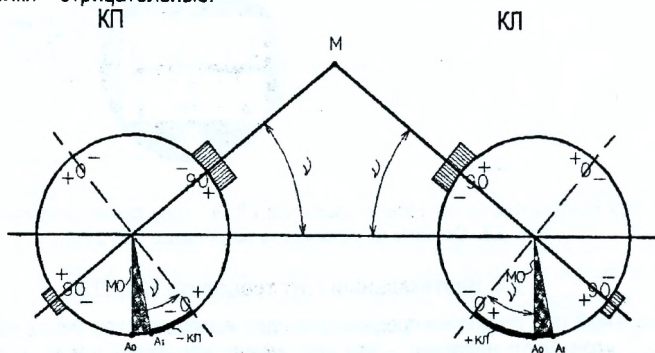
Рис. 2.4. Вертикальный круг теодолита Т-30

$$v = \frac{КЛ - КП + 180^\circ}{2}, \quad (2.3)$$

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180^\circ}{2}. \quad (2.4)$$

Следовательно, для определения величины МО нужно на одну и ту же точку навести зрительную трубу при КП и КЛ, взять отсчёты по вертикальному кругу и вычислить МО по формуле (2.4).

Вертикальный круг теодолита 2Т30 разделен на четыре сектора диаметрами $+0^\circ-0^\circ$ и $+90^\circ-90^\circ$, скреплён со зрительной трубой по диаметру $+90^\circ-90^\circ$ и оцифрован в обе стороны от 0° . Против хода часовой стрелки нанесены положительные деления, а по ходу часовой стрелки – отрицательные.



A_0 – положение отсчётного индекса при $МО=0$;

A_1 – положение отсчётного индекса при $МО \neq 0$

Рис. 2.5. Вертикальный круг теодолита 2Т30

Если допустить, что значение МО известно, то значение вертикального угла (рис. 2.4) можно вычислить по формулам:

$$v = КЛ - МО, \quad (2.5)$$

$$v = МО - КП. \quad (2.6)$$

Решая (2.5) и (2.6) относительно v и МО, получим:

$$v = \frac{КЛ - КП}{2}, \quad (2.7)$$

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}. \quad (2.8)$$

Анализируя формулы (2.3) и (2.7), можно сделать вывод: если угол измерен при двух положениях вертикального круга, то МО не влияет на правильность измерения вертикального угла. При известной величине МО вертикальный угол можно вычислить по формулам (2.1), (2.2), (2.5) и (2.6). Для удобства вычисления углов наклона по этим формулам желательно значение МО свести к нулю. Контролем измерений является постоянство МО.

Пример 2.1. Определить МО теодолита Т-30 и вертикальный угол v , если отсчёты по вертикальному кругу известны: $КП = 175^\circ 28'$; $КЛ = 4^\circ 36'$.

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180^\circ}{2} = \frac{4^\circ 36' + 175^\circ 28' - 180^\circ}{2} = +2';$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 4^{\circ}36' - 2' = 4^{\circ}34';$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} + 180^{\circ} = 2' - 175^{\circ}28' + 180^{\circ} = +4^{\circ}34';$$

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} + 180^{\circ}}{2} = \frac{4^{\circ}36' - 175^{\circ}28' + 180^{\circ}}{2} = +4^{\circ}34'.$$

Пример 2.2. Определить МО теодолита Т30 и вертикальный угол V , если отсчеты по вертикальному кругу известны: $\text{КЛ} = 355^{\circ}53'$; $\text{КП} = 184^{\circ}09'$.

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} - 180^{\circ}}{2} = \frac{355^{\circ}53' + 184^{\circ}09' - 180^{\circ}}{2} = +1';$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 355^{\circ}53' - 1' = 355^{\circ}52' - 360^{\circ} = -4^{\circ}08';$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} - 180^{\circ} = 1' - 184^{\circ}09' = -4^{\circ}08';$$

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} + 180^{\circ}}{2} = \frac{355^{\circ}53' - 184^{\circ}09' + 180^{\circ}}{2} = -4^{\circ}08'$$

Пример 2.3. Определить МО для теодолита 2Т-30 и величину вертикального угла наклона v , если отсчеты по вертикальному кругу известны: $\text{КП} = 5^{\circ}17'$; $\text{КЛ} = -5^{\circ}19'$.

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2} = \frac{-5^{\circ}19' + 5^{\circ}17'}{2} = -1';$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = -5^{\circ}19' - (-1') = -5^{\circ}18';$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} = -1' - 5^{\circ}17' = -5^{\circ}18';$$

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} = \frac{-5^{\circ}19' - 5^{\circ}17'}{2} = -5^{\circ}18'$$

2.4. Поверки теодолита

До начала работ проводят осмотр всего угломерного комплекта, проверки теодолита, выполняют исследования (у высокоточных и точных теодолитов) и определяют метрологические характеристики прибора.

При осмотре проверяют комплектность прибора, сохранность оптических деталей, ампул уровней; фиксацию уровня подсветки; плавность перемещения фокусирующей линзы; плавность вращения зрительной трубы, подъемных и наводящих винтов прибора; чистоту оптики, четкость изображения сетки нитей, штрихов делений угломерных кругов и шкал микроскопа; отсутствие коррозии и вмятин на металлических деталях. Проверяется устойчивость прибора в рабочем положении на штативе: отсутствие качки в подъемных винтах, в головке и ножках штатива. При необходимости выполняют регулировку хода подъемных винтов вращением регулировочной гайки, закрепляют винты головки и ножек штатива.

Из принципа измерения горизонтального и вертикального углов и геометрической схемы осей теодолита (рис.2.6) следует, что взаимное расположение его частей должно удовлетворять ряду геометрических условий.

Комплекс действий, который выполняют для контроля геометрических условий, называют *поверками*.

К теодолиту предъявляются следующие требования:

1. Ось цилиндрического уровня U-U должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита I-I (рис.2.6);
2. Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита I-I;
3. Ось вращения зрительной трубы V-V должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита I-I;

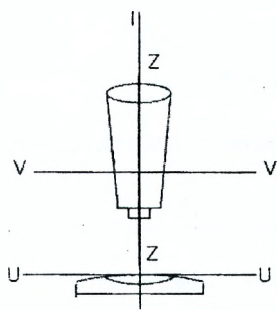


Рис. 2.6. Схема осей теодолита

4. Визирная ось трубы Z – Z должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы V – V;

5. Место нуля (МО) вертикального круга должно быть близким к нулю.

I – I – ось вращения теодолита (основная);

V – V – ось вращения зрительной трубы;

U – U – ось цилиндрического уровня;

Z – Z – визирная ось зрительной трубы

(оси Z-Z и I-I на рис. 2.6 совпадают)

Соблюдение указанных условий проверяется следующим образом.

- **Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ($UU \perp II$).** Поворотом верхней алидадной части теодолита уровень устанавливается по направлению двух подъемных винтов и, вращением этих винтов в разные стороны приводят пузырек уровня на середину (в нуль-пункт). Затем поворотом на 90° устанавливают уровень по направлению третьего винта и вращением этого винта приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Далее поворачивают алидаду вокруг вертикальной оси относительно начального положения на 180° . Если пузырек уровня остался на середине, то условие выполнено (допуск 1 деление уровня). В противном случае, необходимо еще раз повторить все действия, т.е. приведение прибора в рабочее положение по цилиндрическому уровню выполняют последовательными приближениями. Если не удается вывести пузырек уровня в нуль-пункт, то выполняют юстировку: исправительными винтами 12 уровня (рис. 2.2) перемещают пузырек уровня к середине на половину дуги отклонения, а на оставшуюся часть – двумя подъемными винтами. Затем поверку повторяют.

- **Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита.** Наводят визирную ось трубы на точку и, работая наводящим винтом трубы, наклоняют трубу вверх и вниз. Если при этом вертикальная нить сетки не будет отклоняться от точки, то условие выполнено (рис. 2.7,а). В противном случае ослабляют винты крепления окулярного колена к трубе и поворотом окулярного колена добиваются правильного положения сетки. После выполнения юстировки винты закрепляют. Эту же поверку можно выполнить с использованием нитяного отвеса (рис. 2.7,б). Устанавливают теодолит в рабочее положение по цилиндрическому уровню, на расстоянии 10-15 м от прибора вешают отвес. Наводят вертикальную нить сетки на нитку отвеса. Если они совпадают по всей длине, то условие выполнено. В современных теодолитах вертикальная и горизонтальная нити сетки нарезаны строго взаимно перпендикулярно, поэтому можно контролировать разворот сетки, проверяя положение одной из нитей.

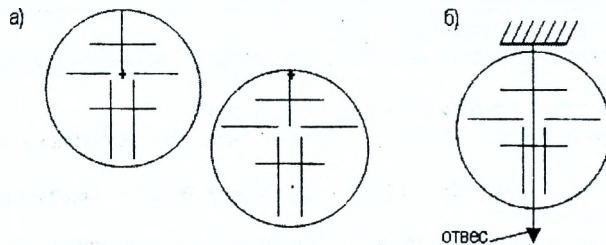


Рис. 2.7. Поверка сетки нитей

• **Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита ($VV \perp II$).** Устанавливают теодолит на расстоянии 5-10 м от стены и наводят зрительную трубу на какую-либо высоко расположенную точку А (рис. 2.8) при одном из положений вертикального круга, например, при «круге право». Наклоном зрительной трубы проектируют верхнюю точку в нижнюю часть стены (примерно на высоту инструмента), где помощник отмечает карандашом на стене проекцию точки – центр сетки нитей (точка a_1). Затем переводят зрительную трубу через зенит и аналогичные действия производят при другом положении вертикального круга, помечая точку a_2 . Условие будет выполнено, если проекции верхней точки при КП и КЛ совпали – расхождение допускается в пределах бисектора вертикальной нити сетки. В случае несовпадения средняя точка из двух проекций (точка a на рис. 2.8) будет соответствовать правильному расположению осей. В современных конструкциях теодолитов невыполнение этого условия может быть устранено только в мастерской или в заводских условиях.

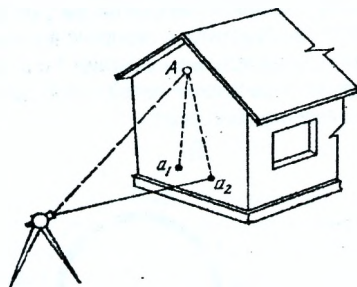


Рис. 2.8. К определению перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к оси вращения теодолита

• **Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы ($ZZ \perp VV$).** Невыполнение этого условия приводит к погрешности в отсчете по лимбу теодолита, которая называется **коллимационной погрешностью С.**

Коллимационную погрешность определяют путем визирования на одну и ту же точку при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ). При этом поступают следующим образом:

1. Приводят теодолит в рабочее положение.
2. Закрепляют лимб и, работая винтами алидады и зрительной трубы, наводят визирную ось на удалённую точку при одном положении вертикального круга и берут отсчет по горизонтальному кругу.

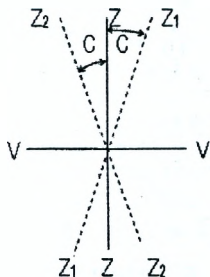


Рис. 2.9. Коллимационная погрешность

3. Наводят зрительную трубу на ту же точку при другом положении вертикального круга и берут отсчет по горизонтальному кругу.

Коллимационную погрешность вычисляют по формуле:

$$C = \frac{1}{2} (КП - КП \pm 180^\circ), \quad (2.9)$$

где КП и КЛ – отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при соответствующем круге. Отсчеты записывают в журнал (табл. 2.2).

Правильность определения коллимационной погрешности проверяют повторными наблюдениями.

Величина коллимационной погрешности не должна превышать двойной точности измерения горизонтального угла одним полным приемом, т.е. если $|C| \leq 1'$ (для теодолита Т30, 2Т30), то условие считается выполненным.

Таблица 2.2 Определение коллимационной погрешности

№№ станций	№№ точек визирования	Положение круга	Отсчёт по горизонт. кругу	2С	Правильный отсчёт	Примечание
5	2	КП	27°21'	-6'	27°24'	До исправления
	2	КЛ	207°27'	-3'	207°24'	
5	6	КП	226°55'	-5'	226°52,5'	
	6	КЛ	46°50'	-2,5'	46°52,5'	
5	6	КП	46°52'	-1'		После исправления
	6	КЛ	226°53'	-0,5'		

Исправление коллимационной погрешности выполняют следующим образом (рис. 2.10):

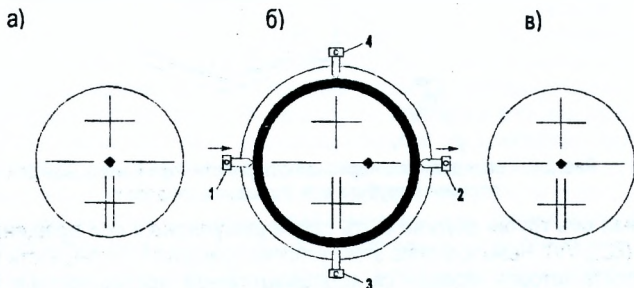
1. Наводящим винтом 5 алидады (рис. 1.1) устанавливают на лимбе правильный отсчёт, вычисленный по формуле:

$$N = \frac{1}{2} (КП + КЛ \pm 180^\circ). \quad (2.10)$$

При этом верхняя часть теодолита повернется на угол С, вследствие чего изображение точки в поле зрения трубы сместится с пересечения нитей (рис. 2.10, б)

2. Действуя боковыми исправительными винтами 1 и 2 (рис. 2.10, б) сетки, последнюю перемещают до совмещения пересечений нитей с изображением точки (рис. 2.10, в)

3. После исправления поверку повторяют.



а) – до установки правильного отсчета; б) - после установки правильного отсчета; в) - после исправления коллимационной погрешности

Рис. 2.10. Порядок исправления коллимационной погрешности

• Место нуля вертикального круга (МО) у теодолитов должно быть постоянным и близким к нулю.

Таблица 2.3 Определение МО и вертикальных углов

Теодолит	№ станций	№ точек визирования	Круг	Отсчёт	МО v	Правильный отсчёт
Т30	1	6	КЛ	4° 38'	1,0'	4° 37,0'
		6	КП	175° 24'	4° 37,0'	175° 23,0'
		7	КЛ	3° 52'	1,0'	3° 51,0'
		7	КП	176° 10'	3° 53,0'	176° 09,0'
2Т30	2	8	КЛ	3° 19'	-2,5'	3° 21' 30"
		8	КП	-3° 24'	3° 21,5'	-3° 21,5'
		9	КЛ	6° 41'	-3,0'	6° 44,0'
		9	КП	-6° 47'	6° 44,0'	-6° 44,0'

Для определения МО на одну и ту же точку визируют при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ), берут отсчёты по вертикальному кругу и по формуле (2.4) для теодолита Т30 и (2.8) для теодолита 2Т30 находят значение МО. Чтобы у теодолита установить

МО равно нулю, вычисляют правильный отсчет по вертикальному кругу по формулам (2.1) и (2.2) для теодолита ТЗ0, (2.5) и (2.6) для теодолита 2ТЗ0, считая что $МО=0^{\circ}$:

- для теодолита ТЗ0: $КП = \nu$; $КП = 180^{\circ} - \nu$;
- для теодолитов 2ТЗ0, 3ТЗ0 и 4ТЗ30: $КП = + \nu$; $КП = - \nu$.

Далее вращением наводящего винта зрительной трубы устанавливают вычисленный отсчет по вертикальному кругу, вследствие чего пересечение сетки сместится с точки в вертикальной плоскости. Работая вертикальными винтами сетки 3 и 4 (рис. 2.10, б), совмещают центр сетки нитей с изображением точки. Результаты измерений заносят в табл. 2.3.

2.5. Определение магнитного азимута при помощи ориентир-буссоли

Магнитные азимуты необходимы для ориентирования при производстве топографических съемок местности, выполняемых в условной системе координат, ориентировании прямых участков трассы автомобильных дорог и других линейных сооружений.

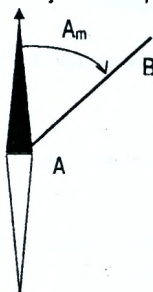


Рис. 2.11. Определение магнитного азимута

Для определения магнитного азимута линии АВ (рис.2.11) над начальной точкой А направления, азимут которого необходимо определить, устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение по цилиндрическому уровню. Положение теодолита устанавливают при круге «лево», в посадочный паз вставляют ориентир-буссоль и крепят её к теодолиту специальным винтом.

Ориентируют лимб по северному направлению магнитной стрелки ориентир-буссоли. Для этого устанавливают на горизонтальном круге отсчет, равный $0^{\circ} 00'$, вращая алидаду вокруг основной оси теодолита. Затем закрепляют алидаду, открепляют лимб и вращают теодолит, пока магнитная стрелка не покажет точно на север.

После чего лимб закрепляют, снова открепляют алидаду и наводят зрительную трубу на вежу, установленную в точке В (на конце направления, магнитный азимут которого измеряют). Отсчет по горизонтальному кругу и будет соответствовать значению магнитного азимута A_m направления АВ.

При выполнении этой работы следует помнить, что вблизи буссоли не должно быть металлических предметов.

2.6. Измерение горизонтальных углов

К измерению горизонтальных углов приступают после выполнения проверок и юстировок теодолита. Работы выполняют в следующей последовательности:

- установка теодолита в рабочее положение (центрирование, нивелирование, установка зрительной трубы для наблюдений);
- измерение горизонтальных углов;
- обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Перед измерением горизонтального угла теодолит центрируют над точкой, приводят его в рабочее положение, а трубу устанавливают для наблюдений.

1. Центрирование - установка центра горизонтального круга над вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса или оптического центра с перемещением ножек штатива с последующим передвижением прибора на головке штатива. Погрешность центрирования зависит от требуемой точности выполняемых работ и не должна превышать 1-5 мм при измерении горизонтальных углов.

2. Нивелирование - приведение плоскости лимба горизонтального круга в горизонтальное положение, т.е. установка оси вращения теодолита в отвесное положение. Для

этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня на середину. Открыв закрепленный винт алидады, поворачивают ее на 90° и, вращая третий подъемный винт, приводят пузырек уровня на середину. Уточняют центрирование теодолита.

3. При установке трубы для наблюдений необходимо добиться четкого изображения сетки нитей вращением диоптрийного кольца, вращением винта кремальеры - четкого изображения наблюдаемого предмета и устранить параллакс сетки нитей.

Вехи устанавливаются на следующую и предыдущую точки хода вертикально позади кола так, чтобы они находились в створе наблюдаемого направления.

При измерении горизонтального угла на вехи наводят вертикальную нить или биссектор сетки. Наведение выполняют строго по центру вехи так, чтобы пересечение нитей находилось в самой нижней видимой части ее, т.е. как можно ближе к поверхности земли. Этим исключается погрешность за возможную неvertикальность вехи.

При коротких сторонах хода рекомендуется при возможности визировать на воткнутую в кол шпильку от комплекта ленты.

Для измерения горизонтальных углов наиболее часто применяют способы *приёмов и круговых приёмов*.

2.6.1. Способ приёмов

Полный прием состоит из двух полуприёмов, т.е. угол измеряется при двух положениях вертикального круга теодолита (КП и КЛ). Теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла, точке В (рис. 2.1).

- Первый полуприём начинают, например, при КЛ. При **закрепленном лимбе** наводят трубу на правую точку А (рис. 2.1), берут отсчёт a_1 и записывают его в журнал.

- Наводят зрительную трубу на точку С (рис. 2.1) и берут отсчёт c_1 . Угол β_1 , полученный при КЛ, вычисляется по формуле:

$$\beta_1 = a_1 - c_1. \quad (2.11)$$

- Перед вторым полуприёмом смещают лимб на несколько градусов и закрепляют его. Эти действия позволяют обнаружить возможные грубые ошибки при отсчитывании по лимбу и уменьшить инструментальные погрешности. Переводят трубу через зенит и уже при КП в той же последовательности, как и в первом полуприёме, визируют на точки А и С и соответственно берут отсчёты a_2 и c_2

$$\beta_2 = a_2 - c_2. \quad (2.12)$$

В случае, если отсчёт на правую точку меньше отсчёта на левую, к нему прибавляют 360°.

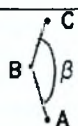
- При $|\beta_1 - \beta_2| \leq 2t$ из двух значений угла вычисляют среднее с округлением до 0,1'

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}. \quad (2.13)$$

При измерении горизонтальных углов в теодолитных ходах расхождение значений угла из двух полуприёмов не должно превышать $|\beta_1 - \beta_2| \leq 2t \leq 1'$.

Результаты измерений записывают в специальный журнал (табл. 2.4)

Таблица 2.4 Журнал измерения горизонтальных углов

№ станции	Круг	№ точки наблюдения	Отсчет по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол		Схема измеряемого угла β
				Измеренный	Средний	
О	КЛ	А	8° 38'	60° 59'	60° 58,5'	
		В	307° 39'			
	КП	А	185° 58'	60° 58'		
		В	125° 00'			

2.6.2. Способ круговых приёмов

Способ круговых приёмов используется в случае, когда в одной точке сходятся более двух направлений (рис. 2.12). Данный способ применяется при измерении горизонтальных углов в триангуляции; строительно-геодезической сетке; в системах теодолитных ходов (в узловых точках). В полигонометрии углы измеряют по методу трехштативной системы способом круговых приёмов.

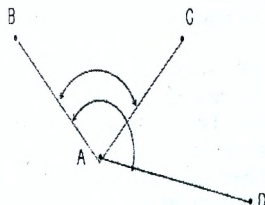


Рис. 2.12. Схема измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов

- Устанавливают рабочее положение теодолита КП, наводят на точку В, и, вращая теодолит против хода часовой стрелки, визируют на точки Д, С и В. Отсчёты записывают в графу 4 (табл. 2.5).

Измерения выполняют в следующей последовательности.

- Рабочее положение теодолита устанавливают при КП. Работая винтами алидады, отсчёт по горизонтальному кругу устанавливают близким к нулю и закрепляют алидаду.
- Работая винтами лимба, визирную ось наводят на точку, принятую за исходную (например В). Закрепляют лимб и проверяют отсчёт. Он должен оставаться близким к нулю. Полученный отсчёт записывается в графу 4 (табл. 2.5).
- При закреплённом лимбе вращают алидаду по ходу часовой стрелки и поочередно наводят визирную ось на точки С, Д и снова на В и при этом берут отсчёты по горизонтальному кругу, которые записывают в графу 4 (табл. 2.5).

$$N = \frac{KП + КК - 180^\circ}{2}, \quad (2.14)$$

которые записывают в графу 5.

В графе 6 получают направления, подсчитанные по формуле:

$$n_i = N_i - N_1, \text{ где } i=1, 2, 3 - \text{номера направлений.} \quad (2.15)$$

Таблица 2.5 Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов

№№ точек стояния	№№ точек визирования	Положение круга	Отсчёт		2С	Направления
			полученный	средний		
1	2	3	4	5	6	7
А	В	КЛ	0°02'	0°01,5'	-1,0'	0°00,0'
		КП	180°01'			
	С	КЛ	68°42'	68°42,5'	-1,0'	68°41,0'
		КП	248°43'			
	Д	КЛ	133°34'	133°34,0'	0	133°32,5'
		КП	313°34'			
	В	КЛ	0°01'	0°01,0'	0	
		КП	180°01'			

Контролем правильности измерения является графа 6. Колебания двойной коллимационной погрешности не должны превышать 1' при выполнении измерений теодолитом Т30 и его модификациями ($2С = КК - КЛ \pm 180^\circ$).

Повышения качества измерений можно достигнуть, если придерживаться некоторых практических рекомендаций. Перед началом измерений делать два-три оборота алидадной части теодолита в направлении вращения. По возможности не менять фокусировку трубы и оптического микроскопа и положение зеркала подсветки. Стремиться все измерительные операции в приеме и программе наблюдений на пункте выполнять равномерно по времени. Контролировать в процессе измерений центрирование и нивелирование теодолита. Чтобы уменьшить влияние погрешностей в делениях угломерного круга между приемами (если программа наблюдений состоит из нескольких приемов) осуществлять перестановку лимба на угол $\sigma = 180^\circ/n + \gamma$, n – число приемов, $\gamma = 10'$ (при выполнении измерений высокоточными и точными теодолитами).

3. НИВЕЛИРОВАНИЕ

3.1. Общие сведения. Нивелирные знаки

Нивелирование – вид геодезических измерений, в результате которых определяются разности высот (превышения) точек земной поверхности с целью вычисления высот (отметок) над принятой уровенной поверхностью.

В геодезии *высотой точки* называется *расстояние по отвесной линии (вертикальное расстояние) от уровенной поверхности, принятой за начальную, до уровенной поверхности этой точки земной поверхности.*

Различают высоты абсолютные, условные и относительные (превышения).

Счет *абсолютных высот* ведется от уровенной поверхности, принятой за начальную. В Республике Беларусь, Российской Федерации и др. странах на начало отсчета высот принята уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря.

Принятую систему высот называют Балтийская. Начало отсчета высот (Кронштадтский футшток) отмечен на водомерной рейке, закрепленной на гранитном устое моста на о. Котлин в г. Кронштадт.

Началом счета *условных высот* может являться любая условно принятая уровенная поверхность. Например, при проектировании и строительстве зданий в качестве исходной уровенной поверхности принимают уровень «чистого пола».

Так как в строительном производстве под термином «высота» также понимают: высоту здания, конструкции, этажа и т.д., для характеристики рельефа земной поверхности можно использовать термин «отметка». Отметка – это численное значение высоты точки земной поверхности. Поэтому говорят: определить отметки точек на топографической карте или плане; по результатам нивелирования, топографической съемки; вынести на местность проектную отметку и т.д.

Существуют следующие основные методы нивелирования.

Геометрическое нивелирование – это нивелирование горизонтальным визирным лучом.

Тригонометрическое нивелирование – это нивелирование наклонным визирным лучом.

Гидростатическое нивелирование основано на законе сообщающихся сосудов, где жидкость всегда находится на одном уровне, позволяющем определять превышение между точками, на которых установлены сосуды.

Барометрическое нивелирование основано на законе изменения атмосферного давления с изменением высоты. При помощи переносных барометров определяется величина атмосферного давления в соответствующих точках, а по разности давлений – превышение между ними.

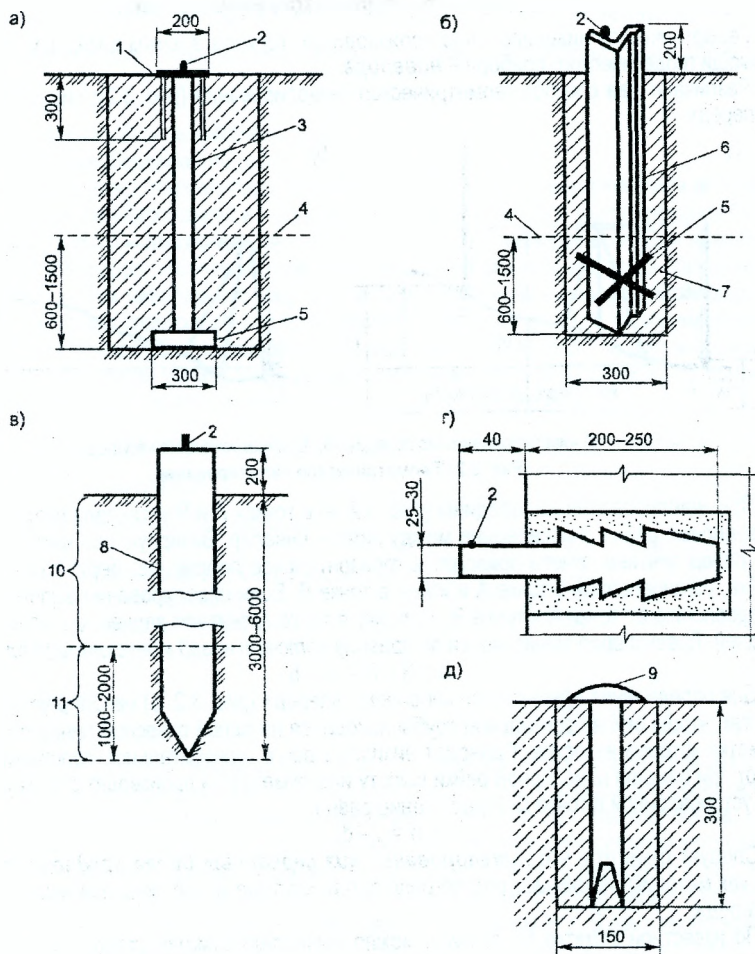
Основным методом определения отметок точек является геометрическое нивелирование. Государственная нивелирная сеть по точности делится на нивелирные сети I, II, III и IV классов. Нивелирные сети на местности закрепляются постоянными знаками – **реперами** или **марками**.

На нивелирных линиях I и II классов через 50-80 км. Нивелирные линии III и IV классов опираются на линии I и II классов. Здесь знаки закладывают через 5-10 км. Кроме капитальных знаков (репер, марка) при нивелировании устанавливают через 2-3 км *временные реперы*.

При строительстве инженерных сооружений устанавливаются строительные грунтовые реперы для зоны сезонного промерзания грунта (рис.3.1,а и 3.1,б), для закладки ниже зоны рыхлых грунтов (рис.3.1, в).

Основание грунтового репера должно быть заложено ниже глубины промерзания, чтобы репер не выпучивало в период промерзания и оттаивания грунта.

Нельзя устанавливать реперы около обрывов, на оползнях, в рыхлый грунт или плывуны, в местах, где их может повредить транспорт или сельскохозяйственная машина.



