

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»**

Кафедра маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Составители

В. А. Горбунова, Г. А. Корецкая

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ (РАЗДЕЛ ГЕОДЕЗИЯ)

Лабораторный практикум

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности
130400.65 «Горное дело» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2013

Рецензенты:

Филимонов К. А. – к.т.н., доцент, председатель учебно-методической комиссии специальности 130400.65 «Горное дело»

Латагуз М. М. – ст. преп. кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Горбунова Вера Акентьевна, Корецкая Галина Александровна. Геодезия и маркшейдерия (раздел Геодезия) [Электронный ресурс]: лабораторный практикум для студентов специальностей 130400.65 «Горное дело» специализаций 130401.65 «Подземная разработка пластовых месторождений», 130403.65 «Открытые горные работы», 130405.65 «Шахтное и подземное строительство», 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», 13412.65 «Технологическая безопасность и горноспасательное дело»; 131201.65 «Физические процессы горного производства» очной формы обучения / сост. В. А. Горбунова, Г. А. Корецкая. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2013.

Лабораторный практикум содержит все виды лабораторных работ с необходимыми теоретическими пояснениями по темам дисциплины. Приведены общие сведения и термины по геодезии, информация о системах координат. Дается представление о топографических картах, планах и профилях. Рассмотрены вопросы ориентирования линий на плоскости. Изложены принципы работы с основными геодезическими приборами: теодолитом, нивелиром, планиметром, а также методика линейно-угловых измерений и определений превышений и отметок. Приведены сведения о современной геодезической аппаратуре и новейших технологиях измерений на земной поверхности.

Содержит требования к оформлению результатов и качеству полевых измерений, порядок камеральной обработки, список рекомендуемой литературы и контрольные вопросы по каждой лабораторной работе.

Лабораторный практикум может быть полезен студентам строительного профиля, изучающим дисциплину «Инженерная геодезия».

© КузГТУ

© Горбунова В. А.

© Корецкая Г. А.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ТЕМА 1. Угловые и линейные измерения на топографических планах (лабораторная работа №1)	9
1.1. Элементы измерений на местности	9
1.2. Виды масштабов	11
1.3. Точность масштаба	15
1.4. Типы решения задач с масштабами	16
1.5. Определение расстояний на картах и планах	16
1.6. Измерения углов геодезическим транспортом	18
1.7. Задачи для самостоятельного решения	19
1.8. Контрольные вопросы	21
ТЕМА 2. Определение координат точек на топографических планах (лабораторная работа №2)	23
2.1. Ориентирование линий: азимуты, дирекционные углы, румбы, сближение меридианов, склонение магнитной стрелки	23
2.2. Ориентирование карты с помощью буссоли	28
2.3. Определение прямоугольных координат на топографической карте масштаба 1:10 000	32
2.4. Решение прямой и обратной геодезических задач	35
2.4.1. Прямая геодезическая задача	35
2.4.2. Обратная геодезическая задача	36
2.5. Задачи для самостоятельного решения	36
2.6. Контрольные вопросы	41
ТЕМА 3. Определение площадей и объемов (лабораторная работа №3)	42
3.1. Аналитический способ	42
3.2. Графический способ	43
3.3. Геометрический способ	45
3.4. Механический способ	47
3.4.1. Механический планиметр ПП-М	47
3.4.2. Электронный планиметр PLANIX-5	50
3.5. Определение объемов тел	53
3.6. Задачи для самостоятельного решения	55
3.7. Контрольные вопросы	57
ТЕМА 4. Определение отметок точек по горизонталям (лабораторная работа №4)	58
4.1. Условные топографические знаки	58
4.2. Метод изображения рельефа	69
4.3. Изучение рельефа местности по планам	62
4.4. Определение отметок по картам и планам	63