- 1 — пластина 200x200 мм; 2 — выступ координетный; 3 — металлическая труба диаметром 50–70 мм;
 4 — граница промерзания грунтов; 5 — якорь; 6 — рельс; 7 — скважина под бур; 8 — сваля,
 9 — сферическая поверхность; 10 — толща рыхлых грунтов;
 11 — глубина погружения сваи в устойчивые грунты

Рис. 3.1. Типы геодезических знаков и схемы их закрепления

Стенные реперы (рис. 3.1, г) закладывают в стены массивных сооружений, в устои мостов и гидротехнических сооружений: плотин, шлюзов, насосных станций.

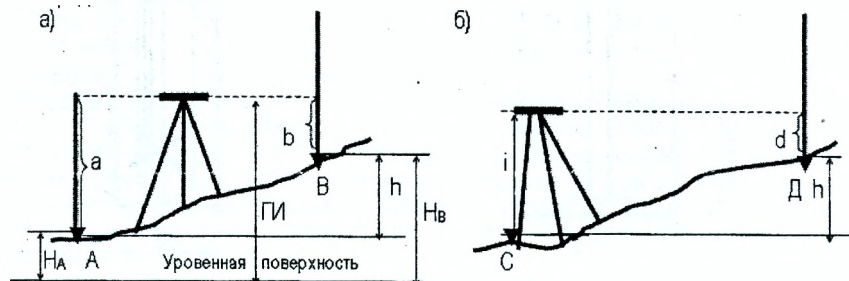
При заложении геодезических знаков в бетонные плиты перекрытия используют тип центра, представленный на рис.3.1., д.

В процессе строительства высоты (отметки) иногда закрепляют на существующих конструкциях несмываемой краской в виде треугольника, верхнее основание которого соответствует определённой отметке (рис. 3.1, в).

3.2. Сущность геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование производится горизонтальным визирным лучом при помощи геодезического прибора – *нивелира*.

Различают два способа геометрического нивелирования (рис. 3.2): «из середины» и «вперёд».



а) нивелирование «из середины», б) нивелирование «вперёд»

Рис. 3.2. Геометрическое нивелирование

При нивелировании из середины (рис. 3.2, а) в точках А и В устанавливаются отвесно нивелирные рейки, а посередине между ними – нивелир. Визирную ось зрительной трубы перед снятием отчета приводят в горизонтальное положение, берут отсчёт «а» по рейке, установленной в точке А и «b» – в точке В. Если нивелирование выполняется по направлению от точки А к точке В, то рейку в точке А считают задней, а в точке В – передней. Превышение вычисляется по правилу «отсчет назад минус отсчет вперёд»

$$h = 3 - \Pi = a - b. \quad (3.1)$$

Для определения превышения способом «вперёд» (рис. 3.2, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился на одной отвесной линии с точкой С, отметка которой известна. Приводят визирную ось в горизонтальное положение, измеряют при помощи нивелирной рейки высоту инструмента i и производят отсчёт d по рейке, установленной в точке Д. Превышение равно

$$h = i - d. \quad (3.2)$$

Следует отметить, что *нивелирование из середины* более предпочтительно, так как методика исключает ряд погрешностей, которые неизбежны при нивелировании «вперёд».

По известной отметке H_A точки А можно вычислить отметку второй точки H_B через превышение или через горизонт инструмента (рис. 3.2, а).

а) через превышение. Отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс превышение между этими точками.

$$H_B = H_A + h. \quad (3.3)$$

б) через горизонт инструмента. Горизонт инструмента (ГИ) – высота горизонтального визирного луча нивелира над уровенной поверхностью (рис. 3.2,а). Горизонт инструмента равен отметке точки плюс отсчёт по черной стороне рейки, установленной на этой точке

$$ГИ = H_A + a, \quad (3.4)$$

$$H_B = ГИ - b, \quad (3.5)$$

где a и b – отсчёты по рейке, установленной соответственно в точках А и В.

в) через высоту инструмента i

$$H_D = H_C + i - d.$$

3.3. Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования

При геометрическом нивелировании используют следующие приборы и принадлежности:

1. Нивелир;
2. Штатив;
3. Нивелирные рейки (в комплекте две);
4. Костыли или башмаки (по два).

Нивелиры бывают трех классов точности: Н-05, Н-1, Н-2 – **высокоточные** – предназначены для нивелирования I и II классов; Н-3 – **точные** – для нивелирования III и IV классов; Н-5 и Н-10 – **технические** – для технического нивелирования. Для нивелиров Н-05, Н-5, Н-10 цифра обозначает среднюю квадратическую погрешность определения превышения на 1 км нивелирного хода. Существуют нивелиры с самоустанавливающейся визирной осью в горизонтальное положение (с компенсатором). У таких нивелиров в конце наименования добавляется буква К (например нивелир Н-3К), а для нивелиров с горизонтальным кругом (лимб) буква Л (например нивелир Н-10Л). В табл. 3.1 приведены технические характеристики точных и технических нивелиров.

Таблица 3.1 Технические характеристики точных и технических нивелиров

Показатели	Тип нивелира				
	Н-3	Н-3К	2Н-3Л	Н-10	Н-10КЛ
Средняя квадратическая погрешность, мм:					
– на 1 км хода	3	3	2	10	10
– на станции при расстоянии до реек до 100 м	2	2	1,2	5	5
Увеличение зрительной трубы, крат.	30	30	31,8	20	20
Коэффициент нитяного дальномера	100	100	100	100	100
Цена деления уровня:					
– круглого, мин	10	10	10	10	10
– цилиндрического, с	10	–	15	45	–
Масса, кг	3	3	1,9	2	2

До 1976 г. выпускались нивелиры Н-05, Н-1, Н-2, Н-3 и НТ. Здесь цифра означает класс нивелирования, для которого предназначен нивелир (I, II, III, IV класс и Т – техническое). ГОСТ 10528-76 предусматривает выпуск нивелиров Н-05, Н1, Н2 – высокоточные, Н-3 – точные и Н-10 – технические. Цифра после буквы Н – это значение средней квадратической погрешности определения превышения на 1 км двойного нивелирного хода, в мм. Широкое применение на производстве находит нивелир НВ-1 более раннего производства. Его технические характеристики совпадают с нивелиром Н-3. В настоящее время в практике геодезических работ используют оптические нивелиры 3Н-2КЛ и 3Н-5КЛ (технический), которые с 2000 года выпускает Уральский оптико-механический завод.

Штатив предназначен для установки нивелира в рабочее положение и представляет собой треногу со станвым винтом, при помощи которого нивелир крепится к штативу. Штативы по ГОСТ 11897-78 могут быть как деревянные, так дюралюминиевые, с раздвижными ногами или цельные.

Костыли и башмаки предназначены для закрепления связующих и иксовых точек. Костыли используются при нивелировании по мягкому грунту, представляют собой металлический стержень диаметром 3-5 см, длиной около 30 см с ручкой для переноса (рис. 3.3, б). Башмаки представляют собой металлическую плиту весом около 5 кг с выпуклостью для постановки рейки (рис. 3.3, а). Используются при нивелировании по асфальту или бетону.

Нивелирные рейки выпускаются трех типов: РН-05 – для нивелирования I и II классов, РН-3 – для нивелирования III и IV классов и РН-10 – для технического нивелирования. Рейки РН-3 – цельные длиной 3 м; РН-10 – складные 3-х или 4-х метровые (рис. 3.3, в).

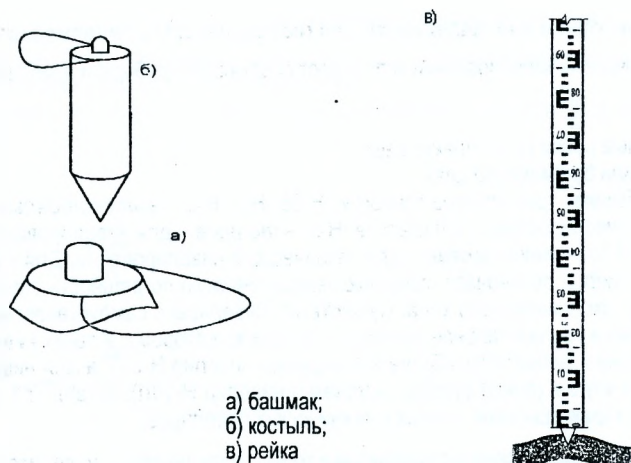


Рис. 3.3. Приспособления для нивелирования

На одной стороне рейки нанесены черные шашечные сантиметровые деления (сторона называется основной), на другой стороне красные – дополнительная. Ноль деления черной стороны совмещен с опорной плоскостью (пяткой рейки) – жестко скрепленной с рейкой. На красной стороне с плоскостью пятки совпадает отсчет 4685 мм или 4785 мм. *Разность нулей пяток рейки* – это разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки. В настоящее время промышленность выпускает телескопические алюминиевые рейки длиной до 6 м.

Существуют **цифровые и лазерные нивелиры**. Цифровые нивелиры отличаются от оптических наличием электронного устройства, снимающего отсчеты по специальным штрих-кодовым рейкам. В задачу наблюдателя входит визирование зрительной трубы на рейку и нажатие на кнопку. Результаты измерений (отсчет по рейке, расстояние до нее, горизонт нивелира, отметка точки) выдаются на экран дисплея и записываются в карту памяти для окончательной обработки результатов нивелирования на ЭВМ. Широко известны высокоточные цифровые нивелиры:

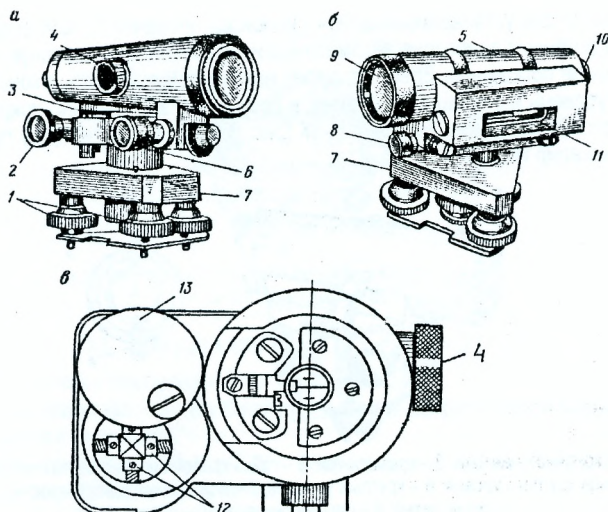
- DiNi 12 фирмы Trimble (США) – точность определения превышения 0,3 мм;
- DNA03 фирмы Leica (Швейцария) – точность определения превышения 0,3 мм;
- DL-101C фирмы Topcon (Япония) – точность определения превышения 0,4 мм.

Лазерный нивелир дает видимый луч и может работать без приемника излучения. Их применяют для задания видимой горизонтальной и вертикальной плоскостей. При работе с лазерным нивелиром используют как обычные нивелирные рейки, так и рейки съемного обоснования специальными приемниками лазерного излучения.

Иностранные фирмы выпускают высокоточные нивелиры с регистрирующим электронным устройством, которое позволяет автоматически регистрировать отсчеты по рейкам и вычислять превышения между точками. Автоматизирован и весь процесс обработки результатов нивелирования с их запоминанием и хранением. Примером может служить нивелир ReNi 002A фирмы Карл-Цейсс Йена (Германия).

3.4. Устройство нивелира Н-3 и Н-3К

Нивелир Н-3 (рис. 3.4) относится к точным нивелирам с цилиндрическим уровнем и элевационным винтом. Предназначен для нивелирования III–IV классов и технической точности при выполнении инженерно-геодезических изысканий и в строительстве.

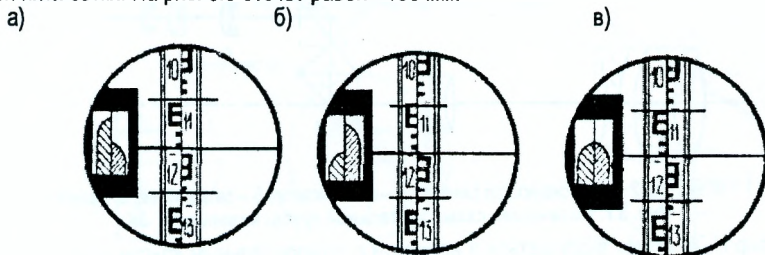


1 – подъёмные винты; 2 – элевационный винт; 3 – круглый уровень; 4 – кремальера; 5 – корпус зрительной трубы; 6 – наводящий винт; 7 – подставка (трегер); 8 – закрепительный винт; 9 – объектив; 10 – окуляр; 11 – цилиндрический уровень; 12 – исправительные винты цилиндрического уровня; 13 – защитная крышка

Рис. 3.4. Нивелир Н – 3: а – вид со стороны круглого уровня; б – со стороны цилиндрического уровня; в – со стороны окуляра (без окуляра)

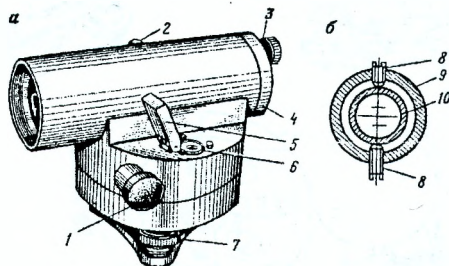
Цилиндрический уровень 11 и зрительная труба неподвижно скреплены между собой и имеют общий корпус. Перед началом наблюдений вращением диоптрийного кольца окуляра 10 добиваются четкого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). Подъемными винтами 1 по круглому уровню 3 нивелир приводят в рабочее положение. После грубого наведения на рейку положение зрительной трубы фиксируют закрепительным винтом 8, вращением кремальеры 4 добиваются четкого изображения рейки, а вращением наводящего винта 6 добиваются точного наведения на середину рейки.

Элевационным винтом 2 цилиндрический уровень вместе с трубой может наклоняться на небольшой угол в вертикальной плоскости. Перед отсчетом по рейке вращением элевационного винта приводят пузырёк уровня в нуль-пункт, наблюдая при этом его положение в окуляр зрительной трубы (рис. 3.5,в). После этого берут отсчёт по рейке по средней нити сетки. На рис. 3.5 отсчёт равен 1190 мм.



а) и б) – положение пузырька цилиндрического уровня вне нуль-пункта; в) – в нуль-пункте
Рис. 3.5. Поле зрения трубы нивелира Н-3

Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования (с компенсатором – буква «К») в определённом диапазоне автоматически устанавливают визирную ось нивелира в горизонтальное положение. Здесь отпадает необходимость иметь в конструкции цилиндрический уровень и элевационный винт, в результате значительно сокращается время на взятие отсчёта по рейке. Нивелир Н-ЗК (рис. 3.6) предназначен для тех же видов работ, что и нивелир Н-З.

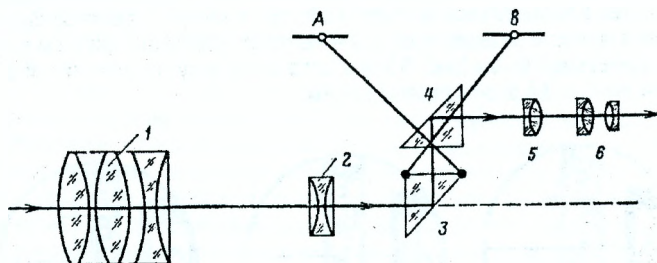


- 1 – винт бесконечной наводки; 2 – кремальера; 3 – гайка крепления предохранительного колпачка 4;
5 – зеркальце круглого уровня; 6 – круглый уровень; 7 – подъёмный винт; 8 – кустировочные винты
сетки нитей; 9 – оправка окуляра; 10 – сетка нитей

Рис. 3.6. Нивелир Н-ЗК: а) общий вид; б) поперечный разрез окулярной части зрительной трубы

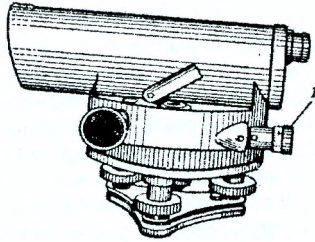
В рабочее положение нивелир устанавливают подъёмными винтами 7 по круглому уровню 6. У нивелира отсутствует закрепительный винт. При наведении на рейку труба вращается и чётко фиксируется наблюдателем в нужном направлении. Зрительная труба нивелира – перископическая (рис. 3.7), т.е. визирный луч проходит через окуляр несколько выше, чем через объектив, поэтому высоту инструмента относительно окуляра измерять нельзя.

Нивелир имеет призмный компенсатор, состоящий из двух призм, одна из которых 3 подвешена на четырёх скрещенных нитях, другая 4 неподвижно скреплена с корпусом трубы. Нити закреплены на корпусе трубы. На рис. 3.7 показаны две нити крепления в точках А и В. Компенсатор обеспечивает установку линии визирования в горизонтальное положение при наклонах зрительной трубы до 15–20' для нивелира Н-ЗК. Для обеспечения этого угла компенсации служит круглый уровень 6 (рис. 3.6).



1 – объектив; 2 – фокусирующая линза; 3,4 – компенсатор; 5 – сетка нитей; 6 – окуляр
Рис. 3.7. Оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-ЗК

Нивелир Н-ЗК может выпускаться в варианте с горизонтальным кругом (лимбом) под шифром Н-ЗКЛ (рис. 3.8). Горизонтальный круг разделён делениями через 1°. Наблюдая в окуляр 1, производят отсчёт по лимбу при помощи нониуса с точностью 0,1°.



1 – окуляр для отсчётов по горизонтальному кругу (лимбу)

Рис. 3.8. Нивелир Н-ЗКЛ

3.5. Поверки нивелиров Н-З, Н-ЗК (Н-ЗКЛ)

У нивелиров различают следующие оси:

- Ось вращения нивелира I-I – воображаемая линия, вокруг которой нивелир вращается в горизонтальной плоскости;
- Визирная ось зрительной трубы Z-Z – воображаемая линия, проходящая через центр объектива и пересечение сетки нитей;
- Ось цилиндрического уровня U-U – воображаемая линия, касательная к нуль-пункту уровня (отсутствует у нивелиров с компенсатором);
- Ось круглого уровня К-К – перпендикуляр к плоскости, касательной к нуль-пункту круглого уровня.

а) Ось круглого уровня К-К должна быть параллельна оси вращения нивелира I-I.

Проверку этого условия выполняют приведением пузырька круглого уровня в нуль-пункт при помощи подъемных винтов и поворотом нивелира на 180°. При этом пузырек не должен отклоняться более одного деления (рис. 3.9). Если отклонение не допустимое, выполняют юстировку исправительными винтами круглого уровня на половину отклонения пузырька. Проверку повторяют.

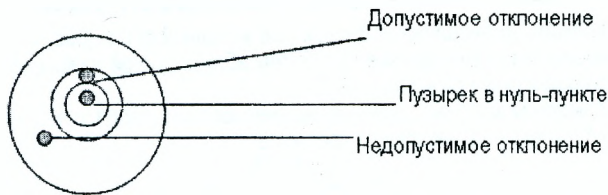


Рис. 3.9. Проверка круглого уровня

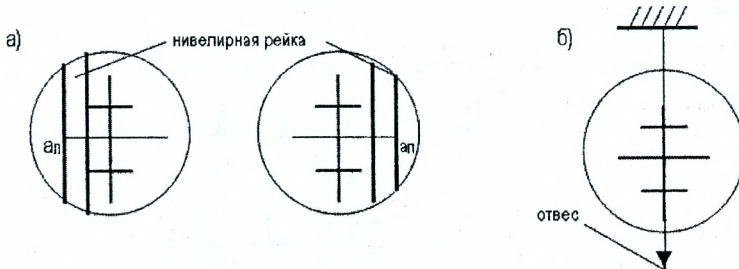


Рис. 3.10. Проверка сетки нитей

б) Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

1-ый способ. Проверку этого условия выполняют при помощи рейки, установленной вертикально на расстоянии 20-30 м от нивелира, предварительно установленного по круглому уровню. Вращая наводящий винт, наводят сначала левый, а затем правый конец горизонтальной нити сетки нитей на рейку, беря отсчёты a_1 и a_2 (рис. 3.9, а). Отсчёты не должны отличаться более чем на 2 мм. Для нивелиров с цилиндрическим уровнем выполнение этого условия гарантируется заводом-изготовителем. У нивелиров Н-5К и Н-5КЛ окуляр крепится к колену объектива вместе с сеткой нитей при помощи 4-х винтов. Последние выкручивают на один оборот, и окуляр вместе с сеткой поворачивают на нужный угол по отвесу. После чего винты закручивают.

2-ой способ. Нивелир приводится в рабочее положение. На расстоянии 20-30 м от нивелира подвешивается отвес, визируют (рис. 3.10, б) вертикальную нить сетки на нить отвеса. Условие выполняется, если изображение вертикальной нити сетки нитей совпадает с нитью отвеса (отклонение допускается на толщину нити).

в) **Ось цилиндрического уровня U-U нивелира Н-З должна быть параллельна визирной оси Z-Z. Визирная ось нивелира Н-ЗК должна быть горизонтальна (в пределах угла компенсации). Это условие называется главным условием нивелира.**

1-ый способ. Главное условие нивелира можно проверить двойным нивелированием. Для этого на ровной местности на расстоянии примерно 50-75 м друг от друга забивают колышки, на которые устанавливают нивелирные рейки (рис 3.11).

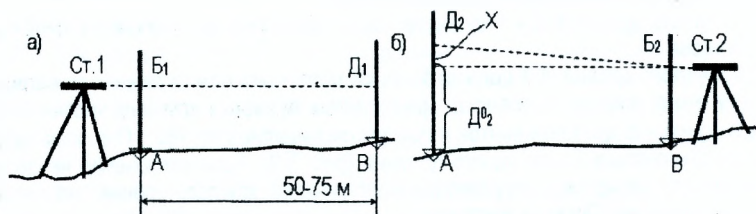


Рис. 3.11. Проверка главного условия нивелира (1 способ)

Нивелир вначале устанавливают вблизи (6-8 м.) одной рейки (рис. 3.11, а) и берут отсчеты по ближней рейке B_1 и дальней D_1 . Затем вблизи другой рейки (рис. 3.11, б) берут отсчеты по ближней рейке B_2 и дальней D_2 .

При несоблюдении главного условия дальние отсчеты будут содержать одинаковую погрешность X , которую вычисляют по формуле:

$$X = \frac{D_1 + D_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (3.6)$$

Правильный отсчёт, свободный от ошибки X , вызванной несоблюдением главного условия, вычисляется по формуле:

$$D_2^0 = D_2 - X \quad (3.7)$$

Результаты проверки главного условия оформляют в виде табл. 3.2.

Таблица 3.2

Проверка главного условия

№ станции	№№ точек визирн.	Наименование отсчетов	Отсчеты по рейкам, мм		Контроль (разность нулей пяток)
			Красная сторона	Черная сторона	
			4	5	6
1	A	B_1	6409 (1)	1624 (2)	4785 (3)
	B	D_1	6065 (4)	1282 (5)	4783 (6)
2	B	B_2	6536 (7)	1754 (8)	4782 (9)
	A	D_2	6882 (10)	2098 (11)	4784 (12)

Величина X вычисляется по «красным» и «черным» отсчетам по формуле 3.6

$$X_{\text{ч}} = \frac{1282 + 2098}{2} - \frac{1624 + 1754}{2} = 1 \text{ мм};$$

$$X_{\text{к}} = \frac{6065 + 6882}{2} - \frac{6409 + 6536}{2} = 2 \text{ мм}; \quad X = \frac{X_{\text{к}} + X_{\text{ч}}}{2} = \frac{2 + 1}{2} \approx 2 \text{ мм}.$$

Правильный отсчет $D_0^{\circ} = 2098 - 2 = 2096$

2-ой способ. На колышки, закрепляющие линию АВ длиной 50-75м, устанавливают нивелирные рейки, а точно посередине между рейками – нивелир (рис. 3.12, а). После приведения нивелира в рабочее положение берутся отсчеты « a_0 » и « b_0 » по рейкам. Эти отсчеты будут исключены от влияния X – несоблюдения главного условия нивелира, следовательно, превышение

$$h_3 = a_0 - b_0 \quad (3.8)$$

будет также свободно от влияния X .

Затем нивелир устанавливают вблизи другой рейки (рис. 14.5 б), например вблизи рейки В, и опять берут отсчеты по рейкам « a_1 » и « b_0 » и вычисляют превышение. Это превышение включает и значение X , т.е.

$$h + X = a_1 - b_1, \quad (3.9)$$

следовательно, величину X можно подсчитать по формуле:

$$X = h - h_3, \quad (3.10)$$

а правильный отсчет

$$a = a_1 - X. \quad (3.11)$$

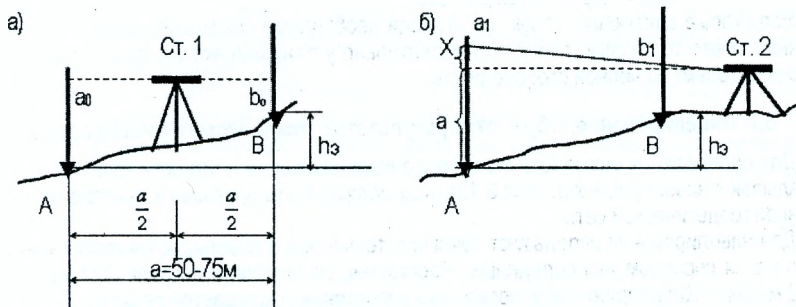


Рис. 3.12. Проверка главного условия нивелира (2 способ)

Для расстояния АВ, равного 75 м, погрешность X не должна превышать 4 мм. Исправление несоблюдения главного условия выполняется в следующем порядке.

Нивелир Н-3. Элевационным винтом совмещают горизонтальную среднюю нить сетки с правильным отсчетом (формулы 3.7 и 3.11), при этом пузырек цилиндрического уровня сместится с нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами 12 (рис. 3.4, в) цилиндрического уровня приводят пузырек в нуля-пункт. После исправления проверку повторяют.

Нивелир Н-3К. При помощи исправительных винтов 8 (рис. 3.6, б) сетки её перемещают так, чтобы отсчет по рейке стал равным правильному отсчету, вычисленному по формулам (3.7) или (3.11). После исправления проверку повторяют.

3.6. Программа работы на станции при техническом нивелировании

Работу на станции выполняют в следующей последовательности:

1. На связующие точки устанавливают нивелирные рейки, а примерно посередине между ними – нивелир. Расхождение расстояний от нивелира до реек (длин плеч) не должно превышать 5 м.

2. Нивелир приводят в рабочее положение по круглому уровню, наводят трубу на заднюю точку и берут отсчёт (по средней нити) по чёрной стороне рейки (З_ч). *Перед каждым отсчетом пузырек цилиндрического уровня приводят в нуль-пункт.*

3. Наводят трубу нивелира на переднюю рейку и берут отсчёты сначала по чёрной (П_ч), а затем по красной (П_к) стороне рейки.

4. Снова наводят нивелир на заднюю рейку и берут отсчёт по красной стороне (З_к) рейки.

5. Для контроля вычисляют разности нулей (РО) пятюк реек задней – РО_з=З_к-З_ч и передней – РО_п=П_к-П_ч. *Расхождения разностей нулей пятюк реек по абсолютной величине не должно превышать 5 мм.*

6. Вычисляют значения превышений, измеренные по чёрной и красной сторонам реек $h_{ч}=З_{ч}-П_{ч}$ и $h_{к}=З_{к}-П_{к}$. *Измерение превышения на станции считается выполненным правильно, если расхождения превышений по чёрной и красной сторонам реек не превышают 5 мм.*

7. Вычисляют значения средних превышений, которые округляют до целых миллиметров

$$h_{ср} = \frac{h_{ч} + h_{к}}{2} \quad (3.12)$$

Если в округляемом значении $h_{ср}$ последней цифрой окажется 5 (пять десятых), то округление выполняется в ближайшую чётную сторону.

Например, 1395,5 округляется до 1396;

1396,5 округляется до 1396;

1397,5 округляется до 1398;

1398,5 округляется до 1398.

Если кроме связующих точек на станции необходимо определить отметки промежуточных точек, то заднюю рейку последовательно устанавливают на этих точках и берут отсчёты только по черной стороне рейки.

3.7. Нивелирование. Обработка результатов технического нивелирования

Для определения высот (отметок) всех закреплённых на местности точек по ним прокладывают нивелирный ход (рис.3.13). Ход должен быть привязан к пунктам государственной геодезической сети.

Для нивелирования используют точные и технические нивелиры. Нивелирование выполняется способом «из середины». Расстояние от нивелира до реек составляет 100-150 м. При неблагоприятных условиях это расстояние сокращается до 50 м.

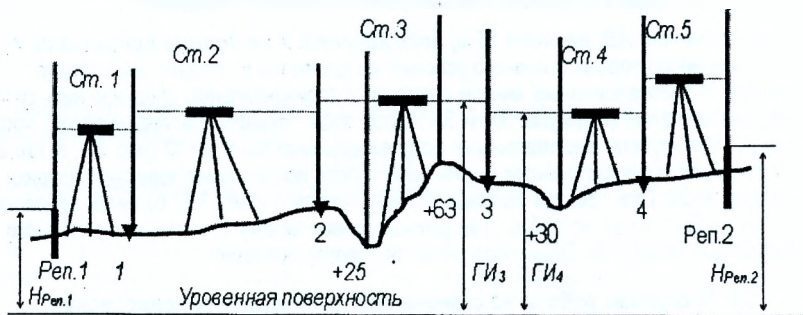


Рис. 3.13. Последовательное продольное нивелирование

Превышения в ходе были измерены по программе технического нивелирования. После снятия отсчётов на связующие точки и вычисления превышений, задний реечник по-

следовательно устанавливает рейку на всех промежуточных точках, а нивелировщик берёт отсчёты по черной стороне рейки. Результаты записывают в специальный журнал технического нивелирования (табл. 3.3). В качестве связующих точек могут быть любые закреплённые на местности точки (колышками).