4.5. Методы интерполирования	64
4.5.1. Аналитическое интерполирование	64
4.5.2. Интерполирование на глаз	64
4.6. Построение горизонталей по отметкам	65
4.7. Определение превышения, уклона и заложения	66
4.8. Построение профиля по заданному направлению	67
4.9. Задачи для самостоятельного решения	68
4.10. Контрольные вопросы	71
ТЕМА 5. . Работа с теодолитом (лабораторная работа №5)	72
5.1. История теодолита	72
5.2. Типы угломерных приборов	73
5.2.1. Тахеометры	73
5.2.2. Гиротеодолиты и гирокомпасы	76
5.2.3. Фототеодолиты	77
5.3. Классификация теодолитов	78
5.4. Требования, предъявляемые к теодолитам	84
5.5. Устройство оптического теодолита	86
5.6. Оптическая схема теодолита 2Т30М	92
5.7. Порядок отсчитывания по шкаловому микроскопу	93
5.8. Основные поверки теодолита	95
5.8.1. Поверка цилиндрического уровня	96
5.8.2. Поверка сетки нитей	98
5.8.3. Поверка коллимационной ошибки	98
5.8.4. Поверка места нуля МО	99
5.9. Установка теодолита в рабочее положение	101
5.10. Измерение горизонтальных углов способом приемов	102
5.10.1. Порядок работ при измерении левого по ходу горизонтального угла	104
5.10.2. Порядок работ при измерении правого по ходу горизонтального угла	106
5.11. Измерение вертикальных углов	106
5.12. Измерение дальномерных расстояний	108
5.13. Задачи для самостоятельного решения	111
5.14. Контрольные вопросы	112
ТЕМА 6. Работа с нивелиром (лабораторная работа №6)	113
6.1. Краткая история и классификация нивелиров	113
6.2. Принцип геометрического нивелирования	121
6.3. Устройство оптического нивелира Н-3	123
6.4. Нивелирные рейки	125
6.5. Нивелирные башмаки	126
6.6. Отсчитывание	126
6.7. Поверки нивелира Н-3.	127
6.7.1. Поверка круглого уровня	128

6.7.2. Поверка установки сетки нитей	128
6.7.3. Поверка угла i или поверка главного геометрического условия нивелира	129
6.8. Нивелирование на станции по программе технического нивелирования	132
6.8.1. Необходимое оборудование	132
6.8.2. Порядок работы	132
6.8.3. Камеральная обработка результатов измерений	133
6.9. Правила обращения с приборами для нивелирования	134
6.10. Задачи для самостоятельного решения	136
6.11. Контрольные вопросы	137
ТЕМА 7. Анализ точности геодезических измерений (лабораторная работа №7)	138
7.1. Знакомство с теорией погрешности геодезических измерений	138
7.2. Правила округления и записи результатов измерения	141
7.3. Оценка точности результатов по разностям двойных измерений	144
7.4. Вычисление угловой и допустимой невязок угловых измерений в многоугольнике	145
7.5. Вычисление высотной и допустимой невязки замкнутого нивелирного хода	146
7.6. Вычисление средней квадратической погрешности функции измеренных величин	148
7.7. Статистическая обработка геодезических измерений	150
7.8. Автоматизация процесса статистической обработки	
7.8.1. Компьютерный вариант решения задания 7.8	154
7.8.2. Компьютерный вариант решения задания 7.1	154
7.9. Задачи для самостоятельного решения	159
7.10. Контрольные вопросы	159
Список рекомендуемой литературы	160

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программой дисциплины «Геодезия и маркшейдерия (раздел Геодезия)» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки «Горное дело» 130400.65 специализаций 130401.65 «Подземная разработка пластовых месторождений», 130403.65 «Открытые горные работы», 130404.65 «Маркшейдерское дело», 130405.65 «Шахтное и подземное строительство», 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», 130412.65 «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» и 131201.65 «Физические процессы горного производства».

Материалы представлены в форме электронных ресурсов для реализации программы дисциплины на современном научно-техническом уровне. Применение данного электронного комплекса в учебном процессе должно помочь студентам горных специальностей выполнять задания лабораторного практикума по геодезии внимательно и заинтересованно.

Расположение материала совпадает с порядком изучения дисциплины. При этом предусматривается обязательное использование учебников [1–11, 17–19], в которых рассматриваются теоретические основы геодезии, нормативных документов [12, 13, 16], а также дополнительной литературы [14–15, 20–22], в которой приводятся сведения о новейшей геодезической аппаратуре и современных методах измерений на земной поверхности.

Целью освоения дисциплины является формирование общих представлений о средствах и методах геодезических работ при топографо-геодезических изысканиях, об использовании готовых планово-картографических материалов при эксплуатационной разведке, добыче и переработке полезных ископаемых, строительстве подземных объектов и эксплуатации горнодобывающих предприятий в производственно-технологической, проектно-изыскательной, организационно-управленческой и научно-исследовательской деятельности.

В результате выполнения лабораторных работ по геодезии студенты должны:

– усвоить методы и средства составления топографических карт и планов;

- научиться использовать картографическую информацию при решении инженерных задач горного производства;
- приобрести навыки работы с основными геодезическими приборами: теодолитом, нивелиром, планиметром;
- подготовиться к летней учебной геодезической практике.

Лабораторный практикум содержит семь тем, соответствующих семи лабораторным работам.

Первая тема (лабораторная работа №1, 2 часа) посвящена угловым и линейным измерениям на топографических планах. Студенты изучают виды масштабов и карт, их точность, решают задачи на учебном плане масштаба 1:10 000, используют простейшие угломерные геодезические инструменты (линейка, транспортир).

Вторая тема (лабораторная работа №2, 4 часа) знакомит студентов с прямоугольной системой координат и ориентирными направлениями (азимутами, дирекционными углами и румбами), с решением прямой и обратной геодезических задач.

Третья тема (лабораторная работа №3, 2 часа) посвящена определению площадей и объемов различными способами (аналитическим, механическим, геометрическим и с помощью палетки). Студенты изучают устройство планиметров (механического ПП-М и электронного PLANIX) и работу с ними.

Четвертая тема (лабораторная работа №4, 4 часа) направлена на изучение рельефа местности по планам и определение отметок по горизонталям. Студенты знакомятся с условными топографическими знаками, с методами интерполирования (аналитическим, «на глаз»), строят профиль земной поверхности по заданному направлению.

Пятая тема (лабораторная работа №5, 4 часа) «Работа с теодолитом» посвящена изучению технических теодолитов. На примере теодолита 2Т30М изучаются его основные части и технические характеристики. Студенты выполняют поверки теодолита (поверка цилиндрического уровня, места нуля МО, определение коллимационной ошибки) и осваивают методику работы (приведение в рабочее положение, центрирование, измерение горизонтальных и вертикальных углов, измерение дальномерных расстояний). Знакомятся с общими сведениями о современных оптических и электронно-оптических теодолитах-тахеометрах.

Шестая тема (лабораторная работа №6, 4 часа) – «Работа с нивелиром». Первая часть занятия (2 часа) посвящена изучению устройства и работе с точными оптическими нивелирами марки НЗ, НЗК. Студенты обучаются отсчитыванию по нивелирным рейкам, выполняют поверки круглого и цилиндрического уровней, осваивают методику технического нивелирования и требования к точности выполнения полевых и камеральных работ: определяют превышения и отметки точек, измеряют расстояния по нитяному дальномеру.

Вторая часть занятия (2 часа) – выполнение индивидуально-го задания, выдаваемое преподавателем на бригаду из четырех человек. Студенты должны проложить нивелирный ход, состоящий из 3-х точек на геодезическом полигоне (во дворе института), выполнить оценку точности результатов измерений, пограничный контроль полевого журнала и вычислить высотные отметки точек земной поверхности.

Седьмая тема (лабораторная работа №7, 2 часа) – «Анализ точности геодезических измерений». Студенты знакомятся с теорией погрешностей геодезических измерений и математической обработкой полученных результатов, с требованиями технических инструкций по производству геодезических работ, с правилами округления, вычисляют фактические и допустимые невязки теодолитных и нивелирных ходов

Лабораторные занятия проводятся в 4-ом семестре. Объем дисциплины составляет 108 ч, в том числе: 18 ч – лекции, 34 ч – лабораторные занятия, 56 ч – самостоятельная работа. Форма промежуточной аттестации – экзамен. Оформление лабораторных работ производится в «Рабочей тетради» [22] индивидуально каждым студентом и представляется к защите преподавателю.

Условия успешной защиты лабораторных работ: своевременное выполнение заданий, приобретение навыков работы с геодезическими приборами, правильное и аккуратное выполнение чертежей и заполнение ведомостей, ответы на контрольные вопросы.

Знания, полученные студентами при выполнении заданий лабораторного практикума по геодезии, необходимы для дальнейшего изучения маркшейдерии, а также в практической деятельности, связанной с производством измерений по чертежам и решением различных геодезических задач.

Тема 1. Угловые и линейные измерения на топографических планах (лабораторная работа №1)

1.1. Элементы измерений на местности

Все виды геодезических работ можно условно разделить на две группы: полевые и камеральные (рис. 1.1). Основное содержание **полевых работ** – измерение углов и расстояний.



Рис. 1.1. Основные виды геодезических работ

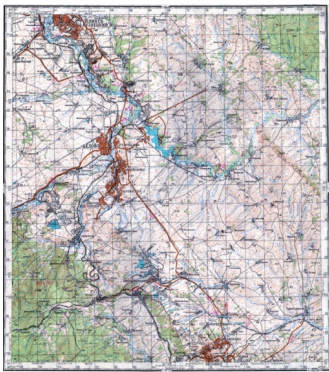
Вычислительный процесс – это математическая обработка результатов измерений. Измерения выполняют по определенным схемам, которые позволяют быстро находить требуемые результаты, а также своевременно контролировать правильность их расчетов. Для облегчения вычислений применяют таблицы, графики, номограммы, ПК.