При нивелировании крутых склонов определяемое превышение может оказаться больше длины рейки. В этом случае назначаются дополнительные связующие точки, называемые **иксовыми** (рис. 3.14). **Иксовые** точки служат для передачи отметки с задней точки на переднюю.

Искомое превышение на рис.3.14 равно $h = h_1 + h_2$.

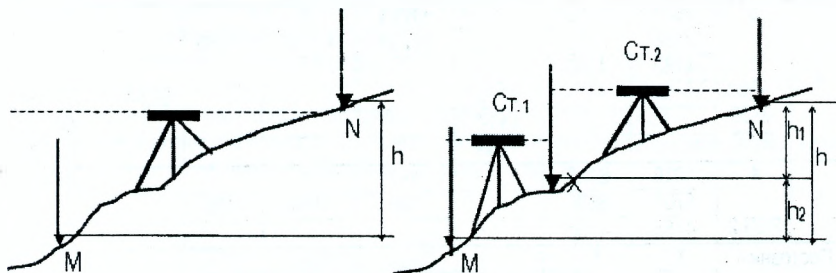


Рис. 3.14. Нивелирование крутых склонов (иксовые точки)

Результаты измерений заносят в графы 1–5 «Журнала технического нивелирования» (табл. 3.3) и в полевых условиях находят «вычисленные» и «средние» превышения, которые записывают в графы 6 и 7.

Обработку результатов нивелирования начинают с постраничного контроля, который служит для исключения грубых ошибок при вычислениях превышений. При постраничном контроле на каждой странице находят сумму всех задних отсчетов ΣZ , сумму передних отсчетов $\Sigma П$, сумму вычисленных превышений $\Sigma h_{выч.}$ и сумму средних превышений $\Sigma h_{ср.}$ и проверяют

$$\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h_{выч.} \approx 2 \Sigma h_{ср.} \quad (3.13)$$

В нашем примере (табл. 3.3) $\Sigma Z - \Sigma П = 43249 - 38281 = +4968$;

$$\Sigma h_{выч.} = +4968; \quad \Sigma h_{ср.} = +2483; \quad 2 \Sigma h_{ср.} = +2 \cdot 2483 = +4966.$$

Последние значения могут отличаться на 2-3 мм от первых двух за счет округления средних превышений.

Таблица 3.3 Журнал технического нивелирования

№ станции	№ точек	Отсчёты по рейке, мм			Превышения, мм			Горизонт инструмента ГИ, м	Отметки Н, м	
		Задний	Передний	Промежуточный	Вычисленные	Средние	Исправленные			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	РЕП.1 1	2493(1)								
		7277(4)							51,315	
		4784(5)				+1509(7)	-3			
			0984(2)			+1512(8)	+1510(9)	+1507		
			5765(3)							52,822
			4781(6)							

Продолжение таблицы 3.3

2	1	1573	0691		+882	-2			52,822
		6358	5474		+884	+883	+881		
	2	4785	4783						53,703
3	2	0870	1835		-965	-3			53,703
		5652	6619		-967	-966	-969		
	3	4782	4784						52,734
	+25 +63			2773				54,573	51,800
			1213					53,360	
4	3	2813	1562		+1251	-2			52,734
		7596	6342		+1254	+1252	+1250		
	4	4783	4780						53,984
	+30			3116				55,547	52,431
	П+20 Л+20			1417					54,130
			1763					53,784	
5	4	1916	2113		-197	-3			53,984
		6701	6896		-195	-196	-199		
	РЕП.2	4785	4783						53,785
Пострани- чный контроль		ΣЗ	ΣП		Σh _{выч.}	Σh _{ср.}			
		43249	38281		+4968	+2483			
		ΣЗ- ΣП=+4968							

Контроль: $\Sigma З - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч.}} \approx 2 \Sigma h_{\text{ср.}} + 4968 = +4968 \approx 2(+2483)$

$\Sigma h_{\text{т.}} = 53,785 - 51,315 = 2,470 \text{ м} = 2470 \text{ мм.}$

$f_{\text{н.}} = \Sigma h_{\text{ср.}} - \Sigma h_{\text{т.}} = 2483 - 2470 = +13 \text{ мм.}$

$f_{\text{н. доп.}} = \pm 10 \sqrt{n} = \pm 10 \sqrt{5} = \pm 22 \text{ мм.}$

Далее находят теоретическую сумму превышений

$$\Sigma h_{\text{т.}} = H_{\text{к.}} - H_{\text{н.}} \quad (3.14)$$

и определяют невязку в превышениях по формуле:

$$f_{\text{н.}} = \Sigma h_{\text{ср.}} - \Sigma h_{\text{т.}} \quad (3.15)$$

где $\Sigma h_{\text{ср.}}$ - сумма средних превышений;

$\Sigma h_{\text{т.}}$ - теоретическая сумма превышений;

$H_{\text{к.}}$ - отметка конечного репера;

$H_{\text{н.}}$ - отметка начального репера.

Допустимая невязка определяется по формулам:

$$f_{\text{н. доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} \quad (\text{для равнинной местности}), \quad (3.16)$$

$$f_{\text{н. доп.}} = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{n} \quad (\text{если в ходе более 10 станций на 1 км}), \quad (3.17)$$

где L - длина хода, выраженная в километрах, n - количество станций.

Если $f_{\text{н.}} \leq f_{\text{н. доп.}}$ по абсолютной величине, то выполняется уравнивание (исправление) превышений. Невязку распределяют с обратным знаком в виде поправок поровну во все средние превышения, округляя поправки до целых миллиметров. Если распределить поправки поровну во все превышения не удаётся, то большие по абсолютной величине поправки вводят в превышения, полученные на станциях в середине хода. Сумма поправок должна быть строго равна невязке с обратным знаком. Контролем правильности уравнивания превышений является выполнение равенства:

$$\Sigma h_{\text{испр.}} = \Sigma h_{\text{т.}} \quad (3.18)$$

Для получения уравненных (исправленных) превышений к средним превышениям прибавляют поправки с учётом знаков.

По заданной отметке начального репера вычисляют отметки всех связующих точек по

правилу: *отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс исправленное превышение между этими точками.*

Например, $H_1 = H_{\text{реп.1}} + h_{\text{испр.}} = 51,315 + 1,507 = 52,822$; $H_2 = H_1 + h_{\text{испр.}} = 52,822 + 0,881 = 53,703$.

Следует помнить, что отметки выражают в метрах, а превышения получают в миллиметрах, поэтому при вычислении отметок превышения необходимо выражать в метрах. В конце вычислений должны получить заданную отметку конечного репера.

После вычисления отметок связующих точек вычисляются отметки промежуточных точек. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента (ГИ).

Горизонт инструмента – это высота (отметка) визирной оси над уровневой поверхностью. Горизонт инструмента равен отметке точки плюс отсчет по чёрной стороне рейки, установленной на этой точке.

Горизонт инструмента станции 4 равен (рис. 3.15) $GI_4 = 52,734 + 2,813 = 55,547$
или $GI_4 = 53,984 + 1,562 = 55,546$.

Отметка промежуточной точки + 30 равна $H_{+30} = 55,547 - 3,116 = 52,431$.

В характерных точках местности разбивают и нивелируют поперечники. Точки поперечников нивелируют так же, как обычные промежуточные точки.

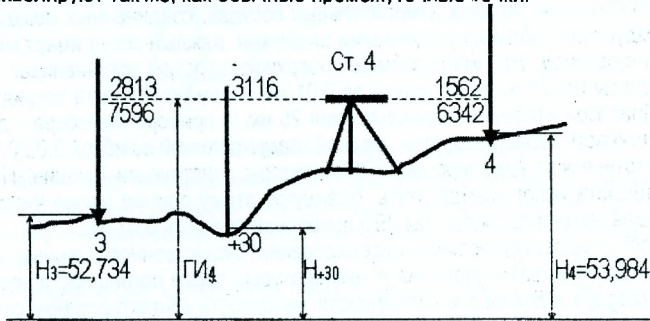


Рис. 3.15. Схема к определению отметки промежуточной точки через горизонт инструмента

3.8. Сущность гидростатического нивелирования

Гидростатическое нивелирование основано на законе сообщающихся сосудов, где жидкость всегда находится на одном уровне, позволяющем определять превышение между точками, на которых установлены сосуды. Гидростатическое нивелирование широко применяется в инженерной геодезии при прокладке подземных коммуникаций, установке и монтаже технологического оборудования, для наблюдений за осадками плотин, стен тоннелей, мостов, фундаментов различных агрегатов. Гидростатическое нивелирование позволяет автоматизировать процесс измерений.

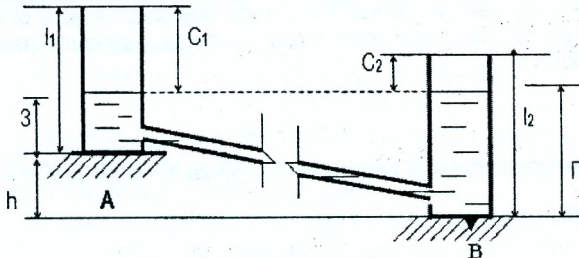


Рис. 3.16. Гидростатическое нивелирование

Простейший гидростатический нивелир представляет собой два измерительных сосуда со шкалами, соединённые гибким шлангом. Сосуды заполняются подкрашенной жидкостью. Шкалы на сосудах нанесены через 1 мм.

При измерении превышений устанавливаются сосуды в определяемых точках А и В, берутся отсчёты C_1 и C_2 по шкалам сосудов. Обозначив высоты сосудов соответственно через l_1 и l_2 , получим:

$$h = 3 - \Pi = (l_1 - C_1) - (l_2 - C_2) = (C_2 - C_1) - (l_2 - l_1). \quad (3.19)$$

Для любого гидростатического нивелира разность $l_2 - l_1$ является постоянной величиной, эту величину называют местом нуля гидронивелира (разница положения нулей шкал) и обозначают через МО. Тогда

$$h = C_2 - C_1 - \text{МО}. \quad (3.20)$$

Регистрация уровня жидкости в точных гидростатических системах осуществляется визуальным, электроконтактным, фотозлектрическим и другими способами. К визуальным системам относятся такие широко распространённые приборы уровень гидростатический (Россия) УГС модели 114 и 115 и прибор Мейссера (Германия), которые являются приборами переносного типа.

Прибор УГС состоит из двух измерительных сосудов, соединённых между собой водяным и воздушным гибкими прозрачными шлангами. Каждый сосуд имеет микрометрический винт с острием. На нивелируемые поверхности сосуды устанавливают плоскими пятнами. Отсчёты берут по шкале винта до 0,01 мм в момент контакта острия с уровнем жидкости. Диапазон измеряемых превышений 25 мм (в приборе Мейссера – до 100 мм), приборная точность характеризуется средней квадратической ошибкой 0,02-0,05 мм.

В гидростатическом нивелире МИИГАиК (авторы конструкции Крацин, Нестеров) в качестве жидкости используется ртуть, благодаря этому прибор менее чувствителен к изменению давления и температуры. Его приборная точность 0,01 мм.

На точность гидростатического нивелирования существенное влияние оказывают внешние условия (перепад давления и температуры), также погрешности неравновесия жидкости в сосудах и влияния капиллярности, неточность контактирования острия винта с жидкостью, влияние неточной установки прибора.

3.9. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование позволяет определить превышение между точками по измеренному углу наклона и расстоянию.

Для определения превышения между точками А и В (рис. 3.17) над точкой А устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, измеряют высоту инструмента i – расстояние по отвесной линии от точки А до оси вращения зрительной трубы теодолита (помечена черной точкой на кремальере) с помощью нивелирной рейки с точностью до 0,01 м. В точке В устанавливают нивелирную рейку. По черной стороне рейки по средней нити отсчитывают высоту визирования u – расстояние от пятки рейки до точки визирования. Нитяным дальномером измеряют наклонное расстояние D от теодолита до рейки. С помощью вертикального круга теодолита полным приемом измеряют вертикальный угол наклона ν .

Из рис. 3.17
$$h + u = h' + i \quad (3.21)$$

или
$$h = h' + i - u. \quad (3.22)$$

При известном горизонтальном расстоянии d получим $h' = d \cdot \text{tg} \nu$ или $h' = \frac{D}{2} \sin 2\nu$.

Таким образом,

$$h = \frac{D}{2} \sin 2\nu + i - u + f, \quad (3.23)$$

где f – поправка за рефракцию и кривизну Земли.

Поправка f в измеренное превышение при расстоянии 400 м достигает 1 см. Поэтому в тригонометрическом нивелировании поправку за кривизну Земли и рефракцию следует вводить только при расстояниях более 400 м.

Метод тригонометрического нивелирования позволяет измерять с одной станции значительные по величине превышения. Наилучшим временем для выполнения нивелирования являются периоды четких изображений визирных целей (утренняя и вечерняя видимость, пасмурная погода). Из-за рефракции этот метод зимой не пригоден.

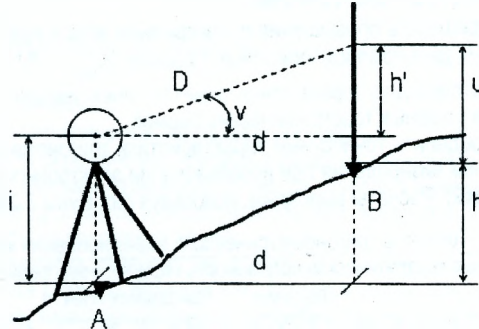


Рис. 3.17. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование по точности соответствует геометрическому нивелированию III класса. Используя высокоточные и точные теодолиты, методика тригонометрического нивелирования коротким лучом позволяет повысить точность определения превышения.

Средняя квадратичная погрешность определения превышения m_h тригонометрическим нивелированием вычисляется по формуле:

$$m_h^2 = m_d^2 \cdot \operatorname{tg} v + \frac{d^2}{\cos^4 v} \cdot \frac{m_v^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_h^2. \quad (3.24)$$

При углах $|v| \leq 5^\circ$ можно принять: $\operatorname{tg} v = \frac{v}{\rho}$, $\cos v = 1$.

С учётом этого формула 3.24 примет вид:

$$m_h^2 = (v^2 m_d^2 + d^2 m_v^2) \cdot \frac{1}{\rho^2}. \quad (3.25)$$

Обычно в тригонометрическом нивелировании превышения измеряют дважды (в прямом и обратном направлениях) и за окончательное значение принимают среднее арифметическое.

Тогда окончательную среднюю квадратическую погрешность превышения, измеренного в прямом и обратном направлениях, вычисляют по формуле:

$$M_h = m_h / \sqrt{2}. \quad (3.26)$$

Погрешность определения превышений методом тригонометрического нивелирования может быть уменьшена за счет повышения точности измерения углов наклона и расстояний более точными геодезическими приборами.

Пример 3.1. Определить погрешность определения превышения тригонометрическим нивелированием, если измерения выполнены теодолитом Т30. Если $v = 5^\circ = 30'$,

$d = 100\text{ м}$, $m_v = 0,5\text{ см}$ и расстояние определено нитяным дальномером с относительной погрешностью $1/400$. Средняя квадратическая погрешность расстояния будет $m_d = d/400 = 0,25\text{ м}$.

Подставляя эти данные в формулу (3.25), получим

$$m_h^2 = (300^2 \cdot 0,25^2 + 100^2 \cdot 0,5^2) \cdot \frac{1}{3438^2} = 0,00069; \quad m_h = 2,6\text{ см}.$$

Средняя квадратическая погрешность превышения, измеренного прямо и обратно, составит $M_h = m_h / \sqrt{2} = 2,6 / \sqrt{2} \approx 2\text{ см}$.

Предельную погрешность превышения с измерением угла наклона теодолитом Т30 и расстояния нитяным дальномером принимают равной $\Delta_{\text{пред}} = 2M_h = 4\text{ см}$, т.е. точность невысока, но достаточна для определения отметок точек земной поверхности при выполнении крупномасштабных топографических съемок.

Пример 3.2. Определить точностные характеристики тригонометрического нивелирования коротким лучом визирования при использовании электронного тахеометра Trimble 3602 ($m_v = 3''$, $m_d = 5\text{ мм}$). Расчеты выполним, используя формулы 3.24 и 3.25.

Таблица 3.4 Точность тригонометрического нивелирования коротким лучом

Величина угла наклона	Средняя квадратическая погрешность определения превышения на станции $m_{\text{ст}}$, мм при длинах плеч d								
	5 м	10 м	15 м	20 м	25 м	30 м	40 м	50 м	70 м
1,5°	0,15	0,20	0,25	0,32	0,39	0,46	0,60	0,74	0,88
5°	0,44	0,46	0,49	0,52	0,57	0,62	0,73	0,85	0,96
10°	2,10	2,10	2,11	2,12	2,13	2,15	2,18	2,23	2,28

Точность тригонометрического нивелирования определяется в основном влиянием рефракции (десятки секунд) и приборными погрешностями – для теодолитов Т1, Т2 достигают 3-6''. В тригонометрическом нивелировании применяются точные и высокоточные теодолиты, используются марки со специальными горизонтальными штрихами. Также для повышения точности тригонометрического нивелирования высоту инструмента и высоту наведения измеряют стальной рулеткой с миллиметровыми делениями ($m_v = m_d = 1\text{ мм}$).

При производстве точного тригонометрического нивелирования обязательно вводят поправку за влияние вертикальной рефракции и кривизну Земли. Методика нивелирования коротким лучом позволяет свести эту поправку к нулю.

Наиболее высокая точность порядка 0,1 мм обеспечивается при коротких (до 30 м) лучах визирования с применением точных теодолитов типа ЗТ2, ЗТ2КП и специальной методики измерений, позволяющей измерять вертикальные углы с погрешностью порядка 5''. Данная методика предложена М.Е. Пискуновым. Расстояния до определяемых точек должны измеряться с абсолютной погрешностью 3-5 мм, т.е. для линейных измерений можно использовать светодальномерные насадки, стальные и лазерные рулетки. В настоящее время наиболее эффективно применение электронных тахеометров.

При использовании электронного тахеометра Trimble 3602 точность определения превышения на станции повышается (в табл. 3.4 значения выделены жирным шрифтом) и при углах наклона меньше 5° соответствует точности геометрического нивелирования II класса.

Тригонометрическое нивелирование целесообразно применять в горной местности в качестве высотного съемочного обоснования и производства тахеометрической съемки; для наблюдений за осадками фундаментов и частей зданий, при выполнении обмеров зданий и сооружений с помощью электронных тахеометров.

4. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

4.1. Общие сведения

Топографические съемки предназначены для составления топографических планов и цифровых моделей местности (ЦММ), по которым осуществляется проектирование объектов строительства.

Съемку местности выполняют одним из следующих методов съемок:

- теодолитная;
- тахеометрическая;
- нивелирование поверхности (по квадратам, характерным линиям);
- мензуральная;
- аэрофототопографическая;
- наземная фототопографическая (фототеодолитная).

Для производства топографических съемок создается съемочное обоснование. Оно же используется для привязки отдельных объектов (буровых скважин, шурфов, гидрометрических створов и др.). Здесь и в дальнейшем под привязкой понимают определение планового и высотного положения точки.

Геодезическое съемочное обоснование делят на плановое и высотное. Плановое съемочное обоснование создают различными геометрическими построениями (триангуляция, полигонометрия, теодолитные ходы), в которых измеряются углы и длины линий. Наиболее распространено проложение одиночных *теодолитных ходов* или системы ходов. Высотное съемочное обоснование совмещается с пунктами планового обоснования. Отметки пунктов определяют методом геометрического нивелирования или тригонометрического нивелирования.

Съемочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей и сетей сгущения. Ориентирование сетей производится по истинному или магнитному азимуту.

Допустимые погрешности координат пунктов съемочного обоснования зависят от масштаба съемки и не должны превышать величин, приведенных в табл.4.1.

Таблица 4.1

Допустимые погрешности определения координат пунктов съемочного обоснования

Масштаб съемки	Допустимые погрешности определения координат, м	
	на застроенной территории	на незастроенной территории
1: 500	0,10	–
1: 1000	0,20	0,30
1: 2000	0,40	0,60
1: 5000	1,00	1,50

Топографические съемки выполняют руководствуясь требованиями [6,11].

Согласно СНБ 1.02.01–96, *средние погрешности в положении изображений предметов* и контуров местности с четкими очертаниями относительно пунктов съемочного обоснования на плане не должны превышать 0,5 мм, а в горной и залесенной местности – 0,7 мм.

Предельные погрешности во взаимном положении на плане закоординированных точек и углов капитальных зданий (строений), расположенных один от другого на расстоянии до 50 м, не должны превышать 0,4 мм на плане.

Средние погрешности съемки рельефа и его изображения относительно пунктов съемочного обоснования не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа:

- $1/4 h$ – при углах наклона до 2° ;
- $1/3 h$ – при углах наклона от 2 до 6° для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и до 10° для планов 1:1000 и 1:500;

- $1/3 h$ при высоте сечения рельефа 0,5 м для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000. Для залесённых (закрытых) участков местности указанные допуски увеличивают в 1,5 раза. При выборе высоты сечения рельефа кроме точности изображения необходимо учитывать удобство пользования планом при проектировании и расчетах.

Выбор масштаба топографической съемки и высоты сечения рельефа зависит от характеристики территории (застроенная, незастроенная), рельефа местности и вида проектируемого сооружения. Масштаб съемки и высота сечения устанавливаются в соответствии с СНБ 1.02.01 – 96 (табл.4.2).

Таблица 4.2 Масштаб съемки и высота сечения рельефа

Характеристика участка съемки, сооружения	Масштаб съемки	Высота сечения рельефа h , м
1. Территория с капитальной застройкой с подземными и надземными сооружениями	1:500	0,5
2. Незастроенная или малозастроенная с одноэтажной застройкой с незначительным количеством подземных сооружений	1:5000 – 1:1000	2; 1; 0,5
3. Территория новых микрорайонов, кварталов и групп зданий	1:1000 1:500	0,5
4. Трассы линейных сооружений на застроенных территориях	1:2000 – 1:500	1; 0,5
5. Трассы линейных сооружений на незастроенных территориях	1:5000 – 1:2000	2; 1; 0,5

4.2. Проложение теодолитных ходов

Теодолитные ходы представляют собой геометрические построения в виде ломаных линий, в которых углы измеряются теодолитом одним полным приёмом, а стороны - дальномером или стальной лентой, обеспечивающими заданную точность.

Теодолитные ходы, как правило, прокладывают между исходными пунктами триангуляции, трилатерации или полигонометрии. Форма хода зависит от характера снимаемой территории и может быть: замкнутой (рис. 4.1,а), разомкнутой (рис. 4.1,б), висячей (рис. 4.1, в).

Замкнутый теодолитный ход начинается с одной точки с известными координатами и заканчивается на той же точке.

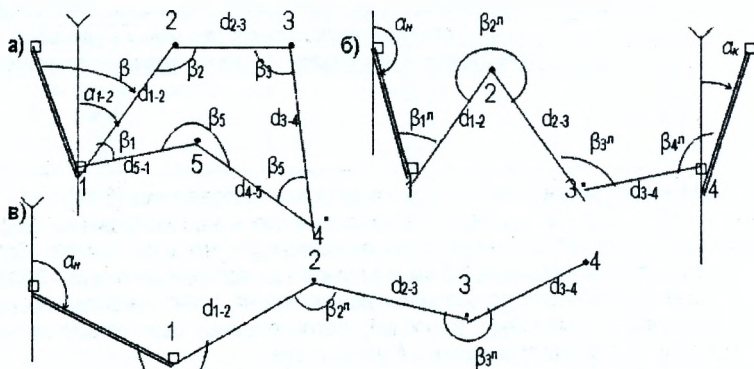


Рис. 4.1. Схемы теодолитных ходов

Разомкнутый теодолитный ход начинается на одной точке с известными координатами, а заканчивается на другой точке с известными координатами.

Висячий теодолитный ход начинается с одной точки с известными координатами и заканчивается произвольно. Висячие ходы бесконтрольны и поэтому допускаются только в исключительных случаях для определения координат 2-3 точек в труднодоступных местах.

Если при движении по ходу углы расположены с левой стороны, то их называют левыми ($\beta_1^л, \beta_2^л, \beta_3^л, \dots$), если с правой стороны – правыми ($\beta_1^п, \beta_2^п, \beta_3^п$).

При проложении теодолитных ходов следует руководствоваться следующими требованиями:

- точки теодолитного хода должны равномерно покрывать весь участок и располагаться в местах, удобных для производства геодезических измерений;
- длины сторон хода не должны превышать 350 м и быть короче 40 м в незастроенной части участка и 20 м в застроенной части территории;
- между смежными точками хода должна быть прямая видимость для измерения углов и благоприятные условия для измерения длин сторон;
- местоположение точек хода должно быть выбрано так, чтобы обеспечить их сохранность на весь период съёмки;
- длины ходов (в км) для различных масштабов не должны превышать предельных значений:

Масштаб съёмки	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
На застроенных территориях	4	2	1,2	0,8
На незастроенных территориях	6	3	1,8	–

После выбора местоположения точки теодолитного хода закрепляются на местности. Закрепление, как правило, осуществляется временными знаками. Наиболее часто используют металлические штыри, трубки и деревянные колышки, вбиваемые вровень с землёй. Для облегчения поиска рядом с точкой закрепляют сторожок – деревянный кол, выступающий над поверхностью земли до 20-30 см. На сторожке подписывают название точки.

Измерение горизонтальных углов хода производят теодолитами 30" точности одним полным приёмом. Углы наклона линий к горизонту измеряют теодолитом или эклиметром с точностью $\pm 0,5^\circ$ одновременно с измерением горизонтальных углов. Если угол наклона не превышает $1,5^\circ$, то поправка за наклон линии к горизонту составляет менее 1:30000 и в результаты измерений не вводится.

Измерение длин сторон осуществляется землемерными лентами или стальными рулетками в прямом и обратном направлениях. Расхождения между расстояниями в прямом и обратном направлениях не должны превышать 1: 2000 измеряемого расстояния, а при неблагоприятных условиях измерений (пашня, болото, кочковатая поверхность и т.п.) – 1:1000.

4.3. Вычисление координат вершин теодолитного хода

Вычисление координат точек теодолитного хода начинают с составления рабочей схемы теодолитного хода (рис. 4.2), на которую выписывают измеренные горизонтальные углы и горизонтальные проложения длин линий, а также исходные дирекционные углы. Вычисления удобно выполнять в «Ведомости вычисления координат точек теодолитного хода» (табл. 4.4), где в графу 1 записываются номера пунктов (точек), начиная с исходного, в графы 11,12 - координаты исходного пункта 1, в графу 2 – измеренные углы, а в графу 6 – горизонтальные проложения. Дирекционный угол начальной стороны (1-2) вычисляют по измеренному привязочному углу β записывают в графу 4 ($10^\circ 01'$). Обработку начинают с вычисления угловой невязки f_β , которая является разностью между практической и теоретической суммами углов

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{т}}, \quad (4.1)$$

где $\sum \beta_{\text{пр}}$ - практическая (измеренная) сумма углов;

$\sum \beta_{\text{т}}$ - теоретическая сумма углов.

Теоретическая сумма углов вычисляется по формуле:

$$\sum \beta_{\text{т}} = 180^{\circ}(n-2) \quad (4.2)$$

для замкнутого теодолитного хода, и по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sum \beta_{\text{т}}^{\text{л}} &= \alpha_{\text{н}} - \alpha_{\text{к}} + 180^{\circ} \cdot n \\ \sum \beta_{\text{т}}^{\text{п}} &= \alpha_{\text{к}} - \alpha_{\text{н}} + 180^{\circ} \cdot n \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

для разомкнутого теодолитного хода,

где n - количество углов теодолитного хода;

$\sum \beta_{\text{т}}^{\text{л}}$ - теоретическая сумма левых горизонтальных углов;

$\sum \beta_{\text{т}}^{\text{п}}$ - теоретическая сумма правых горизонтальных углов;

$\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{к}}$ - исходные дирекционные углы соответственно в начале и в конце теодолитного хода.

Пример 4.1. Вычислить координаты точек замкнутого теодолитного хода. Измерение горизонтальных углов производилось оптическим теодолитом 2Т30 с точностью отсчетов $\pm 0,5'$. Результаты полевых измерений приведены на схеме (рис. 4.2).

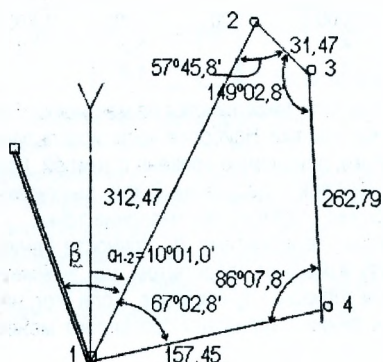


Рис. 4.2. Рабочая схема замкнутого теодолитного хода

Дано: Координаты точки 1 теодолитного хода равны:

$$X_1 = 1130,46 \text{ м}$$

$$Y_1 = 2150,08 \text{ м}$$

В примере:

$$\sum \beta_{\text{пр}} = 359^{\circ}59,2'$$

$$\sum \beta_{\text{т}} = 180^{\circ}(n-2) = 180^{\circ}(4-2) = 360^{\circ}$$

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{т}} = 359^{\circ}59,0' - 360^{\circ} = -0,8'$$

Допустимая угловая невязка вычисляется по формуле:

$$f_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 2t \cdot \sqrt{n}, \quad (4.4)$$

где t - заданная средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом;
 n - количество углов.