Графический процесс заключается в составлении чертежей на основе предыдущих измерений и вычислений. При составлении чертежей (планов, карт, профилей) обязательно соблюдаются установленные условные обозначения, свои для разных масштабов и типов чертежей (рис. 1.2).

Картой называется построенное в картографической проекции уменьшенное изображение участка земной поверхности на плоскости, искаженное влиянием кривизны земной поверхности.

Планом называется ортогональная проекция небольшого участка земной поверхности, при изображении которого на плоскости листа бумаги не требуется учет кривизны земной поверхности.

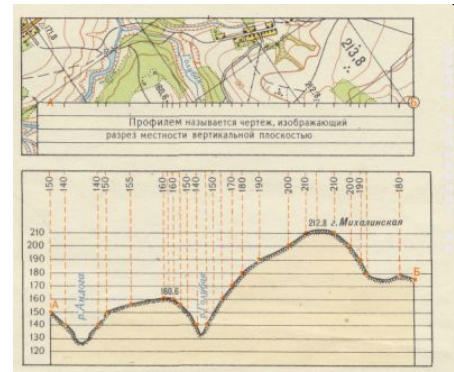
Профиль – вертикальное сечение; разрез какого-либо участка земной поверхности по заданной линии.



Топографическая карта



Топографический план



Профиль местности

Рис. 1.2. Виды топографических чертежей

Чертежи составляются с высокой точностью, т.к. они не являются иллюстрацией к расчетам, а являются конечной самостоятельной продукцией. На основании их в дальнейшем производят другие расчеты, проектирование и перенос проектов на местность. Поэтому очень важно иметь чертеж высокого графического исполнения по проверенным и точным данным. Умение правильно выполнять измерения на картах и планах в соответствии с требуемой точностью необходимо для дальнейшего проектирования на основе картографического материала.

1.2. Виды масштабов

При создании планов, карт и профилей применяют масштабы: численные, линейные и поперечные.

Масштабом плана называется отношение длины линии на плане к горизонтальному проложению соответствующей линии местности.

Численный масштаб записывают в виде дроби, где числитель всегда равен единице, а знаменатель – степень уменьшения изображения предмета по отношению к самому предмету. Например: $1:M = 1:1000$. Аналогичная запись $1/M = 1/1000$ или $\frac{1}{M} = \frac{1}{1000}$. В данном примере $M = 1000$, т.е. степень уменьшения составляет тысячу раз. Для определения численного масштаба берут отношение длины линии на плане (карте) d к горизонтальному проложению этой же линии на местности S :

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{S} \quad (1.1)$$

Численный масштаб – величина безразмерная, поскольку величины d и S сравниваются в одинаковых линейных мерах. Однако длины на местности S принято измерять в метрах, а на планах и картах d – в миллиметрах или сантиметрах. Поэтому на картах и планах ниже подписи численного масштаба приводится *пояснительный (именованный) масштаб*: «В 1 сантиметре 10 метров», что соответствует численному масштабу 1:1000 (в 1 сантиметре чертежа 1000 сантиметров на местности, 1000 сантиметрам соответствует 10 метров). При чтении численного масштаба всегда следует использовать эту цепочку рассуждений, чтобы не допускать ошибок в расчетах. В табл. 1.1 показано соответствие масштабов.

Планы (карты) составляются в стандартных масштабах: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000. Основными масштабами топографических планов являются: 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. Чем больше знаменатель,

тем мельче масштаб карты и, наоборот, чем меньше знаменатель, тем крупнее масштаб карты.

Таблица 1.1

Таблица соответствия масштабов

Масштаб	Соответствие горизонтального проложения линии одному сантиметру отрезка на плане
1:50	50 сантиметров на местности
1:100	1 метр на местности
1:200	2 метра на местности
1:500	5 метров на местности
1:1 000	10 метров на местности
1:2 000	20 метров на местности
1:5 000	50 метров на местности
1:10 000	100 метров на местности
1:25 000	250 метров на местности
1:50 000	500 метров на местности
1:100 000	1000 метров или 1 километр на местности
1:200 000	2 километра на местности
1:300 000	3 километра на местности
1:500 000	5 километров на местности
1:1 000 000	10 километров на местности

Условно карты делят на **мелкомасштабные** 1:1 000 000 – 1:100 000, **среднемасштабные** 1: 50 000 – 1:10 000. Топографические карты масштабов 1:5 000; 1:2 000, а также планы 1:2 000 – 1:500 называются **крупномасштабными**.

При большом объеме работ удобнее пользоваться *линейным масштабом*, который представляет собой графическое изображение численного масштаба: отрезок прямой, разделенный на равные части (рис.1).