В нашем случае $f_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 1' \cdot \sqrt{4} = \pm 2,0'$.

Если полученная невязка f_{β} по абсолютной величине не превышает $f_{\beta}^{\text{доп}}$ ($|f_{\beta}| \leq f_{\beta}^{\text{доп}}$), то полученную невязку распределяют поровну с обратным знаком во все измеренные углы, округляя поправки до $0,1'$. Если распределить поправки поровну во все измеренные углы не удаётся, то большие по абсолютной величине поправки вводят в углы, образованные короткими сторонами. При ($|f_{\beta}| \geq f_{\beta}^{\text{доп}}$) горизонтальные углы измеряют заново. Исправленные углы записывают в графу 3 табл. 4.4.

Далее вычисляют дирекционные углы сторон теодолитного хода по известному дирекционному углу начальной стороны.

Дирекционные углы вычисляются по одному из правил:

- дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180° и минус исправленный горизонтальный угол, справа по ходу лежащий $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - (\beta_{\text{пр}})_{\text{испр}}$;

– дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны минус 180° и плюс исправленный горизонтальный угол, слева по ходу лежащий $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} - 180^\circ + (\beta_{\text{лев}})_{\text{испр}}$.

Дирекционные углы записывают в графу 4 табл. 4.4.

Примечания:

- 1) если результат более 360° , то от него нужно отнять 360° ;
- 2) если результат получается отрицательным, то к нему нужно прибавить 360° .

В примере 4.1 в теодолитном ходе измерены правые углы, поэтому

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ \quad \beta_2 = 10^\circ 01' + 180^\circ - 57^\circ 46' = 132^\circ 15'$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ \quad \beta_3 = 132^\circ 15' + 180^\circ - 149^\circ 03' = 163^\circ 12'$$

$$\alpha_{4-1} = \alpha_{3-4} + 180^\circ \quad \beta_4 = 163^\circ 12' + 180^\circ - 86^\circ 08' = 257^\circ 04'$$

Контролем вычисления дирекционных углов является вычисление дирекционного угла исходной стороны

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ \quad \beta_1 = 257^\circ 04' + 180^\circ - 67^\circ 03' = 10^\circ 01'$$

Далее по дирекционным углам находят румбы. Для определения румбов полезно пользоваться табл. 4.3, в которой приведена связь между дирекционными углами и румбами, а также показаны знаки приращений координат. Румбы записывают в графу 5 табл. 4.4.

Таблица 4.3 Связь между дирекционными углами и румбами. Знаки приращений координат.

Четверть		Формулы связи дирекционных углов и румбов	Знаки приращений координат	
Номер	Название		ΔX	ΔY
I	СВ	$r = \alpha$	+	+
II	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
III	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
IV	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

Из решения прямой геодезической задачи вычисляют приращения координат

$$\Delta x = \pm d \cdot \cos r, \quad (4.5)$$

$$\Delta y = \pm d \cdot \sin r, \quad (4.6)$$

где d – горизонтальное проложение стороны теодолитного хода;

r – румб той же стороны.

Вычисленные приращения Δx и Δy записывают в графы 7 и 8 табл. 4.4, округляя их до 0,01 м.

Значения $\cos r$ и $\sin r$ находят по таблицам натуральных значений тригонометрических функций (не менее пяти знаков после запятой), либо на микрокалькуляторе.

Знаки приращений координат определяют по значениям дирекционных углов или направлениям румбов (табл. 4.3).

Невязку в приращениях координат определяют по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч}} - \sum \Delta x_{\text{т}}, \quad (4.7)$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч}} - \sum \Delta y_{\text{т}}, \quad (4.8)$$

где $\sum \Delta x_{\text{выч}}$ и $\sum \Delta y_{\text{выч}}$ – практическая сумма приращений координат;

$\sum \Delta x_{\text{т}}$ и $\sum \Delta y_{\text{т}}$ – теоретическая сумма приращений координат. Для замкнутого хода теоретическая сумма равна нулю, т.е. $\sum \Delta x_{\text{т}} = \sum \Delta y_{\text{т}} = 0$. Для разомкнутого хода теоретическая сумма вычисляется по формуле:

$$\sum \Delta x_{\text{т}} = X_k - X_n \quad (4.9)$$

и

$$\sum \Delta y_{\text{т}} = Y_k - Y_n, \quad (4.10)$$

где x_n и x_n – абсциссы конечной и начальной точек теодолитного хода;
 Y_n и Y_n – их ординаты.

Абсолютная невязка определяется по формуле

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (4.11)$$

а относительная невязка по формуле:

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{1}{P/f_{\text{абс}}}, \quad (4.12)$$

где P – периметр (длина) хода. В примере $P=764,18\text{м}$;

$f_x = -0,26\text{м}$; $f_y = +0,13\text{м}$; $f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0,26)^2 + (0,13)^2} = 0,29\text{м}$;

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{0,29}{764,18} = \frac{1}{2635} \approx 1/2600.$$

Если $f_{\text{отн}} \leq \frac{1}{2000}$, то выполняется уравнивание приращений координат ΔX и ΔY : для

этого вводятся поправки со знаками, противоположными знакам f_x и f_y , пропорционально горизонтальным проложениям сторон теодолитного хода. Поправки округляют до 0,01м. Абсолютная сумма поправок должна быть равна невязке.

В примере (табл. 4.4) поправки при исправлении ΔX распределялись следующим образом

При уравнивании ΔX_{1-2} поправка будет $\frac{0,26}{764,18} \cdot 312,47 = 0,11\text{ м}$.

При уравнивании ΔX_{2-3} поправка будет $\frac{0,26}{764,18} \cdot 31,47 = 0,01\text{ м}$.

При уравнивании ΔX_{3-4} поправка будет $\frac{0,26}{764,18} \cdot 262,79 = 0,09\text{ м}$.

При уравнивании ΔX_{4-1} поправка будет $\frac{0,26}{764,18} \cdot 157,45 = 0,05\text{ м}$.

Контроль: сумма поправок равна невязке с обратным знаком.
 $(0,11+0,01+0,09+0,05=0,26\text{ м})$

Аналогично распределяются поправки при уравнивании Δy .

Далее вычисляют исправленные приращения координат, которые записывают в графы 9 и 10. Для этого алгебраически с учётом знаков складывают вычисленные приращения координат и поправки. Контролем правильности уравнивания является равенство теоретической суммы и суммы исправленных (уровненных) приращений.

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = \sum \Delta x_{\text{т}}; \quad \sum \Delta y_{\text{испр}} = \sum \Delta y_{\text{т}}$$

Координаты точек теодолитного хода вычисляют по формулам:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{\text{испр}}, \quad (4.13)$$

и

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{\text{испр}}, \quad (4.14)$$

где x_{i+1} и x_i – абсциссы соответственно последующей и предыдущей точек;

y_{i+1} и y_i – то же ординаты;

$\Delta X_{\text{испр}}$ и $\Delta y_{\text{испр}}$ – уровненные приращения координат.

Контролем правильности вычисления координат точек теодолитного хода является равенство вычисленных и исходных координат. Результаты вычислений заносятся в графы 11 и 12 табл. 4.4.

Таблица 4.4.

Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода

№ вершин хода	Измеренные углы				Исправленные углы				Дирекционные углы				Румбы r				Длины линий, м	Приращения координат, м								Координаты		№ вершин хода		
																		вычисленные				исправленные				X	Y			
																		±	ΔX	±	ΔY	±	ΔX	±	ΔY					
1	2				3				4				5				6	7		8		9		10		11	12	13		
1	67	+0,2	02,8	67	03	10	01	СВ	10	01	312,47	+	+11	307,71	+	-5	54,35	+	307,82	+	54,30	1130,46	2150,08	1						
2	57	+0,2	45,8	57	46	132	15	ЮВ	47	45	31,47	-	+1	21,16	+	-1	23,29	-	21,15	+	23,28	1438,28	2204,38	2						
3	149	+0,2	02,8	149	03	163	12	ЮВ	16	48	262,79	-	+9	251,57	+	-4	75,95	-	251,48	+	75,91	1417,13	2227,66	3						
4	86	+0,2	07,8	86	08	257	04	ЮЗ	77	04	157,45	-	+5	35,24	-	-3	153,46	-	35,19	-	153,49	1165,65	2303,57	4						
1						10	01															1130,46	2150,08	1						
2																														
Σβ _{ПР}	359	59,2	360	00,0	$\Sigma\beta_T = 180^\circ(n-2) = 180^\circ(4-2) = 360^\circ00,0'$ $f_\beta = \Sigma\beta_{ПР} - \Sigma\beta_T = 359^\circ59,2' - 360^\circ00,0' = -0,8'$ $f_{вдоп} = \pm 1' \cdot \sqrt{n} = \pm 1' \cdot \sqrt{4} = \pm 2'$						P=764,18	+	307,71	+	153,59	+	307,82	+	153,49											
Σβ _T	360	00,0	360	00,0							ΣΔ _{ПР}	-	0,26	+	0,13	0,00	0,00													
f _β	-0	00,8'	0	00,0							ΣΔ _T		0,00		0,00	0,00	0,00													
f _{вдоп}	±0	02,0'									f	-	0,26	+	0,13	0,00	0,00													

$$f_{вс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0,26)^2 + (0,13)^2} = 0,29\text{м.} \quad f_{отн} = \frac{f_{вс}}{P} = \frac{0,29}{764,18} = \frac{1}{2635} \approx \frac{1}{2600} < \frac{1}{2000}$$

4.4. Теодолитная съёмка

В результате теодолитной съёмки получают контурный план местности, т.е. план с нанесённой на нём ситуацией. Съёмке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная или внутризаводская застройка. Для выполнения горизонтальной съёмки используют теодолит и мерные приборы либо электронный тахеометр.

Ситуацией называется совокупность объектов местности. Съёмка ситуации заключается в производстве на местности линейных и угловых измерений, которыми характерные точки ситуации привязывают к точкам и линиям съёмочного обоснования (теодолитного хода). Под характерными точками ситуации понимаются все изгибы построек, ограды, изгороди, столбы, ЛЭП, дороги, границы угодий и т.д. Различают следующие способы съёмки ситуации (рис. 4.3):

1. Способ перпендикуляров (прямоугольных координат) (рис. 4.3, а).

При съёмке данным способом за ось абсцисс (X) принимается направление линии теодолитного хода, а за ось ординат (Y) - линия, перпендикулярная к стороне теодолитного хода, проходящая через снимаемую точку. Мерным прибором измеряются отрезки X и Y (на рис. 4.3 а $X_1=100,6\text{ м}$; $Y_1=38,1\text{ м}$; $X_2=160,5\text{ м}$; $Y_2=38,2\text{ м}$).

Следует заметить, что точность линейных измерений зависит от масштаба съёмки.

Частный случай, когда точка ситуации попадает непосредственно в створ линии ($Y=0$), называют **способом створов** (рис. 4.3, б).

Длина перпендикуляра не должна превышать 8, 6 и 4 м соответственно для съёмок в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. При использовании экера эти расстояния могут быть увеличены до 60, 40 и 20 м.

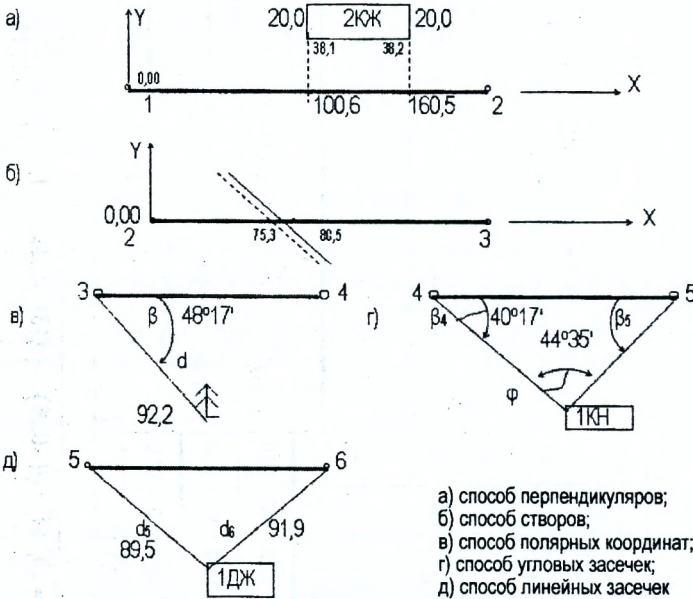


Рис. 4.3. Способы съёмки ситуации

Расстояния между створными точками не должно превышать 80, 60 и 40 м соответственно при съёмках в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500, если линии измеряют рулеткой

или лентой. При применении оптического дальномера эти расстояния могут быть увеличены в 1,5 раза.

2. Способ полярных координат (рис. 4.3, в).

За полярную ось принимают сторону теодолитного хода, а за полюс – точку теодолитного хода. Положение характерной точки ситуации определяется полярным углом β и полярным расстоянием d .

При съемке способом полярных координат допустимые расстояния не должны превышать приведенных в табл.4.5.

Таблица 4.5 Допустимые расстояния при съемке полярным способом

Метод определения расстояния и масштабы	Расстояния до контуров, м	
	чётких	нечётких
При измерении нитяным дальномером:		
1: 2000	100	150
1: 1000	60	100
1: 500	40	80
При измерении лентой, рулеткой, оптическим дальномером:		
1: 2000	250	300
1: 1000	180	200
1: 500	120	150

3. Способ угловых засечек (рис. 4.3, г).

В этом способе теодолит устанавливается последовательно на точках теодолитного хода 4 и 5 и измеряются горизонтальные углы β_4 и β_5 между стороной хода и направлением на предмет.

В способе угловой засечки угол φ при засекаемой точке не должен быть менее 30° и более 150° . Расстояние до нее не должно превышать 400, 200 и 100 м при съемке четких контуров в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500.

4. Способ линейных засечек (рис. 4.3, д).

В этом способе измеряют расстояния (d_5 и d_6) от точки ситуации до двух точек планового обоснования. Наиболее благоприятным в смысле точности съемки считается засечка равными расстояниями $d_5 \approx d_6$.

Результаты измерений при съемке ситуации заносят в абрис. **Абрис** – схематический чертёж, на котором показаны контуры местности, элементы ситуации и приведены результаты измерений при съемке. На абрисе показывают пункты геодезической основы, вершины и стороны теодолитных ходов, контуры угодий и все местные предметы, наименование угодий, географические названия, наименование сооружений и т.п. Абрис ведется на плотной бумаге карандашом в действующих условных знаках. Перерисовка абриса запрещается.

При теодолитной съемке также проводят обмеры капитальных строений и записывают результаты в абрис. Для контроля и повышения точности съемки рекомендуется измерять расстояния между углами соседних зданий и строений.

4.5. Построение плана теодолитной съемки

Составление плана выполняют в следующем порядке:

- построение координатной сетки;
- нанесение по координатам точек теодолитного хода;
- построение ситуационного плана по результатам теодолитной съемки.

Построение координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева

Линейка ЛД-1 (рис. 4.4, а) предназначена для построения сетки из двенадцати (3x4) или двадцати пяти (5x5) квадратов. Она изготовлена из нержавеющей металла и имеет шесть окошек-вырезов (0,1,2,3,4,5).

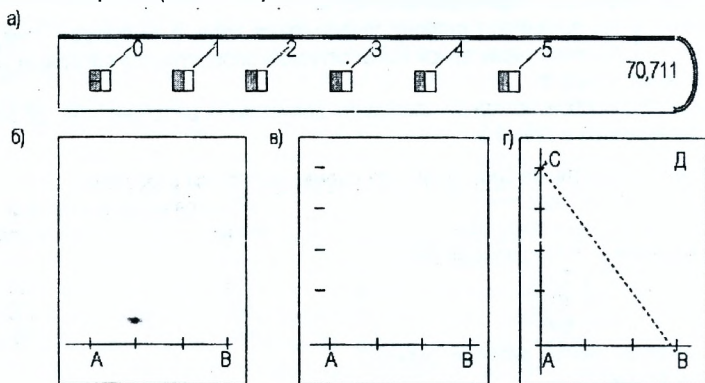


Рис. 4.4. Построение координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева

Два ребра линейки (одно из длинных и торцевое в конце линейки) скошены для прочерчивания линий карандашом. В каждом окошке имеется скошенный край для прочерчивания по нему короткой линии. На скошенном крае нулевого окошка, сделанном по прямой, нанесен штрих, конечная точка которого, лежащая в нижней плоскости линейки, является центром дуг окружностей радиусами 10, 20, 30, 40 и 50 см, по которым сделаны скошенные края остальных окошек. Скошенный край торца линейки обработан по дуге окружности радиусом 70,711 см.

При построении сетки 3x4 квадратов используют свойство египетского треугольника. Координатную сетку строят следующим образом. Берут лист ватмана, отступив от нижнего края листа бумаги 4-6 см, проводят карандашом по скошенному ребру линейки тонкую линию АВ (рис. 4.4, б). Прочерчивают по скошенному краю первого окошка короткий штрих, пересекающий прямую в точке А, затем по скошенным краям остальных окошек проводят дуги радиусами 10, 20, 30 см, получают три равных отрезка по 10 см.

Кладут линейку примерно перпендикулярно к линии АВ, совмещая конец нулевого штриха линейки с точкой А, и по скошенным краям четырёх окошек проводят дуги радиусами 10, 20, 30 и 40 см (рис. 4.4, в). Теперь, совместив конец нулевого штриха с точкой В, засекают скошенным краем окошка 50 точку С и получают левую верхнюю вершину прямоугольника со сторонами 30 и 40 см (рис. 4.4, г).

Аналогично в пересечении дуг радиусом 40 см с центром в точке В и радиусом 50 см с центром в точке А находят верхнюю правую вершину Д этого прямоугольника. Прикладывают линейку к линии СД и прочерчивают короткие штрихи по скошенным краям окошек. Соединив тонкими линиями точки А, и С, С и Д, Д и В, а также одноименные точки на противоположных сторонах прямоугольника АВСД, получают сетку квадратов. Погрешность построения сетки не должна превышать $\pm 0,2$ мм.

Построение координатной сетки по диагоналям

Способ основан на свойстве диагоналей прямоугольника, которые равны между собой и делят друг друга пополам.

На листе чертёжной бумаги с помощью выверенной линейки проводят с угла на угол две диагонали.

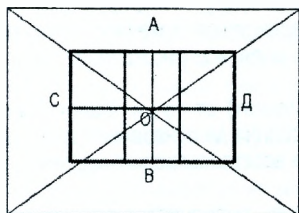


Рис. 4.5. Построение координатной сетки по диагоналям

От точки O пересечения диагоналей по всем четырем направлениям откладывают с помощью циркуля-измерителя одинаковые отрезки произвольной длины.

Верхнюю и нижнюю (горизонтальные), а также левую и правую (вертикальные) стороны вспомогательного прямоугольника делят пополам, находят точки A и B , C и D противоположных сторон прямоугольника. Соединяя их попарно, получают две взаимно перпендикулярные оси симметрии - вертикальную AB и горизонтальную CD , которые должны пройти через точку O .

Точки теодолитных ходов наносятся на план по прямоугольным координатам. Нанесение точек производится с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Оцифровка координатной сетки в соответствии с координатами точек теодолитного хода выполняется так, чтобы подписи были кратны 100 м для масштабов $1:500$ и $1:1000$; $0,2\text{ км}$ для масштаба $1:2000$. Следует помнить, что ось X расположена с юга на север, а ось Y - с запада на восток. На рис. 4.6 координатная сетка подписана для масштаба $1:2000$ применительно к координатам теодолитного хода (графы 11, 12 табл. 4.4).

Нанесение точек на план по координатам

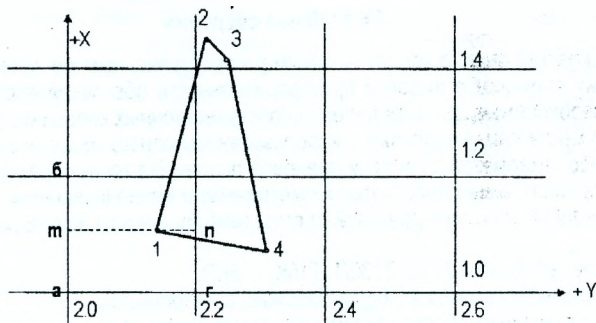


Рис. 4.6. Оцифровка координатной сетки и нанесение точек хода по координатам

Точка 1 теодолитного хода с координатами $X_1=1130,46\text{ м}$ и $Y_1=2150,08\text{ м}$ находится в квадрате $ab\gamma\delta$ ($X_0=1000$ и $Y_0=2000$) (рис. 6.4). От точек a и γ откладывают измерителем с помощью масштабной линейки отрезки $\Delta x=1130,46\text{ м} - 1000\text{ м}=130,46\text{ м}$ и соединяют полученные точки линией mn . От точки m по линии mn откладывают отрезок $\Delta y=2150,08\text{ м} - 2000\text{ м}=150,08\text{ м}$ и получают точку 1 обоснования. Аналогично выполняют нанесение всех других точек съемочного обоснования. Для контроля построений сравнивают расстояния между нанесёнными точками с соответствующими горизонтальными проложениями (графа 6, табл. 4.4).

Построение ситуационного плана

По результатам теодолитной съемки ситуацию наносят на план при помощи измерителя, транспорта и масштабной линейки.

Построение на плане характерных точек ситуации осуществляется в зависимости от способа съемки (рис. 4.3).

Точки, снятые **полярным способом**, наносят на план при помощи транспорта и

измерителя. Центр транспорта совмещают с точкой-полюсом, а нулевой диаметр транспорта направляют по исходному направлению. Карандашом отмечают полярный угол. На этой линии от полюса откладывают в масштабе полярное расстояние. Все необходимые данные выбирают из абриса.

При способе **перпендикуляров** (прямоугольных координат) от точки теодолитного хода в створе линии хода откладывают в масштабе расстояния до оснований перпендикуляров. В полученных точках при помощи транспорта восстанавливают перпендикуляры и откладывают отрезки, согласно абрису.

При способе **угловых засечек** нанесение точек на план выполняется построением транспортом углов на концах линии теодолитного хода. Пересечение полученных направлений дает положение искомой точки.

При способе **линейных засечек** нанесение на план точек выполняют при помощи измерителя и масштабной линейки. При этом измерителем описывают дуги соответствующих радиусов. В пересечении дуг получают искомую точку.

Во всех случаях построения внимательно изучают абрис. Если форма контура вызывает сомнение, то необходимо на местности выполнить дополнительные или контрольные измерения. При нанесении контуров все вспомогательные линии выполняют тонкими карандашными линиями, которые в дальнейшем удаляют. Значения углов и расстояний на план не выписывают.

4.6 Тахеометрическая съемка

4.6.1 Общие сведения

Тахеометрическая съемка является самым распространенным методом наземных топографических съемок. Ее высокая производительность обеспечивается тем, что все измерения, необходимые для определения пространственных координат (X, Y, H) характерных точек местности, выполняют с использованием одного геодезического прибора-теодолита либо тахеометра. При этом плановое положение точек определяют способом полярных координат, а высотное – тригонометрическим нивелированием.

При производстве тахеометрической съемки наиболее часто используют следующие приборы:

- оптические теодолиты 2Т30, 2Т30П, Т15К, 2Т5КП;
- тахеометры (номограммные, внутрибазовые, электронные).

Плановым съёмочным обоснованием тахеометрических съемок могут служить: замкнутый или разомкнутый теодолитный ход, а также висячий ход не более 2-3 точек; сеть микротриангуляции и другие построения на местности. Ориентирование сетей съёмочного обоснования и определение координат точек осуществляют привязкой к пунктам государственной геодезической сети.

При съемках небольших участков допускается ориентирование по магнитному азимуту с вычислением условных координат съёмочных точек. При ориентировании плана по магнитному азимуту используют *ориентир-буссоль* (см. пункт 2.5).

Минимальное количество точек съёмочного обоснования на 1 км² в зависимости от масштаба съемки приведено в табл. 4.6 [15].

Масштаб съемки	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
Минимальное число точек	142	80	50	22
При съемке нечетких контуров	64	36	22	10

Точки съёмочного обоснования размещают на возвышенных местах с хорошо обеспеченной видимостью. Расстояние между точками не должно быть более 350 м и менее 50 м.

После создания на местности съёмочного обоснования приступают к съёмке рельефа и ситуации местности. Рейки поочередно устанавливают в характерных точках рельефа и ситуации.

Реечные точки (пикеты) не закрепляют, а рейки устанавливают непосредственно на землю. Пикеты по возможности размещают равномерно по снимаемой площади, таким образом, чтобы расстояния между пикетами в среднем не превышали величин, указанных в табл. 4.7 [15].

Таблица 4.7 Расстояния между пикетами

Масштаб съёмки	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
Среднее расстояние между пикетами, м	10	20	50	100

4.6.2. Порядок работы на станции при тахеометрической съёмке.

Обработка журнала тахеометрической съёмки

1. Устанавливают теодолит над точкой съёмочного обоснования, центрируют, приводят в рабочее положение и измеряют высоту инструмента с помощью нивелирной рейки с округлением до 1 см. Перед началом съёмочных работ необходимо определить место нуля вертикального круга теодолита.

2. При выполнении съёмки теодолит устанавливают при «круге лево» (КЛ). Ориентируют лимб, для чего нуль алидады совмещают с нулём лимба, закрепляют алидаду и, вращением лимба вместе с алидадой, наводят трубу на какую-либо точку съёмочного обоснования. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят трубу на рейку, устанавливаемую на характерной точке. После наведения прибора на рейку берут отсчёты по средней горизонтальной нити (высота наведения), по дальномерным нитям; по отсчёту микроскопу по горизонтальному и вертикальному кругам. Результаты полевых измерений заносят в «Журнал тахеометрической съёмки» (табл. 4.8).

3. По окончании съёмки ситуации и рельефа снова наводят трубу на точку, по которой был ориентирован лимб, и берут контрольный отсчёт, который с первоначальным отсчётом не должен расходиться более 5'. Для контроля измерений с каждой съёмочной точки определяют несколько пикетов (2-3) в полосе перекрытия съёмки с других точек.

На станции в процессе измерений составляют схематический чертёж (абрис), на котором зарисовывают элементы ситуации и показывают пикетные точки. В процессе измерения полярных углов и расстояний на абрисе проставляются номера пикетов.

При съёмке рельефа особое внимание уделяется выбору местоположения пикетных точек (4.7,а). На холме пикеты располагают на вершине и вдоль подошвы; в котловине – на дне и по бровкам; на хребте и лощине – по линиям водораздела и водослива. Кроме этого **пикеты должны ограничивать (разделять на участки) скаты с равномерными уклонами**. На абрисе обязательно показывают стрелками направления равномерного ската рельефа. В равнинной местности расстояние между пикетами зависит от масштаба съёмки (табл.4.7).

Обработку результатов выполняют в журнале (табл.4.8), используя формулы

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad (1.15)$$

$$d = D \cdot \cos^2 v; \quad (1.16)$$

$$h' = \frac{1}{2} D \cdot \sin 2v; \quad (1.17)$$

$$h = h' + i - u; \quad (1.18)$$

$$H = H_{\text{ст}} + h, \quad (1.19)$$

где v – вертикальный угол;
 КЛ – отсчёт по вертикальному кругу теодолита при КЛ;
 МО – место нуля вертикального круга теодолита;
 d – горизонтальное проложение;
 D – наклонное расстояние, измеренное при помощи нитяного дальномера;
 i – высота инструмента;
 u – высота наведения (визирования);
 h – превышение;
 H – отметка пикетной точки;
 $H_{\text{ст}}$ – отметка станции.

При выполнении тахеометрической съёмки электронным тахеометром прибор устанавливается на точках съёмочного обоснования, а на пикетах – специальные веши-отражатели. При наведении на отражатели в автоматическом режиме определяется горизонтальный и вертикальный углы, а также расстояния до смежных съёмочных и пикетных точек.

Запись результатов измерений производится в микроЭВМ тахеометра, где и ведётся их обработка, а в результате получают приращение координат и превышения на смежные съёмочные и пикетные точки. Автоматически учитываются все поправки в измеренные расстояния и поправки за наклон вертикальной оси прибора в измеренные углы.

Информация (результаты измерений) переписывается в запоминающее устройство – накопитель информации, дальнейшая обработка производится на персональных компьютерах с использованием программных комплексов. Наиболее распространённым на территории Республики Беларусь и Российской Федерации является программный комплекс CREDO, который обеспечивает полный технологический цикл проектирования от обработки топографо-геодезических данных (CREDO_DAT), создания цифровой модели местности (CREDO_TER, CREDO_MIX, CREDO «Топоплан», Autocad).

Окончательная обработка включает в себя: вычисление координат; отметок и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности.

Применение электронных тахеометров наиболее целесообразно в автоматизированной системе крупномасштабного картографирования. В то же время применение электронных тахеометров возможно при технологиях, базирующихся в почти одновременном выполнении полевых измерений, их обработки и составлении топографических планов непосредственно в полевых условиях.

4.6.3. Построение топографического плана по результатам тахеометрической съёмки

После нанесения на план точек съёмочного обоснования выполняют нанесение пикетов на план. Пикетные точки на план наносят по значениям полярных углов (графа 4 табл. 4.8) и расстояний. При этом следует помнить, что на каждой станции для набора пикетов лимб теодолита был ориентирован по направлению на точку съёмочного обоснования. Так, для станции II лимб был ориентирован по направлению II-III. При нанесении пикетов на план транспортир прикладывают к соответствующей вершине теодолитного хода и откладывают горизонтальный угол от направления, по которому был ориентирован лимб по ходу часовой стрелки. По полученному таким образом направлению откладывают с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки горизонтальное проложение (графа 4 табл. 4.8). Точку на плане отмечают наложением измерителя или карандашом и справа от нее подписывают отметку. Построение существенно упрощается при использовании кругового транспортира или *тахеографа*.

Таблица 4.8.

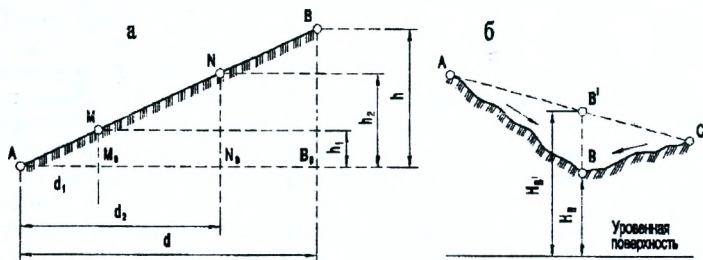
Журнал тахеометрической съёмки

Станция II
 Высота инструмента $i = 1,43\text{м}$
 Отметка станции $H_{\text{ст}} = 43,12\text{м}$

Ориентировка на ст. III
 Место нуля $MO = -0^{\circ}01'$

№ точек визирования	Высота наведения, u	Дальномерное расстояние D , м	Отсчёты		Угол наклона, $v = \text{КП} - \text{МО}$	Горизонтальное проложение, м $d = D \cdot \cos^2 v$	$h' = 1/2 (D \sin 2v)$	$i - u$; м	Превышение, м $h = h' + i - u$	Отметка, м $H = H_{\text{ст}} + h$	Абрис
			Горизонтальный круг	Вертикальный круг, КП							
1	1,43	16,25	22°42'	+0°14'	+0°15'	16,25	+0,07	0,00	+0,07	43,19	<div style="text-align: center;">12</div>
2	1,43	21,90	57°03'	+4°43'	+4°44'	21,75	+1,79	0,00	+1,79	44,91	
3	3,00	29,06	68°23'	+3°17'	+3°18'	28,97	+1,67	-1,57	+0,10	43,22	
4	1,43	17,51	114°57'	+1°25'	+1°26'	17,50	+0,44	0,00	+0,44	43,56	
5	1,43	48,13	23°02'	+0°04'	+0°05'	48,13	+0,07	0,00	+0,07	43,19	
6	3,00	47,34	43°32'	+1°48'	+1°49'	47,20	+1,51	-1,57	-0,07	43,05	
7	1,43	55,61	25°26'	+0°33'	+0°34'	55,60	+0,55	0,00	+0,55	43,67	
8	3,00	43,57	37°30'	+2°15'	+2°16'	43,50	+1,72	-1,57	+0,15	43,27	
9	3,00	34,21	51°58'	+2°39'	+2°40'	34,14	+1,59	-1,57	+0,02	43,14	
10	1,43	40,83	30°24'	+2°35'	+2°36'	40,75	+1,85	0,00	+1,85	44,97	
11	1,43	30,06	39°33'	+1°42'	+1°43'	30,03	+0,90	0,00	+0,90	44,02	
12	1,43	38,75	21°03'	+0°31'	+0°32'	38,75	+0,36	0,00	+0,36	43,48	
13	1,43	24,50	14°44'	+0°28'	+0°29'	24,50	+0,21	0,00	+0,21	43,33	
14	1,43	40,63	6°11'	-0°12'	-0°11'	40,63	-0,13	0,00	-0,13	42,99	

После нанесения реечных точек и построения ситуации переходят к отображению рельефа, для чего по линиям равномерного ската проводят *интерполяцию* – определение положения горизонтали на плане между пикетами с известными отметками, горизонтали должны быть кратными заданной высоте сечения рельефа. Так при высоте сечения рельефа 0,5 м горизонтали должны иметь, например, такие отметки: 40м; 40,5м; 41м; 41,5м и т.д. *Интерполяцию производят только по линиям с равномерным скатом* (рис.4.7), отмеченным на абрисе стрелками.



а – равномерный склон; б – неравномерный склон
Рис. 4.7. Схема интерполирования высот

Различают интерполяцию: а) аналитическую;
 б) линейную (графическую).

При аналитической интерполяции (рис. 4.7, а) по известным отметкам точек А и В и расстоянию d между этими точками находят значения расстояний d_1 и d_2 от точки А до точек М и N с отметками H_M и H_N , равными отметкам горизонталей, кратным высоте сечения рельефа по линии ската

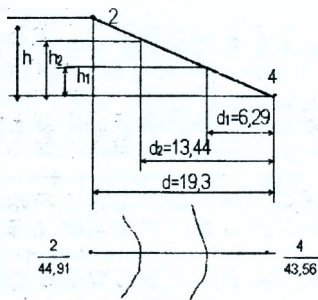
$$d_1 = \frac{h_1}{h} \cdot d \quad \text{и} \quad d_2 = \frac{h_2}{h} \cdot d,$$

где $h = H_B - H_A$; $h_1 = H_M - H_A$; $h_2 = H_N - H_A$.

Если интерполяцию провести между точками А и С (рис. 4.7, б), то вместо действительного положения точки В будет получена точка В' и соответственно вместо отметки H_B – отметка $H_{B'}$.

На плане откладывают отрезки d_1 , d_2 и получают точки М, N, у которых подписывают их отметки.

Пример 4.2. Выполнить интерполяцию горизонталей между пикетными точками 2 и 4. Исходные данные: $H_2 = 44,91$ м; $H_4 = 43,56$ м; $d = 19,3$ м; высота сечения рельефа $h = 0,5$ м.



$$h = H_2 - H_4 = 44,91 - 43,56 = 1,35 \text{ м.}$$

$$h_1 = 44,0 - 43,56 = 0,44 \text{ м.}$$

$$h_2 = 44,5 - 43,56 = 0,94 \text{ м.}$$

$$d_1 = \frac{h_1}{h} \cdot d = \frac{0,44}{1,35} \cdot 19,3 = 6,29 \text{ м.}$$

$$d_2 = \frac{h_2}{h} \cdot d = \frac{0,94}{1,35} \cdot 19,3 = 13,44 \text{ м.}$$

Рис. 4.8. Схема к примеру 4.2

Графическую интерполяцию можно выполнить при помощи палетки. Палетка – это ряд параллельных линий, нанесенных на восковке (кальке) через равные расстояния (2-5 мм), каждая линия обозначается отметками, условно соответствующими интерполируемым горизонталям. Палетку накладывают на линию плана, например линию 24, и поворачивают ее так, чтобы точки с известными отметками заняли положение, соответствующее их отметкам (рис.4.9). Затем точки пересечения линии 24 с линиями палетки, имеющими отметки горизонталей, перекалывают на линию плана.

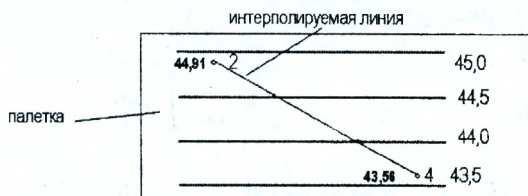


Рис. 4.9. Линейная (графическая) интерполяция

На рис.4.10 приведен пример оформления топографического плана по результатам тахеометрической съемки. Топографический план местности оформляют согласно с действующими **условными знаками**. Создание планов может быть выполнено вручную (оформляется тушью, используются откраски, соблюдается цветовая гамма) или в виде цифровой модели местности.

4.7. Нивелирование поверхности

Съемку данным методом производят с целью получения крупномасштабных топографических планов масштабов 1:2000 – 1:500 с высотой сечения рельефа обычно 0,1; 0,25; 0,5 м в условиях равнинной местности. Технология нивелирования зависит от вида территории – незастроенной или застроенной.

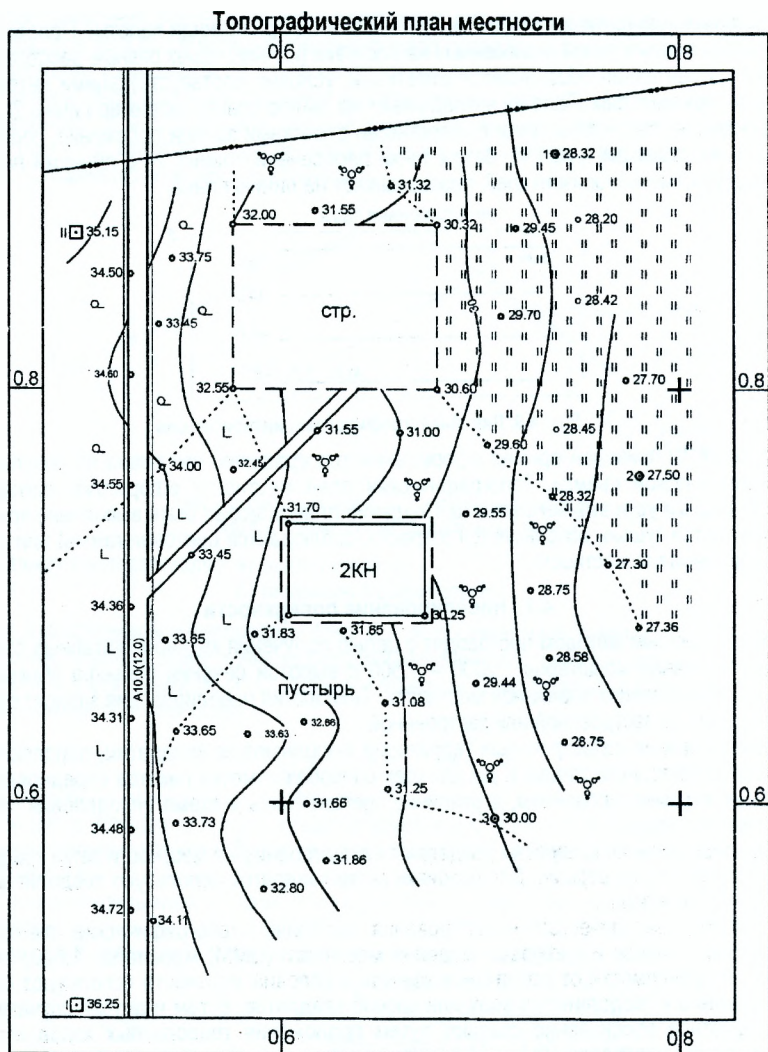
Нивелирование незастроенных территорий выполняют по квадратам, параллельным линиям, характерным точкам и др. Во всех способах отметки пикетов определяют геометрическим нивелированием, а различие состоит лишь в схеме определения координат пикетных точек.

Нивелирование по квадратам разделяют на построение на местности сетки квадратов и нивелирование их вершин. Для разбивки сетки квадратов используют теодолит и мерную ленту (рулетку).

Методом геометрического нивелирования выполняют топографические съемки для составления планов и цифровых моделей местности (ЦММ) масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000. В зависимости от назначения съемок и условий местности используют способ поперечников к теодолитному ходу или способ квадратов. В том и другом случаях плано-высотное обоснование создают путем проложения теодолитных ходов и ходов технического нивелирования.

При нивелировании поверхности по квадратам вначале при помощи теодолита и мерной ленты (рулетки) находят положение основных квадратов со стороной 200-400 м, вершины которых закрепляют металлическими трубками, деревянными столбами или другими знаками, а затем спускают сетку квадратов. Сторону заполняющего квадрата принимают равной 10 и 20 м при съемке в масштабах 1:500 и 1:1000, 40 и 100 м при съемке масштаба 1: 2000 и 1: 5000 соответственно.

Одновременно с разбивкой производят съемку ситуации и составляют абрис съемки, при этом используют те же способы, что и при теодолитной съемке. Кроме вершин квадратов, на местности закрепляют характерные точки: перегибы рельефа, бровки ям и их дно, точки ситуации и др.



Исполнитель:

Вид съемки
Год

Рис. 4.10. Пример оформления плана тахеометрической съемки

Отметки вершин квадратов и характерных точек определяют методом технического геометрического нивелирования, при этом расстояние от нивелира до рейки допускают не более 100-150 м в зависимости от качества изображения. При длине стороны квадрата 100 м нивелир устанавливают в центре каждого квадрата.

По данным полевых измерений при нивелировании поверхности по квадратам составляют абрис съемки и схему-журнал нивелирования. Рассмотрим пример обработки данных измерений. Разбивка сетки квадратов со стороной 10 м выполнена от сторон теодолитного хода т.2-т.3 (геодезического обоснования), от вершины т.3. В абрисе (рис.4.11) показаны результаты съемки ситуации местности от сторон сетки квадратов. На рис. 4.12 приведена схема-журнал нивелирования поверхности по квадратам.

Техническое нивелирование выполнено с двух станций: **ст.1 нив.** и **ст. 2 нив.** Отметки переданы с точек т.2 и т.3 геодезического съемочного обоснования. У вершин квадратов и характерных точек подписаны отсчеты (в метрах) по черной стороне рейки. Вычисление отметок выполнено через горизонт инструмента:

$$ГИ_1 = 81,106 + 2,635 = 83,741 \text{ м}$$

$$ГИ_2 = 80,330 + 1,400 = 81,730 \text{ м}$$

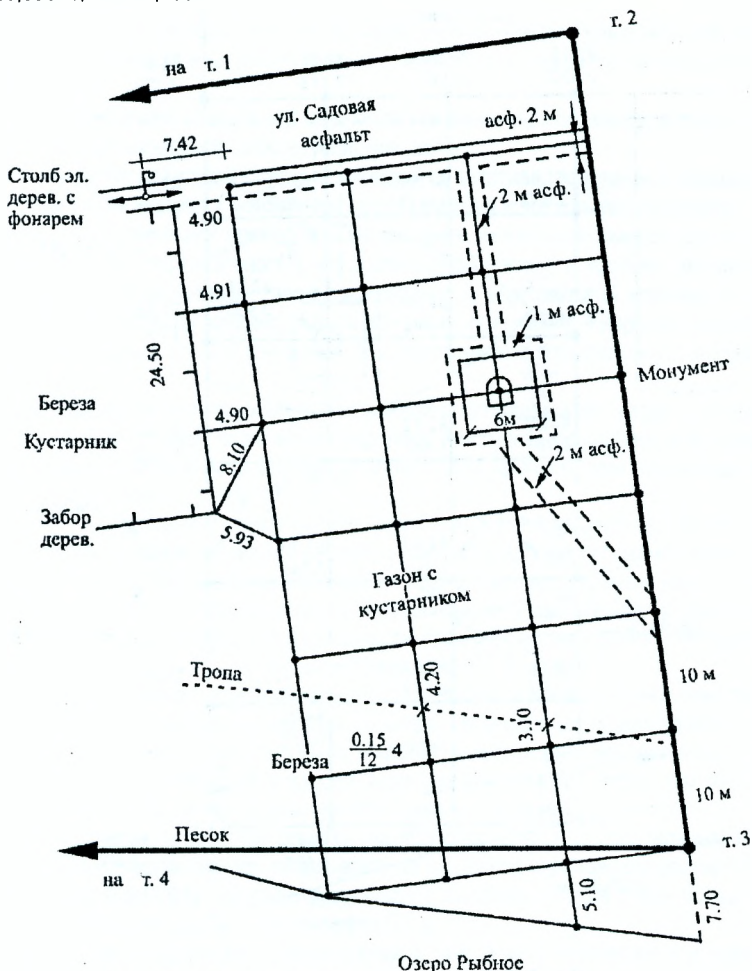


Рис. 4.11. Абрис нивелирования поверхности по квадратам

Отметки точек геодезического обоснования и горизонт инструмента вычисляются с точностью 0,001 м.

Отметки (высоты) вершин квадратов и характерных точек рельефа определяют как разность между горизонтом инструмента и отсчетом по рейке (по черной стороне) на этой точке. На рис. 4.12 отметки вершин квадратов округлены до 0,01 м.

По результатам абриса и схемы-журнала нивелирования по квадратам строят план местности. Горизонтالي проводят так же, как и при тахеометрической съемке. При наличии достаточного опыта интерполирование выполняют «на глаз».

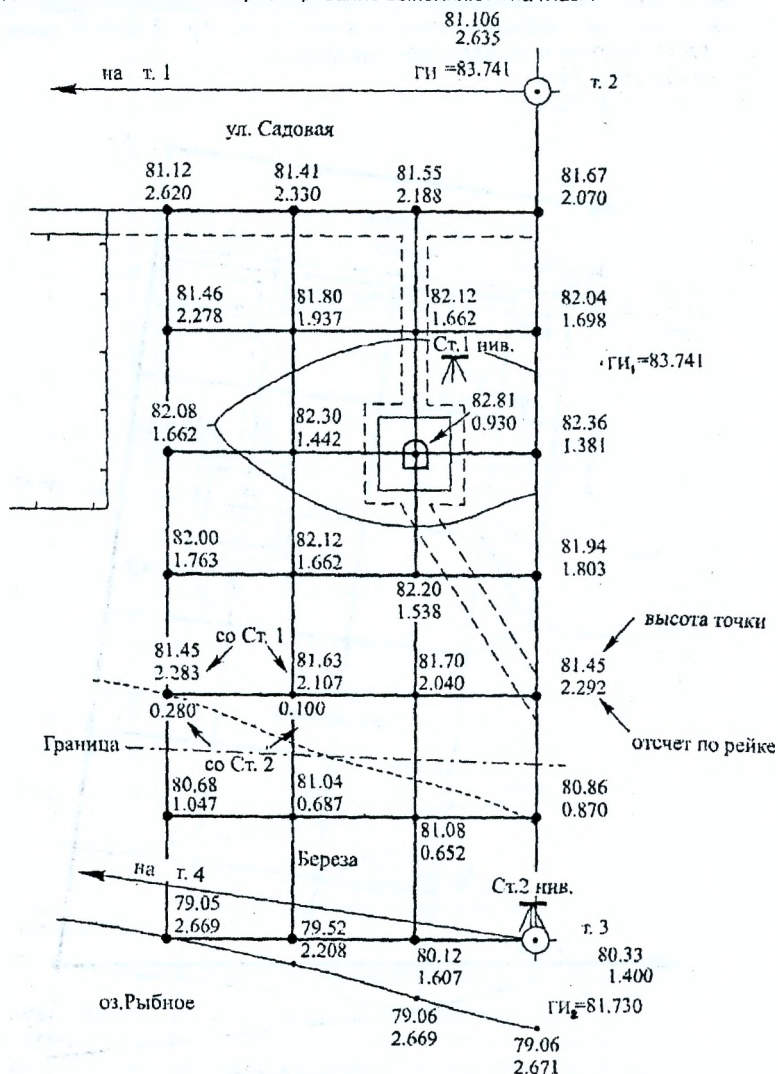


Рис. 4.12. Схема-журнал нивелирования поверхности

4.8. Мензурная съемка

Топографическую съемку, выполняемую с помощью мензулы и кипрегеля, называют мензурной. Мензурную съемку выполняют в масштабах 1:500—1:5000 на сравнительно небольших участках. Мензурную съемку делают на чертежных основах, изготовленных из прозрачных малодеформирующихся пластиков или из высококачественной чертежной бумаги, которые наклеивают для предохранения плана от деформации на лист высокосортной фанеры или алюминия. На полученный таким путем съемочный планшет (или просто планшет) наносят с помощью топографической линейки Дробышева или координатографа координатную сетку со стороной 10 см, причем для съемки масштабов 1:500—1:2000 квадраты строят в рамках размером 50х50 см, а масштаба 1:5000—в рамках 40х40 см.

На подготовленный планшет наносят по координатам пункты съемочного обоснования, подписывают координаты углов рамки и номенклатуру планшета на северной стороне рамки.

Основными приборами мензурной съемки являются кипрегель, мензула с центрировочной вилкой и дальномерная либо нивелирная рейка.

Мензула представляет собой столик, состоящий из штатива, подставки и деревянной доски. Планшет прикрепляют к мензурной доске с помощью небольших гвоздиков.

Кипрегель – геодезический прибор для выполнения мензурной съемки. Он состоит из зрительной трубы, вертикального круга с алидадной частью и уровнем, металлической линейки для прочерчивания линий визирования и вертикальной колонки, при помощи которой наблюдатель придает кипрегелю нужное положение. Кипрегель позволяет измерить вертикальные углы с точностью 1' и расстояния с относительной погрешностью 1/300.

Плановое положение характерных точек контуров ситуации и рельефа определяют полярным способом. Съемку отдельных предметов местности разрешается выполнять способом засечек с числом направлений не менее трех, крайние лучи засечек должны пересекаться под углом не менее 60°.

При съемке ситуации рейку ставят на всех характерных изгибах контура. Граница считается прямой, если она отклоняется от линии, соединяющей две соседние контурные точки, на величину, не превышающую 0,5 мм на плане. Соответствующие наколы сразу же соединяют вслед за набором пикетов, а полученный на планшете контур глазомерно сравнивают с контуром местности. На следующей съемочной точке съемку контуров начинают с тех точек, которые были сняты на предыдущей станции.

Съемку рельефа производят одновременно со съемкой ситуации, причем отметки пикетов определяют на характерных изгибах рельефа: на вершинах, водоразделах, перегибах скатов и седловинах, разветвленных лощинах, в котловинах, у берегов рек, ручьев, озер, на уровне зеркала воды, у подошв возвышенностей и пр. Число пикетов зависит от сложности рельефа местности и принятой высоты сечения.

В условиях равнинного рельефа отметки пикетов определяют горизонтальным лучом трубы кипрегеля. Отметки пикетов записывают на планшете карандашом рядом с наколом с округлением до 0,1 м при съемке рельефа с высотой сечения 1 м и больше и с точностью до 0,01 м при высоте сечения через 0,5 м.

Рельеф изображают на плане горизонталями в сочетании с отметками и условными знаками прямо в процессе измерений.

Горизонтали проводят в поле в процессе набора пикетов или по окончании набора на данной станции. Положение горизонталей на плане определяют путем линейного интерполирования «на глаз» между пикетами с однородным уклоном местности.

Для более правильного изображения рельефа сначала проводят легким пунктиром основные линии водоразделов, водотоков бровки и подошвы возвышенностей. Полученное изображение рельефа горизонталями сравнивают с местностью. Если в процессе проведения горизонталей выясняется, что пикетов недостаточно, то измерения выполняют дополнительно. Когда съемка на станции закончена полностью, делают окончательную зарисовку горизонталей в соответствии с общим характером форм рельефа и их основных элементов.

В тех случаях, когда оригиналы топографической съемки не вычерчивают в полевых условиях, составляют кальки высот и контуров. При простых формах рельефа и несложной ситуации обе кальки можно совмещать в одну. Кальки составляют в процессе съемки ежедневно, допускается разрыв со съемки до составления кальки не более трех дней. На кальке высот показывают все пункты съемочного обоснования, включая точки мензурных ходов и переходные точки с номерами и высотами верха знака и у земли, пикеты и их отметки. Кальку составляют черной тушью, вычерчивают согласно таблицам действующих условных знаков. На кальку контуров наносят условными знаками всю ситуацию и предметы местности с выпиской соответствующих отметок зданий и сооружений, крышек колодезев, искусственных и других сооружений и объектов на застроенных территориях.

4.9. Аэрофототопографический способ

Аэрофототопографический способ преимущественно используется для составления топографических карт и планов больших по площади территорий.

Сущность его состоит в следующем:

1. С самолета с определенной высоты, зависящей от масштаба съемки, местность фотографируют автоматическим аэрофотоаппаратом (АФА) при почти вертикальной его оптической оси.

2. Съемка ведется маршрутами, причем маршруты проектируются с перекрытием. В результате получают снимки местности, близкие к горизонтальным.

3. Снимки путем трансформирования приводят к одному масштабу и к строго горизонтальной проекции. Трансформирование снимков выполняют по нескольким точкам (опознакам), их координаты должны быть известны.

4. Нахождение опознаков на снимках и на местности, а также определение их координат производят в результате полевых измерений на местности, этот процесс называется привязкой снимков. Он выполняется, как правило, совместно с полевым дешифрированием снимков.

5. Создание топографической карты или плана выполняется либо комбинированным, либо стереофотограмметрическим способом:

а) в комбинированном способе из трансформированных снимков составляют фотоплан, на котором затем изображают рельеф.

Для изображения рельефа на местности должно быть создано высотное обоснование. Рисовка горизонталей ведется в поле мензурным способом.

Фотографическое изображение ситуации на фотоплане позволяет для определения высот брать расстояние прямо с фотоплана.

б) в *стереофотограмметрическом* способе рельеф изображают в камеральных условиях с помощью стереоприборов.

Для этого необходимо иметь на каждом аэрофотоснимке по несколько опознаков.

План может создаваться на фотоплане с перерисовкой на него горизонталей со снимков (в этом случае рельеф изображается на стереопаре). Данный путь применяется для малозастроенных территорий.

Также может производиться одновременная прорисовка рельефа и ситуации на стереоприборах. Так поступают, если создаются топографические планы на территорию со сплошной и многоэтажной застройкой.

4.10. Фототеодолитная съемка

Фототеодолитная съемка применяется для съемки площадок и трасс в горной местности, также для обмеров зданий и сооружений, транспортных узлов, карьеров, надземных сооружений, для наблюдений за деформациями сооружений.

Метод основан на применении фототеодолита, в котором соединены теодолит и фотокамера.

Фототеодолит устанавливают в двух точках – на концах линии, называемой базисом фотографирования. На каждой точке оптическую ось прибора приводят в горизонтальное положение. Ориентируют строго перпендикулярно линии базиса фотографирования и производят фотографирование местности.

Для увеличения площади съемки допускается фотографирование при развороте фототеодолита вправо или влево на одинаковый угол в пределах 30° .

В результате получают два снимка с перекрытием, то есть стереопару. Для составления по стереопаре фотографического плана необходимо знать длину базиса фотографирования, координаты и высоты нескольких опознаков (хорошо читаемых на снимке точек или специально маркированных на местности), определенные на местности. Стереопары обрабатываются на стереоприборах, а затем с помощью ЭВМ и графопостроителя составляется топографический план.

Основные этапы съемки:

1. Составляется проект расположения базиса фотографирования и контрольных точек, а также геодезической сети для их привязки. Базисы (концы базиса) располагают на возвышенных местах. Контрольных точек выбирают не менее трёх: одну в центре, а две другие – по краям перекрытий соседних стереопар.
2. Выполняется геодезическая привязка базисов и контрольных точек.
3. Производится фотосъемка с левого и правого концов базиса фотографирования.
4. Камеральное дешифрирование (распознавание контуров и объектов на снимках).
5. Составление плана на универсальных приборах (чаще применяют стереоавтограф и стереометрограф).

5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБМЕРОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

5.1. Общие сведения

В зависимости от конфигурации и высоты здания, а также условий выполнения измерений на практике используют различные способы геодезического обмера.

При обмере простого по архитектурной форме и невысокого здания осложнений в процессе доступного измерения не возникает. Наиболее просто выполнить обмер 20–50-метровой рулеткой с натяжением ее вдоль цокольной части здания. В характерных точках здания, расположенных на различной высоте, подвешивают отвес, с помощью которого по шкале рулетки отсчитывают расстояния от угла здания до каждой точки. Для высотных промеров используют лестницы-стремянки или к деревянному щиту прикрепляют рулетку так, чтобы ее ноль совпадал с концом щита.

При выполнении обмеров используются следующие нормативные документы:

1. «Инструкция о назначении и требованиях к проведению технической инвентаризации и проверки характеристик недвижимого имущества» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2004, №75,8/10950. Опубликовано 19 мая 2004 г.)

2. «Инструкция о порядке проведения технической инвентаризации и проверки характеристик капитальных строений (зданий, сооружений), незавершенных законсервированных капитальных строений, изолированных помещений» Изменения и дополнения: постановление Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 18 июля 2006 г. №6 (зарегистрировано в Национальном реестре –№8/14780 от 01.08.2006).

3. Положение о порядке проведения инвентаризации государственного жилищного фонда, учреждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь 6 января 2006 г. №11 (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2006, №7,5/17084).

5.2. Обмер зданий с помощью теодолита

При обмере элементов высотного здания, недоступных для непосредственного измерения, используют теодолит и рулетку (метод вертикального проектирования). В этом случае обмер выполняют двумя способами: с перпендикулярного (рис. 5.1,а) или с параллельного базиса L (рис. 5.1,б).