Основание масштаба, т.е. длина откладываемых отрезков, принимается обычно 1, 2, 4, 5 сантиметров. Для рассматриваемого примера основание масштаба принимается 2 сантиметра, а величина масштаба составила 20 метров. Разделим левое основание на 10 частей. Одному делению левого отрезка в 2 миллиметра соответствует 2 метрам на местности. Вправо от нуля оцифровываем линейный масштаб в нарастающем порядке. Каждая линия, откладываемая на линейном масштабе, складывается из двух частей:

1) числа целых оснований от правой ножки циркуля до нуля, при этом правая ножка циркуля всегда должна совпадать с границей отрезка на шкале масштаба;

2) числа десятых долей основания, как остаток от нуля до левой ножки циркуля.

На рис. 1.3 показан отрезок, соответствующий на местности длине $S = 60 \text{ м} + (7 \text{ отрезков} \times 2 \text{ м}) = 74 \text{ м}$.

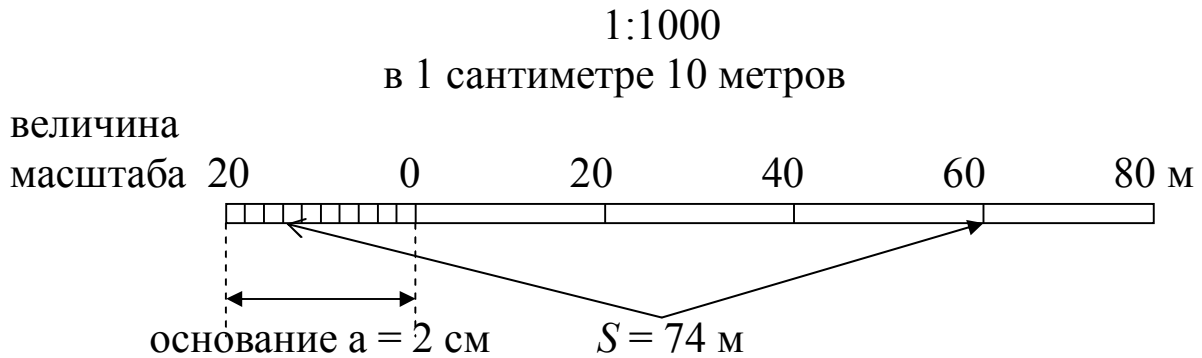


Рис. 1.3. Линейный масштаб

Поперечный масштаб (рис.1.4) применяют для того, чтобы повысить точность линейных измерений.

В его основе лежит линейный масштаб, дополненный горизонтальными линиями, проведенными через произвольные, но равные промежутки. Левую часть разбивают наклонными линиями – трансверсалиями, расстояние между которыми соответствует основанию и численному масштабу. Между нулевой трансверсалью и нулевой вертикальной линией образуется треугольник, постепенно расширяющийся кверху. Первая горизонтальная линия в этом треугольнике характеризует точность масштаба t . Каждая последующая горизонтальная линия будет увеличиваться на величину t . Рекомендуется перед началом работы оцифровать сетку масштаба, чтобы не допускать досадных промахов.

Наиболее часто используют нормальный сотенный поперечный масштаб, когда в разливке участвует 10 горизонтальных линий и 10 трансверселей, основание равно 2 сантиметрам.

Рассмотрим пример измерения длины линии с помощью нормального сотенного поперечного масштаба, соответствующего численному масштабу 1:500 (рис.1.4).

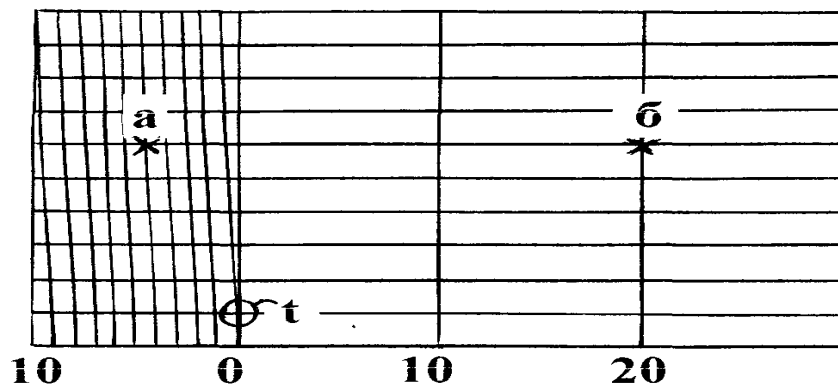


Рис. 1.4. Поперечный масштаб, соответствующий 1:500, измеряемый отрезок а–б равен 24,6 м