Если наблюдаемые точки здания лежат в плоскости стены (окна, лоджии, пожарные выходы и т.д.), то обмер лучше выполнять с перпендикулярного базиса. В этом случае теодолит устанавливают в направлении перпендикулярном к стене (рис. 5.1,а) на расстоянии, равном полторы-две высоты здания. Измеряют базис L и приводят его к горизонтальному положению. Вдоль цокольной части здания натягивают рулетку и при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП) на нее проецируют характерные обмерные точки здания. Одновременно берут отсчеты по вертикальному кругу на верхние точки и на их проекции на рулетке, вычисляют углы наклона на верхнюю точку v_1 и нижнюю точку v_2 . По промерам $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ и длине базиса L по теореме Пифагора вычисляют горизонтальные расстояния l_i от теодолита до наблюдаемых точек

$$l_i = \sqrt{b_i^2 + L^2}. \quad (5.1)$$

Превышения точек верхних и нижних над высотой инструмента вычисляют по формуле тригонометрического нивелирования:

$$\begin{aligned} h_1 &= l \cdot \operatorname{tg} v_1 \\ h_2 &= l \cdot \operatorname{tg} v_2. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Высоты точек над цоколем H получают по формуле:

$$H = h_1 - h_2.$$

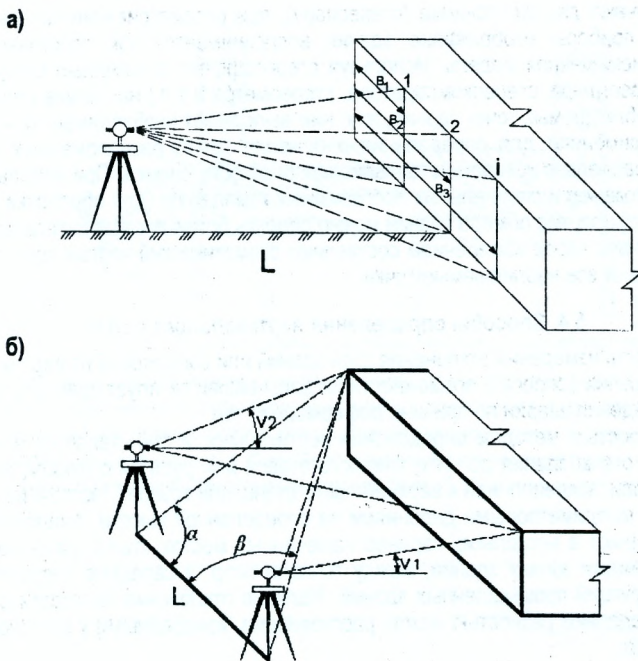


Рис. 5.1. Схема обмера здания с помощью теодолита

Если наблюдаемые точки не лежат в плоскости стены, что не позволяет определить расстояние от них до теодолита при способе обмера с перпендикулярного базиса, то обмер здания выполняют способом угловых засечек с точек базиса, закрепленного параллельно стене здания на расстоянии в 1,5–2 его высоты (как удобно для выполнения измерений). С точек параллельного базиса теодолитом (рис. 5.1,б) измеряют полным приемом углы засечек α и β на наблюдаемые точки здания, а также их углы наклона ν_1 и ν_2 . По теореме синусов вычисляют расстояния l_1 и l_2 от теодолита до наблюдаемой точки

$$l_1 = \frac{L \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}, \quad (5.3)$$

$$l_2 = \frac{L \cdot \sin \alpha}{\sin \gamma},$$

где $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$.

Превышения верхней точки над высотой теодолита вычисляют по формуле:

$$h = l_1 \cdot \operatorname{tg} \nu_1 = l_2 \cdot \operatorname{tg} \nu_2.$$

Для определения высоты точки над цоколем необходимо измерить углы наклона на нижние точки и вычислить H , как в предыдущем случае.

5.3. Принципы фотограмметрического способа обмера

При больших объемах обмера зданий наиболее точным и производительным является обмер стереофотограмметрическим методом. В результате фотосъемки фиксируют один и тот же объект с концов известного (закрепленного и измеренного на местности)

базиса и получают два фотоснимка (стереопару), при рассматривании которых через специальные приборы изображение здания воспринимается как пространственная трехмерная уменьшенная модель. Используя стереозэффект, с помощью специальных приборов (стереографа, стереокомпаратора, стереометра и т.п.) на снимке определяют координаты наблюдаемых точек здания, а по ним выполняют необходимые вычисления. Этот метод применяют для определения положения точек, расположенных в одной плоскости, параллельно которой устанавливают плоскость снимка. При использовании цифровых фотокамер и специальных программных комплексов (для обработки снимков на компьютерах) процесс обмера зданий можно сделать более производительным.

Во всех случаях перед измерением составляют схематический чертеж здания, на котором обозначают все наблюдаемые точки.

5.4. Способы определения вертикальности стен

Необходимость измерения отклонения стен зданий или сооружений от вертикали возникает при решении вопроса о возможности их дальнейшей эксплуатации, а также с целью предупреждения аварии по причине деформации стен.

Наиболее простым методом определения вертикальности стен является измерение расстояний от стены здания до нити тяжелого отвеса или рулетки с грузом, подвешиваемых к консоли, закрепленной к верхней части стены или крыше. Расстояние измеряют линейкой с миллиметровыми делениями на определенной высоте. Аналогичные измерения повторяют в нескольких заранее намеченных местах стены: разрезах между оконными проемами жилых зданий, между точками опор, в середине несущих строительных конструкций промышленных зданий. Наличие отклонения плоскости стены от вертикали определяют разностью между расстояниями, измеренными у её основания и в верхних точках.

Более точное (в сравнении с использованием нитяного отвеса) измерение вертикальности стен выполняют с помощью теодолита способом бокового нивелирования. В этом случае на одинаковом расстоянии от плоскости стены, обеспечивающем её видимость, в противоположных концах закрепляют две точки. В одной из них устанавливают теодолит, а в другой - визирную марку, на которую наводят визирную ось теодолита параллельно плоскости стены. Прикладывая к стене пятаку рейки или линейки, отсчитывают расстояние до визирной линии теодолита при КП и КЛ. Среднее из полученных измерений на каждой точке принимают за окончательный результат. При необходимости, измерения по всем разрезам стены выполняют и с противоположной точки, поменяв местами теодолит и визирную марку.

На рис. 5.2 представлена схема съемки стены способом бокового нивелирования с использованием двух реек. В этом случае теодолит устанавливают на произвольном расстоянии от стены в точке А (в пределах длины обычной нивелирной рейки).

К рейкам m_1 и m_2 , закрепляющим продольную ось А, прикладывают две нивелирные рейки так, чтобы они одновременно находились в горизонтальном положении и были перпендикулярны к оси А'А". Зрительную трубу теодолита вращают в горизонтальной плоскости до тех пор, пока по вертикальной нити сетки будут произведены по обеим рейкам одинаковые отсчеты. Отсчеты a_1 и a_2 должны быть наименьшими. Отсчеты по обеим рейкам могут быть одинаковыми во всех случаях одинаковых отклонений реек от перпендикуляров ($a_3=a_4$), но только при условии минимальности отсчетов будет получено расстояние от базиса $T_1 T_2$ до оси стены А'А". Сделав отсчет $\theta_{1min} = a_{2min}$, записывают его в абрис, теодолит закрепляют по азимуту. Рейки переносят к снимаемым точкам m_3 и m_4 и отсчеты по ним $\theta_{1min}, \theta_{2min}, \dots$ также записывают в абрис. Для привязки снимаемых точек к размерам оси стены А'А" отсчеты $\theta_1, \theta_2, \dots$ вычитают из размера $a_1 = a_2$. Промерами рулеткой вдоль стены привязывают точки m_3 и m_4 к поперечной оси В'В".

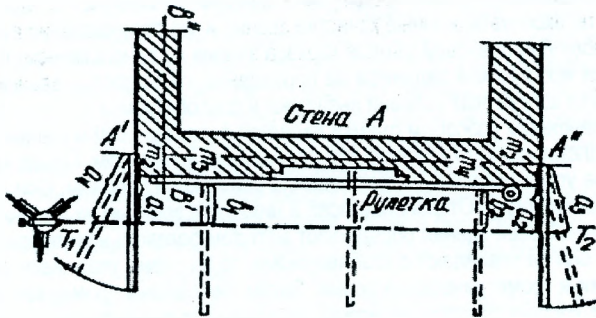


Рис. 5.2. Съёмка стены способом бокового нивелирования

Одновременно с измерениями вертикальности стены составляют её исполнительную схему, на которую наносят определяемые точки и отклонения в них стены от вертикали. По результатам измерений строят топографический план стены в линиях равных отклонений. Кроме этого, выполняют линейные измерения по периметру здания, по результатам которых оформляют обмерочный чертеж (рис. 5.3), который составляют в крупном масштабе.

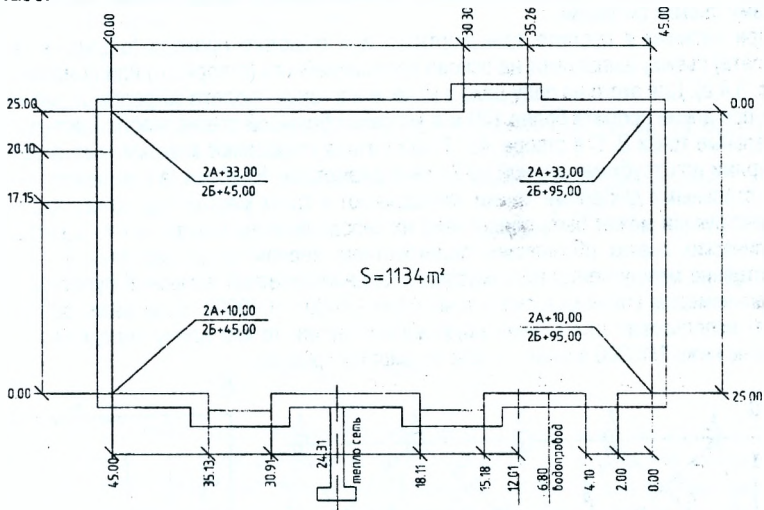


Рис. 5.3. Обмерочный чертеж здания

При обмере стен высотных зданий используют приборы вертикального проектирования. Во всех вышеуказанных способах наиболее трудоёмкая работа состоит в перемещении рейки на верхних этажах. Для этого используют шесты, лестницы-стремянки, монтажные люльки, оконные проёмы и т.п.

5.5. Плано-высотная съёмка элементов здания

Одноэтажные и многоэтажные промышленные здания обычно бывают каркасного типа. Каркас является несущим конструктивным элементом, через который передается на фундамент вся нагрузка от массы здания и оборудования. Соответствие геометрических

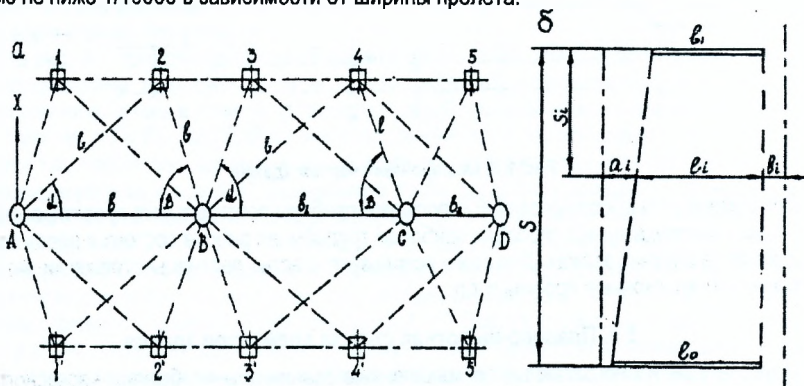
параметров элементов каркаса проектным значениям во многом определяет прочность, долговечность, эксплуатационные качества здания и его оборудования в целом.

Состав работ при плановой съемке каркаса здания и технологического оборудования определяется техническим заданием на проведение этих работ, в зависимости от которого, а также от конкретных условий выбирают и способ съемки.

Распространенным способом съемки является привязка осей и габаритов оборудования к осям колонн, пилястр и другим конструктивным элементам. Перед началом съёмки путем обмера устанавливают геометрические оси каждой колонны. Оси маркируют чертой на масляной краске. Отклонение осей в нижнем и верхнем их сечениях от продольной и поперечной осей здания определяют методом бокового нивелирования. Если геометрические оси не совпадают с разбивочными, то на схеме указывают размеры между разбивочными и геометрическими осями. Затем линейными промерами измеряют фактический шаг колонн (расстояние между соседними колоннами одного ряда) и ширину пролета для каждой пары колонн. Линейными засечками с помощью стальной 20-метровой компарированной рулетки с натяжением её рукой или лазерной рулетки определяют расстояние от характерных точек оборудования до осей колонн с таким расчетом, чтобы для каждой определяемой точки было не менее трех промеров.

Для плановой съемки каркаса здания строят внутренние съемочные сети, схемы построения которых выбирают в зависимости от геометрической формы здания, коэффициента занятости, конкретных условий. Съемку каркаса осуществляют известными способами съемки ситуации.

При наличии в пролете транспортного или людского прохода (обычно в середине пролета) съемку выполняют на основе прямолинейного (створного) или ломаного базиса (рис. 5.4, а). Для этого на полу цеха в начале и в конце пролета закрепляют две точки А и D, а при длине пролета более 100 м в условиях большой стесненности намечают дополнительные точки В, С в створе AD. Точки базиса закрепляют знаками – металлическими штырями или трубками длиной 50-75 см с диаметром 15-20 мм, а в железобетонном полу – стальными дюбелями. Знаки закладывают в таких местах, где на период съемки и реконструкции может быть обеспечена их неподвижность и сохранность. Центры на металлических знаках обозначают перекрестием, керном, а на деревянных – гвоздями. Расстояние между центрами измеряют стальной рулеткой, лазерной рулеткой или светодальномером (тахеометром) с точностью 1/5000 – 1/10000. Если базис впоследствии будет использован для съемки подкрановых путей, то его длину определяют с точностью не ниже 1/10000 в зависимости от ширины пролета.



а - прямолинейный базис; б - створный четырехугольник

Рис.5.4. Схемы съемки внутренних сетей здания

С закрепленных точек способом линейных или угловых засечек снимают маркированные оси колонн. Характерные точки габаритов или осей технологического оборудования привязывают к осям колонн линейными засечками или створными промерами.

По результатам измерений решением угловых или линейных засечек вычисляют координаты осей колонн в условной системе координат или в системе координат съемочной внешней сети. Для этого внутреннюю сеть здания привязывают к съемочной внешней сети проложением теодолитных или полигонометрических ходов.

Реконструкция или расширение здания иногда осуществляется в виде пристройки нового здания к существующему, либо продлением пролета существующего здания, либо изменением ширины пролета. В таких случаях координаты колонн следует определять в системе координат съемочной (разбивочной) сети.

Если съемка колонн осуществлялась линейными засечками (см. рис. 5.4,а), то их координаты (например, X и Y в системе координат съемочной сети) вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} X_i &= X_A + b \cdot \cos \alpha_{AB} + l_{Bi} \cdot \cos(\alpha_{AB} - \alpha); \\ X_i &= X_B + b_1 \cdot \cos \alpha_{BC} + l_{Ci} \cdot \cos(\alpha_{BC} - \beta); \\ X_i &= X_B + l_{Bi} \cdot \cos(\alpha_{BC} - \alpha); \\ X_i &= X_C - l_{Ci} \cdot \cos(\alpha_{CB} + \beta); \\ Y_i &= Y_A + b \cdot \sin \alpha_{AB} + l_{Bi} \cdot \sin(\alpha_{BC} - \alpha); \\ Y_i &= Y_A + (b + b_1) \cdot \sin \alpha_{AB} - l_{Ci} \cdot \sin(\alpha_{BA} - \beta); \\ Y_i &= Y_B + l_{Bi} \cdot \sin(\alpha_{BC} - \alpha); \\ Y_i &= Y_C + l_{Ci} \cdot \sin(\alpha_{CA} - \beta). \end{aligned} \quad (5.4)$$

В формулах (5.4) используются координаты точек базисов ($X_A, Y_A; X_B, Y_B; X_C, Y_C$) и элементы измерений в линейной засечке.

Величину углов α и β находят по измеренным линейным элементам засечки

$$\alpha = \arccos \frac{l_{Bi}^2 + b_1^2 - l_{Ci}^2}{2b_1 \cdot l_{Bi}}; \quad \beta = \arccos \frac{l_{Ci}^2 + b_1^2 - l_{Bi}^2}{2b_1 \cdot l_{Ci}}. \quad (5.5)$$

При съемке точек угловыми засечками их координаты, например X_i и Y_i , определяют по формулам:

$$\begin{aligned} X_i &= Y_B + (Y_i - Y_B) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{Bi}; \\ Y_i &= \frac{Y_B \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{Bi} - Y_C \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{Ci} + X_B - X_C}{\operatorname{ctg} \alpha_{Bi} - \operatorname{ctg} \alpha_{Ci}}. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Если площадь пролета закрыта технологическим оборудованием, но вдоль колонн существует видимость по всей длине (или части) пролета, то в качестве внутренней съемочной сети используют створный четырехугольник (рис.5.4,б) или комбинацию четырехугольников. С этой целью в начале и в конце пролета или в пределе видимости в пролете вдоль поперечных осей разбивают два, три и более базисов. Длины l_0 и l_1 базисов измеряют стальной компарированной рулеткой, лазерной рулеткой или светодальномером с точностью 1/10000. Точки базисов закрепляют осевыми знаками. Установив в одной точке базиса теодолит, а в противоположной по створу точке – визирную марку, ориентируют по створу визирную ось теодолита, от которой линейкой измеряют расстояние a ; до осей колонн. Таким же образом измеряют расстояние b_i , от смежного створа на другом конце базиса до противоположного ряда колонн. Тогда межосевые размеры l_i ; для i -го ряда колонн можно вычислить по формуле:

$$l_i = (l_0 - l_1) \frac{S}{S} + l_0 + a_i + b_i. \quad (5.7)$$

Расстояние S_i между поперечными разбивочными осями начального и i -го ряда колонн вдоль створов, а также длины S створов измеряют стальной рулеткой или дальномером с точностью $1/2000 - 1/5000$. В горячих цехах вместо оптического створа используют струнный створ.

Для приведения створных измерений к единому створу высокоточным теодолитом измеряют углы поворота створов со средней квадратической погрешностью $1-2''$, т.е. теодолитом класса Т2.

Вертикальная съемка выполняется для определения высотного (вертикального) положения конструктивных элементов зданий. Она осуществляется непосредственным промером (рис. 5.5), геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

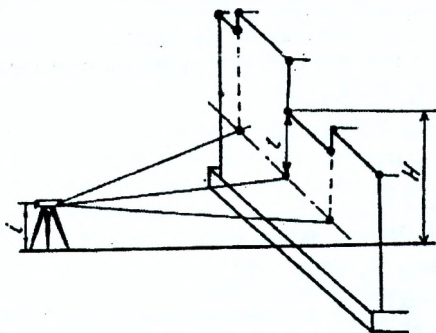


Рис. 5.5. Схема вертикальной съемки геометрическим нивелированием

В тех случаях, когда конструктивные элементы (например, колонны, подкрановые балки, ригели) доступны для непосредственных измерений с пола, высотную съемку выполняют измерением вертикального расстояния l от определяемой точки до линии горизонта нивелира, установленного на полу здания (рис. 5.5).

Высоты точек H_i вычисляют по отметке горизонта инструмента и промерам l_i , по формуле:

$$H_i = ГИ + l_i. \quad (5.8)$$

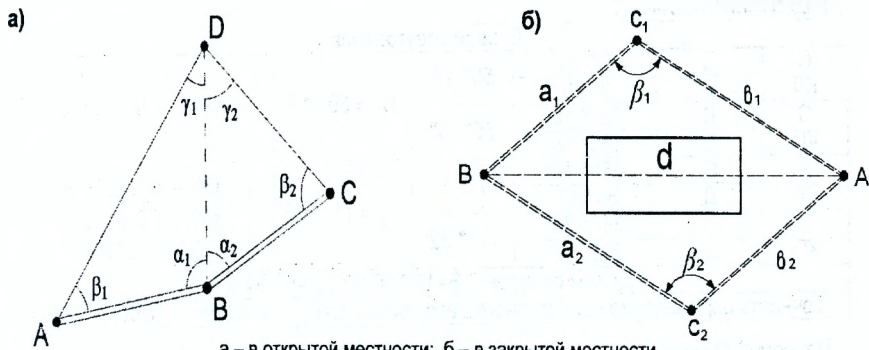
5.6. Определение расстояний, недоступных для непосредственного измерения

Длины линий, которые нельзя измерить непосредственно мерной лентой или рулеткой (овраги, реки, насыпи и части строений) можно определить косвенным путем. Например, при обмерах зданий, когда верхние части фасадов и интерьеров труднодоступны для непосредственных измерений, целесообразно строить различные геометрические схемы, чтобы заменить линейные измерения угловыми или их комбинациями и получить искомое значение расстояния аналитически.

Наиболее распространенный способ – разбивка на местности двух треугольников (рис.5.6), в которых измеряют по три угла (или в крайнем случае по два), а также две стороны (базисы) с относительной погрешностью не более $1/2000$. Тогда недоступное расстояние можно вычислить по теореме синусов или косинусов.

Для определения неприступного расстояния $d = ВД$ (рис. 1, а) в треугольнике ABD измеряют базис АВ и горизонтальные углы β_1 и α_1 , а в треугольнике BCD – базис ВС и углы α_2 и β_2 . По теореме синусов определяют необходимые расстояния

$$\begin{aligned} BD &= AB \cdot \sin \beta_1 / \sin \gamma_1; \\ BD &= BC \cdot \sin \beta_2 / \sin \gamma_2. \end{aligned} \quad (5.9)$$



а – в открытой местности; б – в закрытой местности
Рис. 5.6. Схемы определения неприступных расстояний

Для контроля измеряют углы γ_1 и γ_2 . В треугольнике должно соблюдаться условие $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ$.

В результате влияния погрешностей измерения углов это условие нарушается. Тогда вычисляют угловую невязку в треугольнике и распределяют ее поровну на все три угла, а неприступное расстояние получают по исправленным значениям углов.

Если углы γ измерить невозможно, то их находят по формуле приведения:

$$\sin \gamma_1 = \sin(180^\circ - (\beta_1 + \alpha_1)) = \sin(\beta_1 + \alpha_1);$$

$$\sin \gamma_2 = \sin(\beta_2 + \alpha_2).$$

Точность определения неприступных расстояний во многом зависит от формы треугольника. Наилучшим считается равносторонний треугольник.

Для повышения точности и исключения грубых погрешностей длину неприступной линии рекомендуется определять из двух треугольников.

Расхождение в длине недоступного расстояния, вычисленного из двух треугольников, не должно превышать 1/2000 величины этого расстояния.

Результаты измерений и вычисления целесообразно представить в виде табл.5.1.

Если по линии АВ нет видимости (рис. 5.6, б) и невозможно определить углы в точках А и В, то измеряют длины сторон a_1 , b_1 и угол β_1 , а длину неприступной линии вычисляют по теореме косинусов

$$d = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2a_1 b_1 \cos \beta_1}. \tag{5.10}$$

Таблица 5.1 Расчет недоступных расстояний

Станция	Номер точки визирования	Отсчет по горизонтальному кругу	Горизонтальные углы	Среднее значение угла	Вычисления
Первый треугольник					
А КП	В	245° 30'	69° 08'	$\beta_1 = 69^\circ 07'$	$\sin \beta_1 = 0,934308$
	Д	176° 22'			
А КП	В	66° 10'	69° 06'		
	Д	357° 14'			
В КП	Д	166° 11'	20° 19'	$\alpha_1 = 20^\circ 20'$	$\gamma_1 = 180^\circ - (\beta_1 + \alpha_1) = 90^\circ 33'$ $\sin \gamma_1 = 0,999962$ ВД=143,42 м
	А	145° 52'	20° 20'		
В КП	Д	346° 54'			
	А	226° 34'			

Продолжение таблицы 5.1

Второй треугольник					
С	Д	50° 31'	50° 11'	$\beta_2 = 50^\circ 12'$	$\sin \beta_2 = 0,768283$
КП	В	0° 20'			
С	Д	231° 10'	50° 12'	$\alpha_2 = 111^\circ 31'$	$\gamma_2 = 180^\circ - (\beta_2 + \alpha_2) = 18^\circ 16'$
КП	В	180° 58'			
В	С	166° 48'	111° 31'	$\alpha_2 = 111^\circ 31'$	$\sin \gamma_2 = 0,313661$
КП	Д	55° 17'			
В	С	347° 30'	111° 32'	$\alpha_2 = 111^\circ 31'$	ВД=143,38 м
КП	Д	235° 58'			
Длины базисов: АВ=153,50 м ; ВД=58,54 м					
Точность определения недоступного расстояния: $\Delta = 0,04$ м; $\Delta/ДВ = 1/3600 < 1/2000$					

Наиболее благоприятным считается вариант, когда $a=b$ и угол β близок к 180° . Для контроля строят второй треугольник и измеряют длины сторон a_2 , b_2 и угол β_2 .

5.7. Определение вертикального размера фасада

В зависимости от конструкции инженерного объекта может быть применено два способа.

В первом случае (рис.5.7) мерной лентой, стальной рулеткой или лазерной рулеткой измеряют расстояние D от теодолита до основания здания и угол наклона местности к горизонту $v_{\text{ЗЕМЛИ}}$.

Высоту точки h относительно нулевой линии определяют по измеренным с помощью теодолита вертикальным углам v_1 и v_0 .

Вначале подсчитывают горизонтальное проложение

$$d = D \cdot \cos v_{\text{ЗЕМЛИ}}$$

затем определяют вертикальное расстояние h по формуле:

$$h = d(\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2).$$

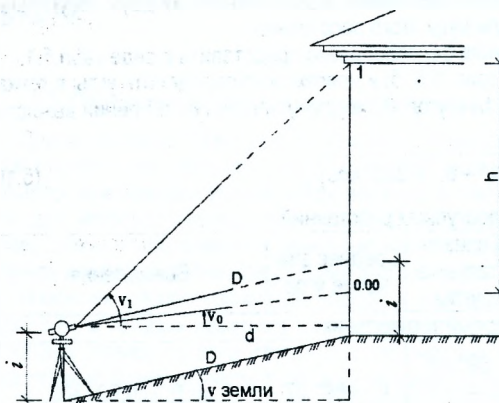


Рис. 5.7. Определение размера вертикальной детали фасада (интерьера) с помощью теодолита

вертикальные углы v'_1 и v'_2 – со станции В. Расстояние между станциями (базис) b измеряют мерной лентой или рулеткой с относительной погрешностью не более $1/2000$.

В случае, когда расстояние до объекта невозможно измерить непосредственно, необходимо произвести дополнительные измерения. На местности выбирают две станции: А и В, на которых устанавливают теодолит. При этом необходимо обеспечить видимость между станциями А и В, а также на низ и верх сооружения. На рис. 5.8 приведена схема измерений при определении вертикального расстояния между точками 1 и 2. При двух положениях круга теодолита измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 и вертикальные углы v_1 и v_2 – со станции А, а также

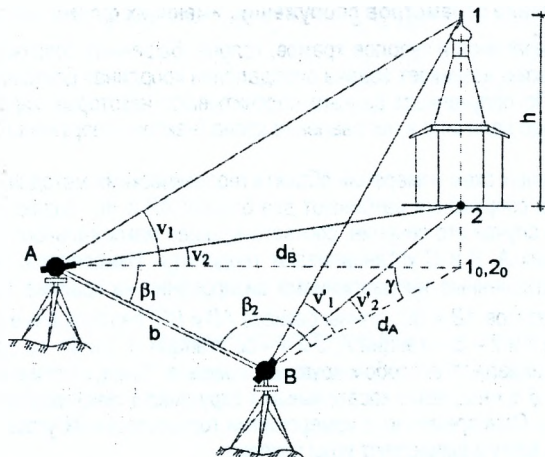


Рис. 5.8. Определение размеров недоступных деталей фасадов и интерьеров зданий

Горизонтальные расстояния d_A и d_B находят из треугольников путем решения задачи определения недоступного расстояния (см. пункт 5.6). Искомую величину h вычисляют дважды по данным измерений со станций А и В:

$$h = d_A (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2) \text{ и } h = d_B (\operatorname{tg} v_1' - \operatorname{tg} v_2').$$

На рис. 5.8 знаки вертикальных углов одинаковые (положительные), поэтому при вычислении вертикального размера элемента здания используется разность тангенсов, если знаки вертикальных углов разные, то – сумма тангенсов. Расхождение значений h , вычисленных с двух станций, не должно превышать $1/2000$ от величины полученного вертикального расстояния. Для повышения точности определения вертикального расстояния h длина базиса b должна быть соизмерима с расстояниями от станций до определяемой точки.

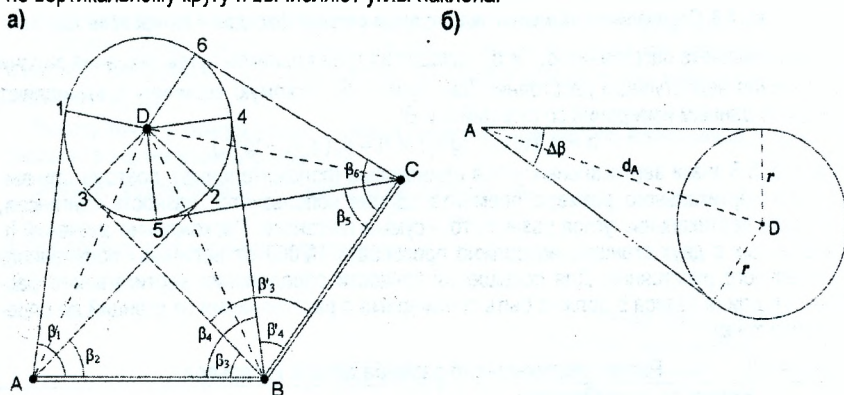
Таблица 5.2 Расчет вертикального размера детали интерьера

Станция	Номер точки визирования	Отсчеты		Горизонтальные углы, \sin углов	Горизонтальные расстояния, м	Вертикальные расстояния, м
		по горизонтальному кругу	по вертикальному кругу			
А КП	1	201° 12'	-39° 15'	$\beta_1 = 71^\circ 59'$	$b = 6,345$	$\operatorname{tg} v_1 = 0,817034$
	2	201° 12'	-10° 02'			
	В	273° 11'				
А КП	1	21° 12'	39° 15'	$\beta_1 = 71^\circ 59'$ 0,960967	$d_A = 11,896$	$\operatorname{tg} v_2 = 0,176927$
	2	21° 12'	10° 02'			$h_{1-2} = 7,615$
	В	93° 11'				
В КП	1	226° 05'	-37° 56'	$\beta_2 = 77^\circ 11'$		
	2	226° 05'	-8° 30'			
	А	303° 16'				
В КП	1	46° 05'	37° 56'	$\beta_2 = 77^\circ 11'$ 0,975085	$d_B = 12,071$	$\operatorname{tg} v_2 = 0,149451$
	2	46° 05'	8° 30'			$h_{1-2} = 7,604$
	А	123° 16'				$\gamma = 30^\circ 50'$ 0,512542

5.8. Определение параметров сооружений, имеющих форму тел вращения

При обмерах барабанов и куполов храмов, колонн, башенных сооружений, резервуаров и других объектов возникает задача определения координат центров вращения, радиусов сечений. По полученным данным подсчитывают некоторые характеристики сооружений, например величину и направление крена (наклона сооружения), асимметрию, энтазис колонн.