При измерении длины линии а–б в масштабе 1:500 (рис.1.4) основанию 2 см соответствует 10 метрам на местности. Оцифровывают двухсантиметровые отрезки влево и вправо от нуля. Подсчитывают, что одному отрезку левой сетки соответствует 1 м (10 м делят на 10 отрезков). Делением этого результата (1 м) на 10 горизонтальных линий определяется величина $t=0,1$ м. Правую иголку циркуля-измерителя (точка б) перемещают по вертикальной линии масштаба до тех пор, пока левая иголка циркуля, расположенная на одной горизонтальной линии с правой, не попадет в пересечение с трансверсалью (точка а). Очевидно, что длина измеряемой линии а–б будет состоять из нескольких отрезков:

- 2 отрезка $\times 10$ м = 20 м;
- 4 отрезка $\times 1$ м = 4 м
- 6 горизонтальных линий $\times 0,1$ = 0,6 м.

Таким образом, длина отрезка а–б: 20 м + 4 м + 0,6 м = 24,6 м.

При пользовании линейными и поперечными масштабами используют циркуль-измеритель (рис.1.5). Если отрезок длиннее графического масштаба, то его измеряют по частям, дважды – в прямом и обратном направлениях, результат суммируют. При пользовании циркулем-измерителем его иголки следует размещать строго по центру точек, обозначающих измеряемый отрезок. При этом диаметр точек должен быть диаметром 0,1–0,2 мм. Что-

бы обеспечить такую точность вычерчивания отрезков, следует пользоваться остро отточенным карандашом.

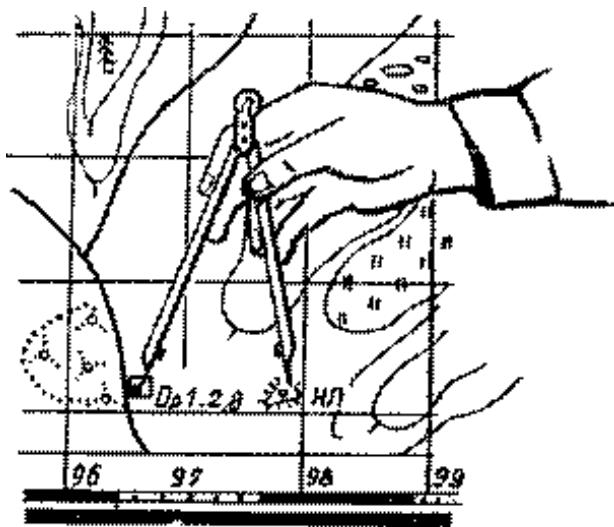


Рис. 1.5. Применение циркуля-измерителя

Разные виды поперечного масштаба награвированы на двух сторонах масштабных линеек: для масштабов, знаменатели которых кратны 1, 2, 5, 25 (рис.1.6). Нормальный сотенный поперечный масштаб также награвирован на широком основании геодезического транспортира.



Рис. 1.6. Масштабная линейка

1.3. Точность масштаба

Точностью построения точки на карте или плане принято считать величину $\pm 0,1$ мм, что соответствует уколу иглы на бумаге. *Точностью масштаба* называется величина диаметра круга местности, соответствующая в масштабе данной карты предельной графической точности 0,1 мм. Так, для масштаба 1:500 точность масштаба составит 0,05 м, 1:1000 – 0,1 м, 1:2000 – 0,2 м,

1:5000 – 0,5 м, 1:10000 – 1,0 м. При работе с картами и планами следует учитывать, что выполнить измерения точнее, чем указано, невозможно.

Точность поперечного масштаба определяется по формуле:

$$t = \frac{aM}{mn}, \quad (1.2)$$

где m – число делений основания масштаба по горизонтали;

n – число делений по вертикали (трансверсали);

a – основание масштаба;

M – знаменатель масштаба.

1.4. Типы решения задач с масштабами

При помощи масштаба можно решить следующие задачи:

1. Определить длину линии на местности S , если известна её длина d на карте масштаба $1/M$:

$$S = dM \quad (1.3)$$

2. По длине горизонтального проложения линии S на местности вычислить длину соответствующего отрезка d на плане масштаба $1/M$.

$$d = \frac{S}{M} \quad (1.4)$$

3. Определить масштаб карты, аэрофотоснимка, если известны горизонтальное проложение линии S и её проекция на карте или аэрофотоснимке d :

$$M = \frac{S}{d} \quad (1.5)$$

1.5. Определение расстояний на картах и планах

Все измеряемые линии на карте и плане можно разделить на прямолинейные и криволинейные. *Прямолинейный отрезок* на карте или плане можно измерить с помощью:

– линейки и численного масштаба;

– циркуля-измерителя и линейного масштаба;

– циркуля-измерителя и поперечного масштаба.