Одна из возможных схем измерений объекта геодезическими методами приведена на рис. 5.9, а. Вблизи сооружения разбивают два базиса: AB и BC . Задают определяемые сечения: в нашем случае это сечение, соответствующее максимальному диаметру купола церкви. В точках A , B и C устанавливают теодолиты. Измеряются: горизонтальные углы $\beta_1 - \beta_6$, составленные направлениями визирования на крайние точки сечения с направлениями базисов AB и BC ; длины базисов AB и BC , вертикальные углы ν при наведении: на точки 1 и 2 – со станции A , 3 и 4 – со станции B , 5 и 6 – со станции C . Горизонтальные углы измеряют способом круговых приемов. Следует отметить, что наблюдаемые точки 1 – 6 принадлежат касательным к окружности сечения. Поэтому наблюдатель видит хорды. Одновременно с измерениями горизонтальных углов берут отсчеты по вертикальному кругу и вычисляют углы наклона.



а – схема измерений; б – к расчету радиуса детали

Рис. 5.9. К определению параметров сооружений, имеющих форму тел вращения

Радиус сечения r (рис. 5.9, б) подсчитывают по горизонтальному расстоянию d от станции до центра вращения и углу $\Delta\beta$, составленному направлениями касательных,

$$r = d \cdot \sin \frac{\Delta\beta}{2}. \quad (5.11)$$

Расстояния d до точек A , B и C определяют как недоступные.

Вычисления удобно выполнять в табл. 5.3, где производят запись полевых измерений и вычисление всех промежуточных значений углов, расстояний до центра, радиусов тел вращения.

Рассмотрим подробно вычисление расстояний до центра сооружения путем решения прямой угловой засечки.

Согласно рис. 5.9, а и рис. 5.10, по результатам угловых измерений вычислим углы α_1 , α_2 , α_3 и α_4 :

$$\alpha_1 = \beta_2 + \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}; \quad \alpha_2 = \beta_3 + \frac{\beta_4 - \beta_3}{2}; \quad \alpha_3 = \beta'_4 + \frac{\beta'_3 - \beta'_4}{2}; \quad \alpha_4 = \beta_5 + \frac{\beta_6 - \beta_5}{2}.$$

Затем вычислим углы засечки

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2), \quad \gamma_2 = 180^\circ - (\alpha_3 + \alpha_4).$$

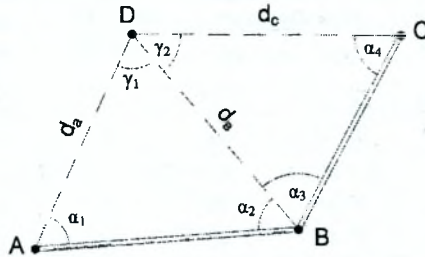


Рис. 5.10. Определение расстояний до центра сооружения

Недоступные расстояния до центра сооружения (рис.5.10), имеющего круглое сечение, найдем по теореме синусов.

Из треугольника ABD вычислим

$$d_A = AB \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma_1}; \quad d_B = AB \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \gamma_1}$$

а из треугольника BCD

$$d_B = BC \cdot \frac{\sin \alpha_4}{\sin \gamma_2}; \quad d_C = BC \cdot \frac{\sin \alpha_3}{\sin \gamma_2}$$

Для контроля в табл.5.3 радиус подсчитывают три раза.

При определении вертикальных размеров сооружений, имеющих форму тел вращения (табл. 5.4), необходимо учитывать радиусы деталей инженерного объекта и применять следующую формулу:

$$h = (d - r) \cdot (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2). \quad (5.12)$$

Таблица 5.3 Расчет радиусов тел вращения

Станция	Номер точки визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу		2С	1/2 (КП+КП±180°)	Измеренные углы	Вычисления
		КП	КП				
Длины базисов: AB=153,50 м; BC=58,60 м							
А	1	282° 25'	102° 27'	+1'	282° 26'	$\beta_1 = 77^\circ 34'$	$\alpha_1 = 69^\circ 07'$
	2	299° 20'	122° 21'	+0,5'	299° 20'	$\beta_2 = 60^\circ 40'$	$\alpha_2 = 20^\circ 20'$
	В	0° 00'	180° 01'	+0,5'	0° 00'	$\Delta\beta = 16^\circ 54'$	$\gamma_1 = 90^\circ 33'$
В	1	282° 34'	282° 35'	+0,5'	282° 34'		$d_A = 53,34\text{м}$
	А	0° 00'	180° 01'	+0,5'	0° 00'	$\beta_3 = 17^\circ 14'$	$d_B = 143,42\text{м}$
	3	17° 13'	197° 15'	+1'	17° 14'	$\beta_4 = 23^\circ 30'$	$r_1 = 7,84\text{м}$
	4	23° 30'	203° 31'	+0,5'	23° 30'	$\beta'_3 = 114^\circ 38'$	$\alpha_3 = 111^\circ 30'$
	С	131° 52'	311° 53'	+1'	131° 52'	$\beta'_4 = 108^\circ 22'$	$\alpha_4 = 50^\circ 12'$
С	А	0° 00'	180° 01'	+0,5'	0° 00'	$\Delta\beta = 6^\circ 16'$	$\gamma_2 = 18^\circ 18'$
	В	0° 00'	180° 01'	+0,5'	0° 00'		$r_2 = 7,84\text{ м}$
	5	47° 38'	227° 40'	+1'	47° 39'	$\beta_5 = 47^\circ 39'$	$d_B = 143,38\text{м}$
	6	52° 47'	232° 48'	+0,5'	52° 47'	$\beta_6 = 52^\circ 47'$	$d_C = 173,64\text{м}$
	В	0° 00'	180° 01'	+0,5'	0° 00'	$\Delta\beta = 5^\circ 09'$	$r_3 = 7,80\text{м}$

Таблица 5.4 Определение вертикальных размеров фасада

Станция	Номер точки визирования	Отсчеты по вертикальному кругу		МО=(КЛ+КП)/2	Угол наклона $v=КЛ-МО$	Вычисления
		КЛ	КП			
А	1(верх)	22° 35'	-22° 37'	-1'	22° 36'	$tg v_1=0,416260$
	2(низ)	0° 10'	-0° 12'	-1'	0° 11'	$tg v_2=0,003200$
$d_A=53,34м \quad r_{CP}=7,83м \quad h=18,80м$						
В	1	8° 34'	-8° 34'	0'	8° 34'	$tg v_1=0,150641$
	2	0° 40'	-0° 40'	0'	0° 40'	$tg v_2=0,011636$
$d_B=143,40м \quad r_{CP}=7,83 м \quad h=18,84м$						
С	1	6° 30'	-6° 30'	0'	6° 30'	$tg v_1=0,113936$
	2	0° 03'	-0° 03'	0'	0° 03'	$tg v_2=0,000827$
$d_C=173,64м \quad r_{CP}=7,83м \quad h=18,75 м$						

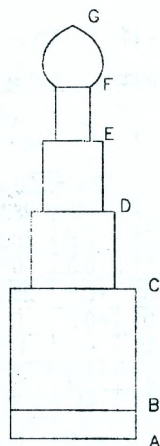
По результатам обмеров составляют план здания или сооружения (обмерочный чертеж). Масштаб построения выбирают такой, чтобы отобразить все детали фасада (интерьера).

На рис. 5.3 представлен пример обмерочного чертежа здания, на рис. 5.11 – колокольни, построенный по вычисленным вертикальным размерам фасада и радиусам элементов данного объекта.

Обмерочный чертеж колокольни

Результаты обмера:

- $h_{AB} = 2,70 м$
- $h_{AC} = 14,25 м$
- $h_{AD} = 21,64 м$
- $h_{AE} = 28,35 м$
- $h_{AF} = 33,59 м$
- $h_{AG} = 39,52 м$
- $r_A = r_B = r_C = 5,98 м$
- $r_D = 3,96 м$
- $r_E = 4,95 м$
- $r_F = 1,65 м$



1:500

Рис. 5.11. Пример обмерочного чертежа

5.9. Определение площадей

Площадь, занимаемую зданием, сооружением либо площадь земельного участка можно определить геометрическими способами или механическим.

Геометрические способы используют, если известны результаты измерения – длины линий и величины углов или функций этих элементов, которыми являются координаты вершин фигуры, площадь которой необходимо определить. Механический способ применяется для определения площади по топографической карте или плану при помощи планиметра.

Геометрические способы предполагают аналитическое определение площади. При наличии топографического плана можно применять разбиение участка местности на простейшие геометрические фигуры: треугольники или трапеции, площади которых вычисляют по известным математическим формулам, а площадь фигуры – как сумму площадей отдельных фигур. Также можно использовать палетку, представляющую собой прозрачную основу (пластик, калька) с нанесенной на нее сеткой равных по площади фигур, обычно квадратов. Палетку кладут на план и внутри контура фигуры подсчитывают число n_1 целых квадратов и число n_2 квадратов, которые составлены на глаз из частей рассеченных контуром. Площадь участка вычисляют так:

$$P = p \cdot (n_1 + n_2), \quad (5.13)$$

где p – площадь одного квадрата в масштабе плана.

В настоящее время площади определяют по координатам вершин фигуры, так как этот способ является лучшим по точности.

Границы населенного пункта, промышленного или сельскохозяйственного предприятия, контур территории строительства и других объектов представляет собой многоугольник. Если известны координаты его вершин, то площадь замкнутого многоугольника вычисляют по формулам аналитической геометрии:

$$2P = \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); \quad 2P = \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}), \quad (5.14)$$

где $i=1, 2, \dots, n$,

Удвоенная площадь многоугольника равна сумме произведений каждой абсциссы на разность ординат передней и задней по ходу точек, а также сумме произведений каждой ординаты на разность абсцисс задней и передней по ходу точек.

Например, для четырехугольника 1-2-3-4:

$$2P = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3);$$

$$2P = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1).$$

Площадь вычисляют отдельно по каждой формуле с промежуточным контролем разностей ординат и абсцисс из условий

$$\sum_1^n (y_{i+1} - y_{i-1}) = 0; \quad \sum_1^n (x_{i-1} - x_{i+1}) = 0. \quad (5.15)$$

Координаты вершин многоугольника можно определить, проложив по контуру фигуры теодолитный ход, тогда площадь участка будет получена с точностью 1/500– 1/2000. Если участок огорожен, то теодолитный или полигонометрический ход прокладывают за пределами участка, а вершины многоугольника определяют полярным способом либо засечками. Наиболее эффективно для определения площадей участков применение электронных тахеометров.

6. ОСНОВЫ ФОТОГРАММЕТРИИ

6.1 Понятие об аэро- и космических съемках

Фотограмметрия – это наука, которая изучает методы создания топографических карт и планов местности по фотоснимкам, полученным с помощью специальных фотоаппаратов с воздушных или космических летательных средств или непосредственно с земной поверхности.

Основными достоинствами использования материалов аэрофотосъемки является:

- полная объективность и достоверность отображения объектов на снимках;
- высокая точность измерений по снимкам позволяет получать планы, а также обмерные чертежи в любом масштабе;
- возможность широкого использования средств автоматизации при изготовлении карт, позволяющих сократить затраты труда и улучшить качество выпускаемой продукции;
- возможность использования промежуточных материалов аэрофотосъемки (снимки, фотосхемы, фотопланы и др. получаемые в короткие сроки и на большие территории) и т.д.

Продольное и поперечное перекрытие снимков способствует совместной обработке всех аэрофотоснимков на заданной территории (приведение их к единому масштабу, стереоскопическое рассматривание снимков, определение превышений между точками и т.д.).

Первичной продукцией аэрофотосъемки являются аэрофотоснимки (рис. 6.1). По ним даже без специальных фотограмметрических приборов можно дать описание местности.

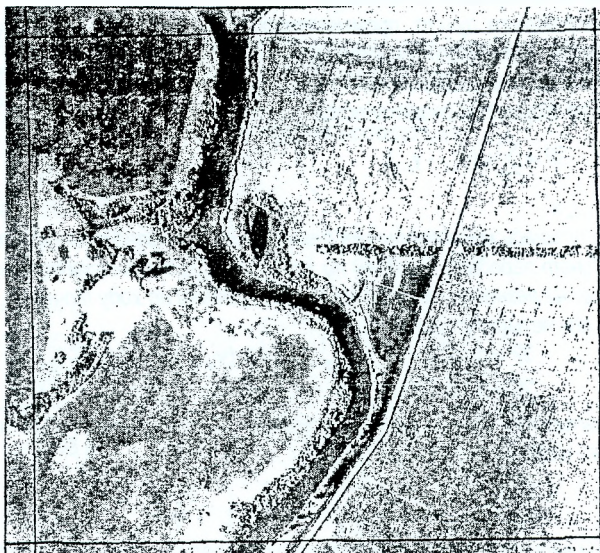


Рис 6.1 Фрагмент аэрофотоснимка

На рис. 6.1. хорошо видно русло реки, по берегам которой растет древесная растительность, хорошо видны лесополосы, дороги, отдельные участки леса. Основная территория занята пахотными землями.

Преимуществом аэрофотоснимка по сравнению с картой является то, что на нём изображаются все детали местности, а на топографических картах эти детали иногда опускают или обобщают. Аэрофотоснимок предоставляет полное и объективное представление о местности, он даёт самые последние сведения о местности (его можно изгото-

вить через несколько минут после съёмки), а данные, взятые с карты, являются устаревшими. Но аэрофотоснимок по сравнению с картой имеет ряд недостатков. На нём отсутствуют многие сведения, которые имеются на карте: нет данных о рельефе; масштаб аэрофотоснимка в разных его частях неодинаков; масштабы соседних снимков также неодинаковы вследствие кренов самолёта и изменения его высоты, поэтому измерения на снимке более сложны по сравнению с картой. При наличии на одну и ту же местность карты и аэрофотоснимка, последние являются отличным дополнением к карте.

По аэрофотоснимкам изучают местность при её рекогносцировке для проектно-исследовательских работ. Аэрофотоснимки используют при изысканиях автомобильных дорог и других сооружений.

Большое значение при изучении местности имеет космическая съёмка. На рис. 6.2. представлен космический снимок БрГТУ. На снимке хорошо видна сеть пешеходных дорожек, спортзал и прилегающее к нему футбольное поле, все корпуса и парковая зона. Виден и фонтан на площадке перед главным корпусом университета. По космическим снимкам составляют ландшафтные карты, туристические маршруты, карты национальных парков и заповедных зон.



Рис. 6.2. Космический снимок территории БрГУ

Достижения в области аэрокосмических съёмок позволяют:

- разрабатывать высокоточные планы местности, в том числе цифровые карты и планы, а также ортофотопланы;

- получать трёхмерные модели местности;
- создавать картосхемы использования территории;
- непрерывная съёмка позволяет выявить закономерности развития территории;
- определить быстропотекающие процессы (пожары, наводнения, оползни и т.д.);
- прогнозировать развитие различных процессов.

Фотосхемой называется соединение ряда аэрофотоснимков в одно изображение местности. Она является хорошим топографическим материалом для проектирования линейных сооружений. Фотосхема получается в результате монтажа соседних аэрофотоснимков, как продольных, так и поперечных. Для составления фотосхемы смежные аэрофотоснимки монтируют по контурным точкам, расположенным в середине их перекрытия. Для удаления перекрывающихся частей снимки разрезают (как правило, по общим контурам) и соседние части аэрофотоснимков наклеивают на плотную бумагу (картон) вплотную друг к другу. Таким образом, для составления фотосхемы используются средние, мало искаженные, части аэрофотоснимков. На фотосхеме можно решать те же задачи, что и на аэрофотоснимке.

Для решения более точно задач в плановом положении создаются **фотопланы**. При создании фотоплана все аэрофотоснимки при помощи фотограмметрических методов приводятся к единому масштабу и монтируются на одну плоскость. Масштаб фотоплана, как правило, приводится к масштабу карты, которая планируется к изданию. На фотоплане можно выполнять линейные измерения, решать инженерные задачи как на топографической карте.

6.2. Виды аэрокосмических съемок

Аэрофотосъёмка является основой создания топографических карт на всю территорию государства. При аэрофотосъёмке самолёт с установленной на нём аэрофотокамерой пролетает по заранее установленным параллельным маршрутам. Во время полёта по маршруту автоматическая фотокамера периодически фотографирует местность.

Аэрофотосъёмка (космическая съёмка) включает в себя комплекс работ: подготовка, аэрофотографирование, первичная фотолабораторная и фотограмметрическая обработка материала.

Аэрокосмические съёмки классифицируются по следующим основным показателям: назначению, масштабу фотографирования, методу построения изображения, углу отклонения аэрофотоаппарата (АФА) от вертикали, количеству и расположению фотоснимков.

По назначению аэрофотосъёмку делят на топографическую и специальную. Космическая съёмка выполняется как специальная. По материалам топографической аэро-съёмки изготавливают топографические карты и планы, специальные карты, необходимые многим отраслям народного хозяйства.

Специальные аэрофотосъёмки и космические съёмки выполняют в целях получения оперативной информации о земной поверхности динамики различных явлений, например, при наводнениях, распространении пожаров, извержении вулканов и т.д.

По масштабу фотографирования аэрофотосъёмки делят на крупномасштабные крупнее 1:15000, среднемасштабные от 1:16000 до 1:50000 и мелкомасштабные мельче 51000.

По углу отклонения оптической оси аэрофотоаппарата (АФА) от вертикали на плановую, когда фотографирование производится при отвесном положении оптической оси АФА, и перспективную, которая производится при заданном наклонном положении оси АФА.

При плановой аэрофотосъёмке угол α_p отклонения оптической оси АФА от вертикали не превышает 3° . При использовании специальных стабилизирующих устройств угол α_p обеспечивается в пределах $20-40^\circ$. Плановая аэрофотосъёмка используется для создания топографических планов и карт.

При перспективной фотосъемке углы наклона задаются в зависимости от назначении съемки и количества одновременно используемых АФА. При обзорных или рекогносцировочных аэрофотосъемках для увеличения ширины снимаемой полосы местности применяются несколько АФА, оптические оси которых отклонены от вертикали. Это позволяет фотографировать полосу местности вплоть до горизонта.

По числу и расположению аэрофотоснимков различают однокадровую, маршрутную и многомаршрутную аэрофотосъемки. Космическая съемка – однокадровая или одномаршрутная. Эти съемки выполняют в случае, когда нет необходимости в стереоскопических наблюдениях.

В топографии используется *маршрутная аэрофотосъемка*.

Участки земной поверхности фотографируются с нескольких параллельных маршрутов (рис. 6.3).

6.3. Продольное и поперечное перекрытие аэрофотоснимков

При многомаршрутной аэрофотосъемке на каждом последующем снимке фотографируется часть территории, которая заснята на предыдущем снимке (рис. 6.4). Расстояние между смежными центрами фотографирования называется базисом фотографирования. Перекрытие снимков в направлении полета летательного аппарата называется продольным оно обеспечивает связь между снимками и рассчитывается по формуле:

$$P_x = \frac{l_x}{l} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

где l - размер снимка по направлению полета (размер снимка, как правило 18x18 см);

l_x - размер перекрытой части снимка в том же направлении.

Продольное перекрытие l_x задается проектом аэросъемочных работ и может быть 60% для равнинной местности или 80% в горной.

Маршруты между собой перекрываются на 30-40%, такое перекрытие называется поперечным.

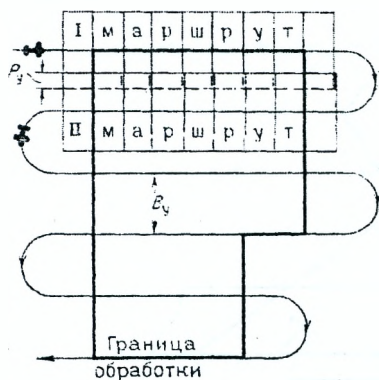


Рис. 6.3. Схема маршрутной аэрофотосъемки

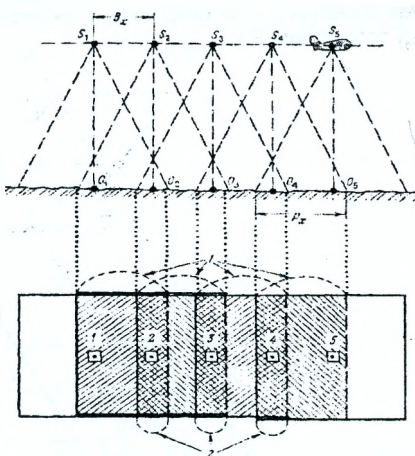


Рис. 6.4. Схема съемки одного маршрута

Расстояние между смежными маршрутами B_y (рис.6.3) устанавливают так, чтобы обеспечить поперечное перекрытие. Поперечное перекрытие рассчитывают по формуле:

$$P_y = \frac{b}{l} \cdot 100\%, \quad (6.2)$$

где l_y – поперечное перекрытие на снимке.

Продольное и поперечное перекрытия способствуют совместной обработке всех аэрофотоснимков на заданной территории (приведение к единому масштабу всех аэрофотоснимков, стереоскопическое рассматривание снимков, определение превышений между точками и т.д.).

6.4. Геометрические свойства снимка

Снимок, полученный в результате аэрофотосъемки (или космической съемки), является проекцией изображения участка местности. Каждая точка местности строится на аэроплёнке по законам линейной перспективы.

Необходимыми условиями линейной перспективы являются:

- наличие центра проектирования, через который проходят проектирующие лучи. Функцию центра проектирования выполняет объектив фотоаппарата;
- наличие плоскости, на которой строится изображение – картинной плоскости (картины). В фотограмметрии эту плоскость выполняет аэроплёнка. Результатом построения является негатив или копия с него – позитив;
- элементы, определяющие расположение картины (снимка), центра проекции S и других точек и линий и плоскостей в пространстве, относительно принятой системы координат.

Рассмотрим основные элементы центральной проекции (рис. 6.5):

- 1) **предметная плоскость E** (плоскость земли) условно принимается горизонтальной;
- 2) **плоскость действительного горизонта E'** проходит через центр проекции S параллельно предметной плоскости E и пересекает картинную плоскость P по линии $h_i h_i'$, которая называется **линией действительного горизонта**;
- 3) **плоскость картины P** располагается произвольно и при своем продолжении пересекает предметную плоскость E под углом α_p по линии TT' , эта линия называется осью перспективы, или линией основания картины;
- 4) плоскость P занимает позитивное положение, когда она располагается между центром проекции S и плоскостью E , и негативное, когда центр проекции S расположен между плоскостями P и E .

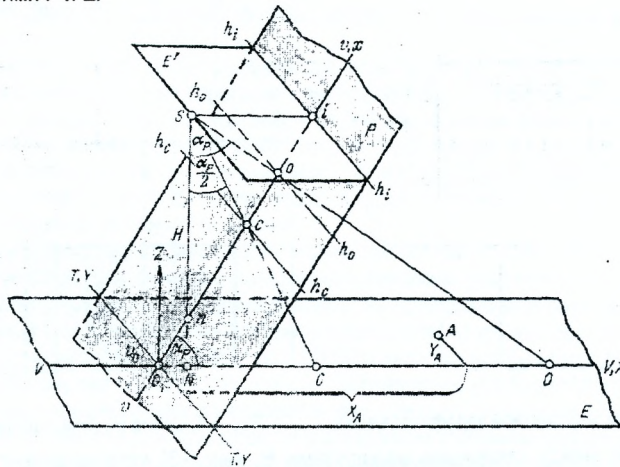


Рис.6.5. Элементы центральной проекции

Если все три плоскости P , E и E' расщепить вертикальной плоскостью, проходящей через центр проекции S , то в пересечении с картинной плоскостью P получим **линию глав-**

ной вертикали картины vv с плоскостью E – получим проекцию главной вертикали VV , пересечение с TT (осью перспективы) получим точку v_0 , которую называют главной точкой, при пересечении с линией действительного горизонта $h_i h_i$ точку i , которая называется точкой схода.

На рис. 6.5. представлены и другие элементы центральной проекции:

O – главная точка картины, точка пересечения главного проектирующего луча, проходящего через центр проекции S перпендикулярно к плоскости картины, с картиной. А точка всегда лежит на линии главной вертикали vv картины;

c – точка нулевых искажений – пересечение биссектрисы угла α_p с плоскостью картины;

p – точка надира – пересечение отвесной линии, проходящей через центр проекции S , с плоскостью картины;

$f = S_o$ – фокусное расстояние аэрофотоаппарата;

$NS = H$ – высота фотографирования;

α_p – угол наклона аэрофотоснимка в момент экспозиции;

$h_o h_o, h_i h_i, h_c h_c$ – горизонталы – линии, проходящие перпендикулярно к главной вертикали vv через точки o, i, c . Они всегда параллельны оси перспективы TT ;

O, C, N – проекции точек o, c, p на предметную плоскость E .

Положение точек в пространстве определяется координатами X, Y, Z . За начало координат принимают точку O_1 . Координатные оси X и Y расположены в предметной плоскости E и совпадают с линиями главной вертикали (vv) и осью перспективы (TT). На рис. 6.4 координаты центра проекции будут: $X_S = ON$; $Y_S = O$; $Z_S = H = SN$. Координатами точки A будут: $X_A, Y_A, Z_A = O$.

6.5. Геометрические свойства горизонтально расположенного снимка

Под горизонтальным снимком понимают снимок, когда плоскость картины P и предметная плоскость параллельны во всех их направлениях (рис.6.5), т.е. угол продольный α_p и поперечный в оптической оси АФА равны нулю.

На рис. 6.6. показано сечение горизонтального снимка и местности вертикальной плоскостью, проходящей через главную точку O и центр проекции S .

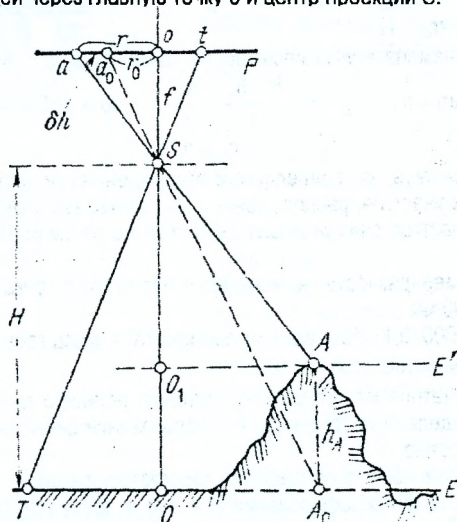


Рис. 6.6. Смещение точки на снимке вследствие рельефа местности

За исходную плоскость принята горизонтальная плоскость E, отстоящая от S на величину, равную величине фотографирования H.

Смещение точки a, на снимке влияние рельефа местности обозначим через $\delta_{на}$, которое можно определить из выражения

$$\delta_{на} = r - r_0, \quad (6.3)$$

где r – расстояние от главной точки снимка O до предполагаемого изображения проекции точки A местности на снимке;

r_0 – расстояние от главной точки снимка O до предполагаемого изображения проекции точки A на начальную плоскость E.

Величины r и r_0 , могут быть найдены из подобия треугольников SaO и SAO; SaO и SAO соответственно

$$r = O_1A \cdot f / (H - h_A) \quad (6.4)$$

$$r = O_1A_0 \cdot f / H \quad (6.5)$$

приняв во внимание, что $O_1A = OA_0$, получим

$$\delta_{на} = O_1A \cdot f / (H - h_A) - OA_0 \cdot f / H = O_1A \cdot f \cdot h_A / (H - h_A) \cdot H$$

или окончательно

$$\delta_{на} = r \cdot h_A / H. \quad (6.6)$$

В общем случае смещение точки за влияние рельефа местности на горизонтальном снимке будет

$$\delta_{н} = r_i \cdot h_i / H. \quad (6.7)$$

Направление смещения определяется знаком превышения точки над начальной плоскостью.

На горизонтальном снимке участка местности масштаб в центральной части равен $1/m_0 = f/H$. В других случаях масштаб горизонтального снимка – величина переменная. Из подобия треугольников TSO и tSo (рис. 6.6), а также AO₁S и aOS получим

$$\frac{1}{m_t} = \frac{f}{H} \quad \text{и} \quad \frac{1}{m_a} = \frac{f}{H - h_A} \quad (6.8)$$

Разность между знаменателями масштабов в точках t и a составит

$$\Delta m = m_t - m_a = H - \frac{H - h_A}{f} = \frac{h_A}{f} \quad \text{или в общем виде} \\ \Delta m_t = h_i / f. \quad (6.9)$$

Здесь следует заметить, что приведенные рассуждения относятся только к изображению горизонтальных участков, расположенных на разных высотах. Масштаб же изображения наклонных участков снимка может существенно различаться по разным направлениям.

Вычислим, например, разность знаменателей масштаба в точках t и a для $H_t = 1100$ м, $H_A = 1000$ м, при $f = 100$ мм:

$\Delta m = 1100/0,1 - 1000/0,1 = 100$ единиц знаменателя масштаба. Относительная разность составит $\Delta m / m_t = 100/1100 = 1/10$.

Изменение знаменателя масштаба из-за влияния рельефа даже на горизонтальном снимке создает определенные трудности в использовании снимков для обмерных целей с необходимой точностью.

Рассмотрим решение нескольких задач по аэрофотоснимкам.

Пример 6.1. Высота фотографирования $H = 800$ м; фокусное расстояние аэрофотоаппарата $f = 75$ мм. Определить масштаб аэрофотоснимка.

Согласно формуле 6.8, имеем

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H} = \frac{75}{800000} \approx \frac{1}{10700}$$

Пример 6.2. Измерены расстояния между двумя точками на аэрофотоснимке $d=3,92$ см и на местности $D=540$ м. Определить масштаб аэрофотоснимка

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} = \frac{3.92}{54000} \approx \frac{1}{13800}$$

Пример 6.3. Измерены расстояния между одноименными точками на аэрофотоснимке $d=3,45$ см и на топографической карте масштаба $1:10\,000$ $S=6,85$ см. Определить масштаб аэрофотоснимка. Здесь вначале приведём расстояние на карте S к расстоянию D на местности. Очевидно, что при масштабе карты $1:10\,000$ (в 1 см 10 м), $D=685$ м или

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} = \frac{3.45}{68500} = \frac{1}{19860}$$

6.6. Трансформирование аэрофотоснимков

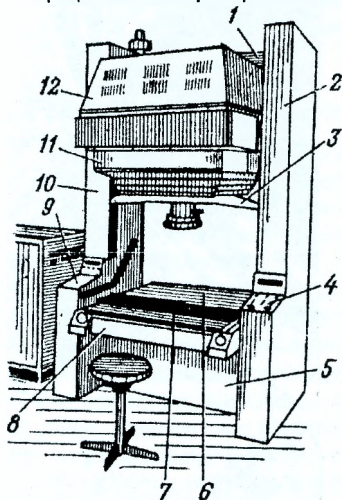
Из предыдущих параграфов ясно, что снимок представляет собой центральную проекцию, полученную в общем случае при отклоненном от вертикали положении оптической оси АФА. Центральную проекцию в пределах одного снимка можно принять за ортогональную, если местность равнинная, т.е. $\delta_h < 0,4$ мм, а аэрофотографирование выполнено при отвесном положении оптической оси АФА ($\alpha_h=0$).

Наклонные снимки можно преобразовать в горизонтальные, исключив на них искажения. Процесс такого преобразования называется трансформированием. Трансформирование выполняется с помощью специальных приборов-фототрансформаторов (рис. 6.7). В задачу трансформирования входит приведение всего изображения аэрофотоснимков к единому масштабу. Кроме этого, изображение в целом приводится к единому стандартному масштабу (например $1:10000$ или $1:5000$ и т.д.).

При трансформировании кассеты с аэрогативом придается такое же положение как в момент экспозиции (фотографирования).

Для этой цели на каждый аэрофотоснимок необходимо иметь четыре точки с известными координатами. Эти точки называются опорными, а процесс получения их координат – **привязкой снимков**. В результате чего, в конечном итоге, получают по четыре точки опознанных на аэрофотоснимке с известными координатами. Эти точки наносят по координатам в заданном масштабе на лист бумаги, который крепят к экрану (рис. 6.7).

Освещают кассету, наклоняя экран в разные стороны, совмещают точки негатива с точками, нанесенными на лист бумаги. Этот



2 и 10 – стойки; 1 и 5 – перемычки; 6 – подвижный стол; 7 – подвижная щель; 8 – корпус экрана; 11 – снимкодержатель; 12 – осветитель; 4 – органы управления

Рис. 6.7. Фототрансформатор автоматизированный (ФТА)

процесс может быть автоматизирован. Достигнув совпадения точек, подкладывают фотобумагу на экран и печатают аэрофотоснимок. Полученный таким образом снимок будет одинакового и заданного масштаба.

6.7. Стереоскопическое изучение снимков

Стереоскопия – это зрительное восприятие объемного пространства. Рассматривая объекты пространства двумя глазами, человек видит один и тот же объект из разных точек, расположенных на расстоянии глазного базиса B . Благодаря стереоскопическому зрению, человек ощущает расположение предметов в пространстве.

Пространственное восприятие двух плоских изображений называется *стереоскопическим эффектом*. Два смежных снимка, частично перекрывающихся, полученных с двух точек некоторого базиса называются стереопарой.

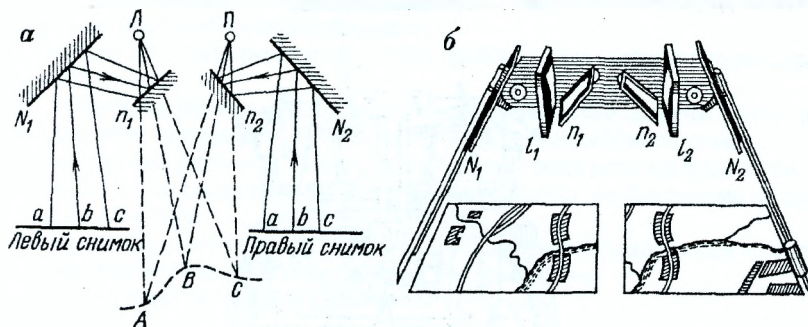
На рис. 6.8 представлены два аэроснимка, полученных с произвольного базиса фотографирования. Эти изображения размещены на расстоянии среднего глазного базиса. Они могут рассматриваться стереоскопически невооруженными глазами. Для получения стереозффекта оптическую ось каждого глаза следует направить на одноименные точки соответствующего изображения. Обе точки должны слиться в одну четко видимую в середине изображений. В это время стереопара рассматриваемых изображений сольется в одно пространственное изображение – стереомодель.



Рис. 6.8. Стереоскопическая пара аэрофотоснимков

Для наблюдения стереомодели используют простые, но широко используемые в практике приборы *стереоскопы* (рис.6.9).

Стереоскоп имеет четыре зеркала, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 (рис. 6.9, б), закрепленные на металлических ножках, устанавливаемых на стол. Под зеркала N_1 и N_2 на стол помещают два смежных снимка (стереопару) перекрывающимися частями внутрь. Снимки визуально ориентируют относительно друг друга, сдвигают и раздвигают по базису до получения стереоскопической модели по всему полю изображения.



l_1, l_2 – линзы; N_1, N_2 – зеркала

Рис. 6.9. Линзово-зеркальный стереоскоп (б) и схема передачи изображения (а)

Стереоскопы широко используют при дешифрировании аэрофотоснимков, при проведении горизонталей и выполнении других процессов фотограмметрии.

Для более точного стереоскопического измерения координат точек (плановых и высотных) используют более сложные фотограмметрические приборы такие, как стереокомпараторы, стереопроекторы (рис. 6.10), стереографы и другие приборы. Эти приборы позволяют автоматизировать процесс измерений и получать продукцию (карты, планы) в окончательном варианте.

6.8. Ориентирование. Дешифрирование снимков

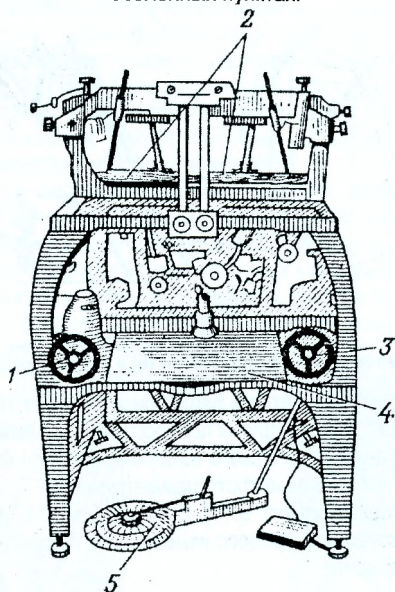
Аэрофотоснимок ориентируют на местности по совместным четким контурам, имеющимся на снимке и на местности (автомобильные дороги, лесополосы, границы пашни и т.д.), или по воображаемым линиям, соединяющим ярко выраженные предметы. Это могут быть отдельно стоящие деревья, углы зданий или сооружений. Так, если наблюдатель находится на шоссе (рис.6.1), то, не определяя точку своего местоположения, он легко может по направлению шоссе ориентировать снимок. Также можно встать в точке, которая явно выражена на местности (угол отдельного дома, пересечение полевых дорог, отдельно стоящая водонапорная башня и пр.), и по другим, ясно выраженным предметам, отобразившимся на аэрофотоснимке, ориентировать аэрофотоснимок.

После ориентирования снимка на него можно положить ориентир-буссоль и прочертить линию, параллельную магнитной стрелке. Эта линия будет являться направлением магнитного меридиана. В последующем, в зоне нечётких контуров (например, лесной массив) аэрофотоснимок можно ориентировать, пользуясь буссолью и прочерченной на нём линии.

Дешифрирование аэрофотоснимка – это признаки, по которым раскрывают информацию изображения, на аэрофото- или космических снимках. Различают полевое и камеральное дешифрирование. Существует и маршрутное дешифрирование.

При камеральном дешифрировании с помощью фотограмметрических приборов и

фототону черно-белого снимка определяют все необходимые характеристики объектов, которые необходимы при составлении топографических карт. Такое дешифрирование используется в степных и пустынных районах. При полевом (сплошном дешифрировании) непосредственно на местности определяют высоту деревьев, этажность зданий, социальное назначение, материал, из которого построены здания, линии ЛЭП и т.д. Такое дешифрирование выполняют в населённых пунктах.



1, 3 – штурвалы перемещения каретки по осям x , y ; 2 – кассеты для аэрофотоснимков;
4 – экран; 5 – ножная педаль перемещения каретки по высоте

Рис. 6.10. Стереопроектор СРП-2

При маршрутном дешифрировании намечаются специальные маршруты, по которым дешифровщик проходит и описывает фототона аэрофотоснимка, определяет характеристики лесных массивов, скорость течения рек, характеристики рек и их дна и пр. Такое дешифрирование практикуется в сплошных лесных массивах с развитой гидрографией. Различают также дешифровочные признаки на прямые и косвенные. Прямые признаки передают форму изображения и характер его поверхности. Например, на рисунке 6.1. хорошо видна автомобильная дорога, которая пересекает лесополосу, а также протекает река, по берегам которой имеется древесная растительность.

Косвенные признаки указывают на возможность наличия на территории объекта, хотя он и не получил отображения на снимке. Такими признаками могут быть, например, зависимость вида растительного покрова от типа почвы, её засоленности и увлажнённости или связь рельефа геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе.

Не дешифрирующиеся в камеральных условиях объекты обязательно распознаются при полевом дешифрировании.

Программа выполнения лабораторных работ

I семестр

1. Масштабы. Работа с поперечным масштабом.
2. Карта, условные знаки и номенклатура.
3. Решение задач по топографической карте.

3.1. Определение географических и плоских прямоугольных координат точки, заданной на карте.

3.2. Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов линии, проведенной на карте. Определение отметки точки, лежащей между горизонталями.

3.3. Определение численных характеристик крутизны ската (угол наклона, уклон линии). Построение профиля местности по заданному направлению. Построение на карте линии заданного уклона.

3.4. Определение цены деления планиметра. Определение площади уголья по карте.

3.5. Определение площадей по координатам контурных точек.

3.6. Решение задач по теории погрешностей.

II семестр

4. Изучение устройства нивелира, поверки, техническое нивелирование, измерение превышений и обработка журнала технического нивелирования.

5. Вертикальная планировка местности.

6. Изучение устройства теодолита, поверки, измерение горизонтальных углов.

7. Вертикальный круг теодолита. Определение места нуля (МО) вертикального круга. Определение высоты сооружения, вертикального размера архитектурного элемента.

8. Тригонометрическое нивелирование. Тахеометрическая съемка (полевые работы).

9. Дистанционный обмер фрагментов сооружений.

10. Стереоскопическое рассматривание аэрофотоснимков, определение масштаба аэрофотоснимков.

11. Подготовка геодезических данных для выноса проекта сооружения в натуру полярным способом. Составление разбивочного чертежа.

12. Изучение лазерных рулеток.

Темы расчетно-графических работ:

1. Вычисление координат точек теодолитного хода и построение плана теодолитной съемки.

2. Обработка журнала тахеометрической съемки и построение плана тахеометрической съемки.

3. Обработка результатов дистанционного обмера сооружения. Построение обмерного чертежа.

Расчетно-графические работы выполняются студентами *самостоятельно*.

Для повышения качества знаний по дисциплине планируется **самостоятельная работа** над лекционным курсом и подготовка к лабораторным занятиям по темам:

1. Масштабы. Номенклатура топографических карт. Аэрофотоснимок. Космический снимок.

2. Устройство теодолитов Т30, 2Т30 и их поверки. Вертикальный круг теодолита Т30 и 2Т30, МО вертикального круга. Измерение теодолитом магнитного азимута. Технические нивелиры и их поверки.

Управляемая самостоятельная работа:

1. Решение задач по топографическим картам.

2. Электронный тахеометр ЗТа5Р и его устройство.

Геодезическая практика
 перечень работ и предусмотренные для них сроки выполнения

№№ п.п.	Виды работ	Един. измер.	Объём	Число дней
1	2	3	4	5
1	Организационное собрание. Изучение правил техники безопасности и получение инструментов			0,5
2	Поверки теодолита и нивелира. Тренировочные работы			0,5
3	Создание планово-высотного обоснования для топографических съемок а) проложение теодолитного хода (измерение углов и длин линий); б) техническое геометрическое нивелирование точек теодолитного хода; в) камеральная обработка результатов измерений	точка	7-8	1,0 1,0 1,0
4	Топографические съемки масштаба 1:1000 а) теодолитная б) тахеометрическая в) нивелирование поверхности по квадратам г) камеральная обработка съемок	га	3-5	2,0 3,0 1,0 2,5
5	Обмерные работы. Дистанционный обмер сооружений, имеющих форму тел вращения	объект	1-2	2,0
6	Решение типовых инженерно-геодезических задач	задача	3-4	1,0
7	Неплановые работы и мероприятия			1,0
8	Оформление отчета по практике. Сдача инструментов и зачета			1,5
	Всего			18

1. Вопросы для подготовки к зачету

- 1.1. Что такое масштаб?
- 1.2. Как пользоваться поперечным масштабом?
- 1.3. Что называют точностью масштаба?
- 1.4. Что называют горизонтальным проложением линии местности?
- 1.5. Что такое координаты точки? Какие координаты определяются в геодезии?
- 1.6. Как определить географические и плоские прямоугольные координаты точки, нанесенной на карте?
- 1.7. Что такое азимут и дирекционный угол, и как их определить для заданной линии на карте?
- 1.8. Что называют высотой точки? Какие высоты различают в геодезии?
- 1.9. Что такое горизонтالي, высота сечения рельефа и заложение?
- 1.10. Как определить отметку (высоту) точки, лежащей между горизонталями?
- 1.11. Что такое уклон? Как провести линию с заданным уклоном?
- 1.12. В какой последовательности строят профиль по карте?
- 1.13. Что такое цена деления планиметра, как ее определить, и от чего зависит ее величина?

2. Вопросы для подготовки к экзамену

2. 1. Основные вопросы.
 - 2.1.1. Геодезия. Значение геодезии в народном хозяйстве.
 - 2.1.2. Основные понятия о форме и размерах Земли.
 - 2.1.3. Горизонтальные проложения линий местности.
 - 2.1.4 Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек.
 - 2.1.5 Географические координаты точек.
 - 2.1.6. Прямоугольные координаты. Зональная система координат Гаусса-Крюгера.
 - 2.1.7. Ориентирование линий местности. Азимуты: истинный и магнитный. Дирекционный угол и румб.
 - 2.1.8. Прямая и обратная геодезические задачи.
 - 2.1.9. Абсолютные и относительные высоты точек. Изображение рельефа на планах и картах.
 - 2.1.10. Понятие о плановых государственных геодезических сетях.
 - 2.1.11. Проложение теодолитных ходов. Теодолитная съемка.
 - 2.1.12. Уравнивание горизонтальных углов в замкнутом и разомкнутом теодолитном ходе.
 - 2.1.13. Вычисление дирекционных углов и румбов сторон теодолитного хода.
 - 2.1.14. Вычисление и уравнивание приращений координат.
 - 2.1.15. Общие понятия о геодезических измерениях. Погрешности измерений.
 - 2.1.16. Свойства случайных погрешностей. Арифметическое среднее.
 - 2.1.17. Средняя квадратическая погрешность одного измерения. Предельная погрешность.
 - 2.1.18. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин. Привести пример.
 - 2.1.19. Средняя квадратическая погрешность функций вида $Y=kx$, $y=x+z$, $y=k_1x_1+k_2x_2+x_3 + \dots$. Привести пример.
 - 2.1.20. Понятие о неравноточных измерениях. Вычисление средневесового значения неравноточных измерений.
 - 2.1.21. Средняя квадратическая погрешность простого арифметического среднего.
 - 2.1.22. Зрительные трубы геодезических инструментов.
 - 2.1.23. Уровни геодезических инструментов.
 - 2.1.24. Измерение расстояний мерной лентой. Поправки за наклон линий, температуру, компарирование.
 - 2.1.25. Принцип измерения расстояний светодальномером. Лазерные рулетки их принцип работы и назначение.
 - 2.1.26. Определение неприступных расстояний.

- 2.1.27. Теория нитяного дальномера. Приведение к горизонту наклонных расстояний измеренных дальномером.
- 2.1.28. Общие сведения о нивелировании. Высотные государственные сети. Нивелирные знаки.
- 2.1.29. Сущность геометрического нивелирования. Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования.
- 2.1.30. Рассказать устройство нивелира Н-3 и перечислить его поверки.
- 2.1.31. Рассказать устройство нивелира Н-3К и Н-3КЛ перечислить их поверки.
- 2.1.32. Программа работы на станции при техническом нивелировании. Основные источники погрешностей.
- 2.1.33. Поверка главного условия нивелира Н-3.
- 2.1.34. Поверка главного условия нивелира Н-3К (Н-3КЛ).
- 2.1.35. Обмер зданий с помощью измерений теодолитом.
- 2.1.36. Способы определения вертикальности стен.
- 2.1.37. Определение параметров зданий, имеющих форму тел вращения.
- 2.1.38. Принцип измерения горизонтального угла. Типы теодолитов. Приспособления для центрирования.
- 2.1.39. Устройство теодолитов Т30, 2Т30. Перечислить поверки теодолитов.
- 2.1.40. Поверка уровня при горизонтальном круге теодолита. Поверка сетки нитей.
- 2.1.41. Коллимационная погрешность, её определение и исправление.
- 2.1.42. Устройство вертикального круга теодолита Т30. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление.
- 2.1.43. Устройство вертикального круга теодолита 2Т30. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление.
- 2.1.44. Измерение горизонтального угла способом полного приема и круговых приемов.
- 2.1.45. Основные источники погрешностей при измерении горизонтальных углов.
- 2.1.46. Сущность гидростатического и тригонометрического нивелирования.
- 2.1.47. Сущность тахеометрической съемки. Порядок выполнения работ на станции при тахеометрической съемке.
- 2.1.48. Способы переноса проекта на местность. Подготовка геодезических данных для выноса проекта в натуру.
- 2.1.49. Полярный способ и способ угловой засечки при выносе проекта в натуру.
- 2.1.50. Вынос в натуру проектного горизонтального угла с точностью теодолита и с повышенной точностью.
- 2.1.51. Определение теодолитом магнитного азимута при помощи ориентир-буссоли.
- 2.1.52. Нивелирование через водные преграды.
- 2.1.53. Построение на местности проектного отрезка и прямого угла с помощью рулетки.
- 2.1.54. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой. Контроль выноса.
- 2.1.55. Вынос проектной линии с заданным уклоном при помощи теодолита.
- 2.1.56. Построение плоскости заданного уклона.
- 2.1.57. Передача отметок на дно котлована и на монтажные горизонты.
- 2.1.58. Определение высоты сооружения.
- 2.1.59. Многомаршрутная аэросъемка. Продольное и поперечное перекрытие.
- 2.1.60. Геометрические свойства снимка. Основные элементы центральной проекции.
- 2.1.61. Геометрические свойства горизонтально расположенного снимка.

2.2. Дополнительные вопросы

- 2.2.1. Что называется дирекционным углом?
- 2.2.2. Что такое уклон линии?
- 2.2.3. Какую форму имеет Земля?
- 2.2.4. Что такое широта точки?

- 2.2.5. Что такое долгота точки?
- 2.2.6. Что такое осевой меридиан?
- 2.2.7. Чем отличается дирекционный угол от истинного азимута?
- 2.2.8. Что называется заложением и высотой сечения рельефа?
- 2.2.9. В чем сущность прямой геодезической задачи?
- 2.2.10. Перечислите свойства случайных погрешностей.
- 2.2.11. Что такое вес измеренной величины?
- 2.2.12. Что называют визирной осью зрительной трубы?
- 2.2.13. Как установить трубу по глазу?
- 2.2.14. Как установить трубу по предмету?
- 2.2.15. Что называют осью цилиндрического уровня?
- 2.2.16. Что называют осью круглого уровня?
- 2.2.17. Что такое цена деления уровня?
- 2.2.18. Что такое чувствительность уровня?
- 2.2.19. Что называют горизонтом инструмента?
- 2.2.20. Что называют высотой инструмента?
- 2.2.21. Что называют местом нуля вертикального круга теодолита?
- 2.2.22. Что называют коллимационной погрешностью?
- 2.2.23. Перечислите требования, предъявляемые к теодолиту?
- 2.2.24. Перечислите требования, предъявляемые к нивелиру?
- 2.2.25. Сформулируйте главное условие для нивелиров с цилиндрическим уровнем?
- 2.2.26. Сформулируйте главное условие для нивелиров с компенсатором?
- 2.2.27. Чем отличается нивелир Н-ЗК от нивелира Н-3?

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Типовые задачи в экзаменационных билетах

Задача 1. Определить длину линии на плане масштаба 1:1000, если её длина на местности составляет 624,9 м.

Задача 2. Отсчеты по горизонтальному кругу $KП=8^{\circ}24'$, $KП=188^{\circ}27'$. Определить коллимационную погрешность и вычислить правильный отсчет для исправления.

Задача 3. Вычислить координаты точки В, если известны координаты точки А, дирекционный угол линии А-В и расстояние между точками А-В. $X_A=424,03$ м; $Y_A=627,98$ м; $d_{A-B}=312,47$ м; $\alpha_{A-B}=313^{\circ}59'$.

Задача 4. Имеется точка А с отметкой $H_A=86,035$ м. Требуется вынести точку В с проектной отметкой $H_{пр}=85,963$ м. Определить отсчет по рейке, установленной в точке В, если отсчет по рейке в точке А равен 1217 мм.

Задача 5. Дан дирекционный угол предыдущей линии $\alpha_{1,2}=99^{\circ}17'$ и правый по ходу угол между предыдущей и последующей линиями $\beta_2=48^{\circ}24'$. Вычислить дирекционный угол последующей линии $\alpha_{2,3}$.

Задача 6. Дан румб линии $r=C3:24^{\circ}13'$. Определить дирекционный угол этой линии и обратный дирекционный угол.

Задача 7. Известны дирекционные углы последующей линии $\alpha_{2,3}=345^{\circ}54'$ и предыдущей линии $\alpha_{1,2}=188^{\circ}50'$. Определить правый горизонтальный угол между линиями.

Задача 8. Результаты измерения линии стальной лентой в прямом и обратном направлении таковы: $D_{\text{п}}=312,04$ м; $D_{\text{о}}=312,17$ м. Определить окончательное значение длины линии, абсолютную и относительную погрешности.

Задача 9. Определить абсолютную и относительную невязки теодолитного хода, если известны невязки по осям координат: $f_x=0,18$ м, $f_y=0,24$ м и длина хода $P=791,03$ м.

Задача 10. Определить уклон линии АВ, если даны отметки пикетов:

начального ПК3+62,17	HA=213,065
конечного ПК6+0,99	HB=209,697

Задача 11. Координаты начала и конца линии АВ известны: $X_A=165,03$ м; $Y_A=312,04$ м; $X_B=308,75$ м; $Y_B=209,36$ м. Определить румб линии АВ.

Задача 12. Определить величину угловой невязки f_{β} , ее знак и допустимость в полигоне, имеющем 4 вершины, если сумма измеренных внутренних углов $\Sigma\beta_{\text{п}}=359^{\circ}57'$.

Задача 13. Дирекционный угол линии АВ равен $\alpha_{A-B}=195^{\circ}04'$. Определить обратный дирекционный угол линии ВА и её румб.

Задача 14. Определить место нуля (МО) вертикального круга теодолита 2Т30, и вертикальный угол, если известны отсчеты: КП=16°04' и КП=16°09'.

Задача 15. Дана точка А с отметкой $H_A=165,034$ м. Требуется на расстоянии 265,3 м. Определить отметку точки В, если уклон линии А-В равен $i=-0,0096$.

Задача 16. Определить горизонт инструмента, если известна отметка точки А: $H_A=99,365$ м и отсчеты по рейке, установленной в точке А, равны 1703 мм и 6488 мм.

Задача 17. Координаты начала и конца линии АВ известны: $X_A=563,04$ м; $X_B=309,03$ м; $Y_A=908,63$ м; $Y_B=160,03$ м. Определить длину линии АВ.

Задача 18. Известны случайные погрешности при измерении одной и той же величины $\Delta_1=21$ мм; $\Delta_2=20$ мм; $\Delta_3=19$ мм; $\Delta_4=18$ мм. Определить среднюю квадратическую погрешность измеренной величины.

Задача 19. Известны результаты измерения длины линии АВ: $\xi_1=136,18$ м; $\xi_2=136,20$ м; $\xi_3=136,21$ м; $\xi_4=136,23$ м; $\xi_5=136,24$ м. Определить среднюю квадратическую погрешность измерения длины линии.

Задача 20. Радиус окружности измерен со средней квадратической погрешностью $\mu_R=\pm 2$ мм. Определить среднюю квадратическую погрешность вычисления длины окружности.

Задача 21. По карте масштаба 1:10000 с сечением рельефа 2,5 м определить отметку точки, расположенной между двумя горизонталями.

Задача 22. На карте масштаба 1:10000 определить уклон отрезка, расположенного между двумя горизонталями.

Задача 23. Определить место нуля (МО) вертикального круга и вертикальный угол теодолита Т30, если известны отсчеты: КП=4°27' и КП=175°37'.

Задача 24. При заданном направлении линии АВ=200 м теодолитом допущена погрешность в угле 5'. Определить величину смещения конечной точки В ($\rho=3438$).

Задача 25. По карте масштаба 1:10000 определить прямоугольные координаты заданной точки.

Задача 26. На карте масштаба 1:10000 определить географические координаты заданной точки.

Задача 27. На карте масштаба 1:10000 определить истинный азимут заданного направления.

Задача 28. На карте масштаба 1:10000 определить магнитный азимут заданного направления.

Задача 29. Фокусное расстояние аэрофотоаппарата $f=100$ мм. Высота фотографирования $H=1550$ м. Определить масштаб аэрофотоснимка.

Задача 30. Измерены расстояния между одноименными точками на снимке $d=2,87$ см и точками местности $D=390$ м. Определить масштаб аэрофотоснимка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 1977.
2. Ганшин В.А. и др. Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. – М.: Недра, 1977.
3. Геодезия. Топографические съемки: справочн. пособ. под ред. В.П.Савиных и В.Р.Яценко.– М.: Недра,1991.
4. Зеленский А.М., Фолитар Г.В.Инженерная геодезия в автомобильном строительстве (курс лекций). – Брест, УО БрГТУ. – 2007.
5. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.– М.: Недра, 1990.
6. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.– М.: Недра, 1982.
7. Кузнецов П.Н., Васютинский И.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. – М.: Недра, 1984.
8. Курс инженерной геодезии / под ред. В.Г.Новака. – М.: Недра. 1989.
9. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия.– М.: Высшая школа, 2001.
10. Перфилов В.Ф., Скогарева Р.Н., Усова Н.В. Геодезия. – М.: Высшая школа, 2006.
11. СНБ 1.02.01–96 Инженерные изыскания для строительства. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн., 1996.
12. Современные электронные геодезические приборы: Информ. обзор / Сост. Д.А.Чиж, С.И. Помелов – Мн.: «БелНИЦзем», 2005.
13. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – М.: Недра, 1985.
14. ТКП 45-1-03-26-2006 (02250) Геодезические работы в строительстве. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.– Минск, 2006.
15. Хаметов Т.И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений.– М.: Издательство АСВ, 2002.

Учебное пособие

Составители: Зеленский Алексей Михайлович
Зуева Людмила Фёдоровна
Фолитар Георгий Владимирович

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Методическое пособие

для студентов специальности

1 – 70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

Ответственный за выпуск: Фолитар Г.В.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-085-5



9 789854 930855

Издательство БрГТУ.

Лицензия №02330/0133017 от 30.04.2004 г.

Подписано к печати 10.06. 2008. Формат 60x84 1/16. Бумага

«Снегурочка». Усл. п. л. 6,0. Уч. изд. 6,5. Доп. тираж 50 экз.

Заказ № 909. Отпечатано на ризографе учреждения

образования «Брестский государственный технический

университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.

Лицензия №02330/0148711 от 30.04.2004 г.