Измерение кривых линий возможно:

– курвиметром;

– циркулем-измерителем с постоянным раствором.

Механический курвиметр КМ, представленный на рис. 1.7, имеет метрическую и дюймовую шкалу. Цена деления метрической шкалы соответствует 0,1 см. Погрешность измерения длин линий не превышает 0,5 %. *Электронный курвиметр* (рис. 1.7) имеет жидкокристаллический дисплей для вывода результатов измерений. Имеет масштабы измерений в милях, морских милях и в километрах. Погрешность измерения длин линий не превышает 0,2 %.



Рис. 1.7. Курвиметры

а) механический

б) электронный

Совместив стрелку курвиметра с нулём, ставят курвиметр на карту и прокатывают колёсико прибора по измеряемой линии, снимают отсчёт. Затем всё повторяют в обратном направлении. При измерении курвиметром слабоизвилистых линий относительная погрешность равна 1–2 %. С увеличением извилистости ошибка возрастает.

Более точно измерить длину извилистой линии можно с помощью *циркуля-измерителя с постоянным раствором* (рис. 1.8).

Перед применением измерителя с постоянным раствором принимают произвольное расстояние между его ножками (порядка 2–5 мм). Таким циркулем необходимо пройти по измеряемой линии в прямом и обратном направлениях. Если число «шагов»

будет различаться не более чем на 1:50 всей длины, найти среднее значение и умножить его на раствор циркуля. Точность измерения повышается с уменьшением раствора циркуля.

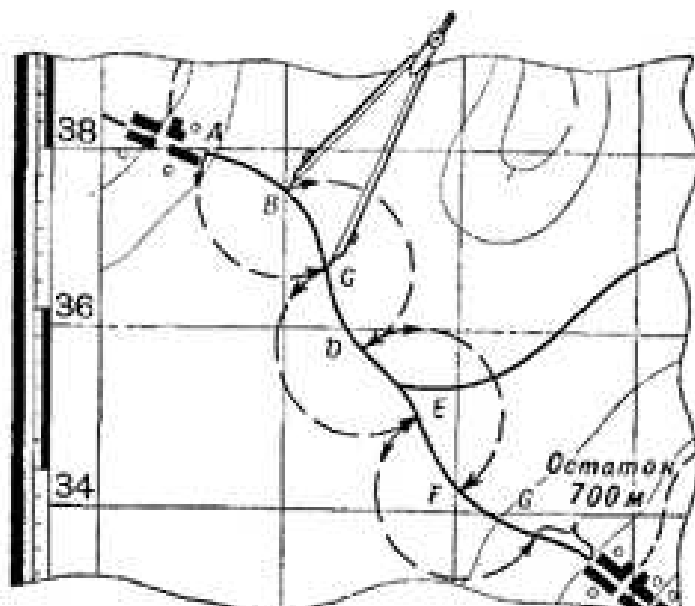


Рис. 1.8. Измерение криволинейного отрезка циркулем-измерителем

1.6. Измерения углов геодезическим транспортиром

Для измерения и построения углов на карте или плане предназначен специальный топографический транспортир (рис.1.9).



Рис. 1.9. Топографический транспортир

Цена деления этого транспортира составляет $0,5^\circ$ или $30''$, а наличие двух шкал $0^\circ-180^\circ$ и $180^\circ-360^\circ$ позволяет измерять горизонтальный угол в пределах от 0° до 360° .

При измерении угла его вершину совмещают с центром транспортира, а одну из сторон угла – с диаметром транспортира. Тогда направление другой стороны угла будет указывать на транспортире деление, равное величине угла в градусах. Аналогичным образом с помощью транспортира можно построить необходимый угол. Дополнительно на прямолинейной пластине транспортира изображается поперечный масштаб.

1.7. Задачи для самостоятельного решения

1. Масштабы карт 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:200 000. Найти точность масштаба каждой из этих карт.

2. Масштаб карты 1:10 000. Какой масштаб вдвое крупнее данного, а какой впятеро мельче?

3. Какому расстоянию на местности S (в метрах) соответствует измеренный в сантиметрах отрезок d на картах (планах) масштабов соответственно 1:25 000, 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные для решения задачи 3

Вариант	Отрезок, d	Вариант	Отрезок, d	Вариант	Отрезок, d
1	19,4	11	7,2	21	6,8
2	7,7	12	20,3	22	7,8
3	5,0	13	12,8	23	22,7
4	3,6	14	10,6	24	8,6
5	14,5	15	17,0	25	25,5
6	5,4	16	6,2	26	9,8
7	7,9	17	9,0	27	10,7
8	13,7	18	11,5	28	4,6
9	2,9	19	15,8	29	22,6
10	9,4	20	18,4	30	14,2

4. Построить линейный масштаб, соответствующий заданному численному масштабу и показать на нем отрезок d , равный горизонтальному проложению линии S на местности. Основание масштаба выбрать самостоятельно с расчетом, чтобы величина масштаба выражала целое число метров. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Исходные данные для решения задачи 4

Вариант	Длина линии, м	Масштаб	Вариант	Длина линии, м	Масштаб
1	104	1:500	16	108	1:1 000
2	61	1:1 000	17	92	1:2 000
3	16	1:500	18	900	1:25 000
4	135	1:1 000	19	58	1:1 000
5	92	1:2 000	20	137	1:1 000
6	1165	1:5 000	21	29	1:1 000
7	69	1:1 000	22	197	1:1 000
8	107	1:1 000	23	495	1:5 000
9	37	1:500	24	94	1:2 000
10	3050	1:25 000	25	112	1:2 000
11	248	1:1 000	26	260	1:5 000
12	715	1:5 000	27	650	1:10 000
13	1375	1:25 000	28	342	1:2 000
14	110	1:500	29	34	1:1 000
15	176	1:2 000	30	28	1:500

5. Определить масштаб карты, если известны горизонтальное проложение линии S (в метрах) и её проекция на карте d (в миллиметрах). Исходные данные взять из табл. 1.4.

Таблица 1.4

Исходные данные для решения задачи 5

Вариант	S , м	d , мм	Вариант	S , м	d , мм	Вариант	S , м	d , мм
1	631	25,24	11	166	33,2	21	34,4	17,2
2	38	19	12	276	138	22	475	47,5
3	15,4	15,4	13	9000	18	23	64,7	64,7
4	664	66,4	14	142,2	71,1	24	296	59,2
5	4000	80	15	331	13,24	25	162,8	81,4

Вариант	S , м	d ,мм	Вариант	S , м	d ,мм	Вариант	S , м	d ,мм
6	757	75,7	16	1856	37,12	26	79,7	79,7
7	381	15,24	17	121	12,1	27	95,9	95,9
8	96	19,2	18	61	30,5	28	360	72
9	20,1	20,1	19	109	10,9	29	256	51,2
10	176	88	20	38	19	30	906	90,6

6. Участок застройки прямоугольной формы на плане масштаба 1/М имеет размеры: длина A , ширина B . Определить фактические размеры участка и его площадь. Исходные данные приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Исходные данные для решения задачи 6

Вариант	Размеры участка		Масштаб	Вариант	Размеры участка		Масштаб
	длина, A , м	ширина, B , м			длина, A , м	ширина, B , м	
1	210	100	1:50 000	16	224	83	1:10 000
2	67	41	1:1 000	17	76	49	1:25 000
3	68	92	1:10 000	18	83	54	1:2 000
4	28	43	1:1 000	19	249	102	1:50 000
5	184	82	1:5 000	20	126	103	1:2 000
6	66	81	1:2 000	21	92	97	1:50 000
7	42	41	1:10 000	22	200	44	1:5 000
8	248	46	1:5 000	23	247	62	1:5 000
9	58	43	1:1 000	24	34	84	1:50 000
10	211	64	1:2 000	25	234	61	1:10 000
11	100	55	1:5 000	26	107	47	1:50 000
12	210	44	1:25 000	27	146	61	1:10 000
13	185	71	1:2 000	28	191	77	1:1 000
14	119	39	1:1 000	29	241	54	1:2 000
15	65	97	1:50 000	30	188	81	1:50 000

1.8. Контрольные вопросы

1. Перечислите виды геодезических работ, их содержание.
2. Какие виды топографических чертежей вы знаете?
3. Что называется масштабом?
4. Перечислите виды карт в зависимости от их масштаба?

5. Напишите формулу точности поперечного масштаба.
6. Перечислите типы задач, решаемых с помощью численного масштаба?
7. Что такое пояснительный масштаб?
8. Перечислите способы измерения длин линий на плане. Охарактеризуйте их точность.
9. Что такое курвиметр? Виды курвиметров.
10. Перечислите особенности топографического транспорта.

ТЕМА 2. Определение координат точек на топографических планах (лабораторная работа №2)

2.1. Ориентирование линий: азимуты, дирекционные углы, румбы, сближение меридианов, склонение магнитной стрелки

Ориентированием линии называется определение её положения или направления относительно исходных ориентиров. За исходные принимаются направления (рис. 2.1):

- 1) истинного (географического) меридиана;
- 2) магнитного меридиана;
- 3) осевого меридиана, т.е. оси X прямоугольной системы координат.

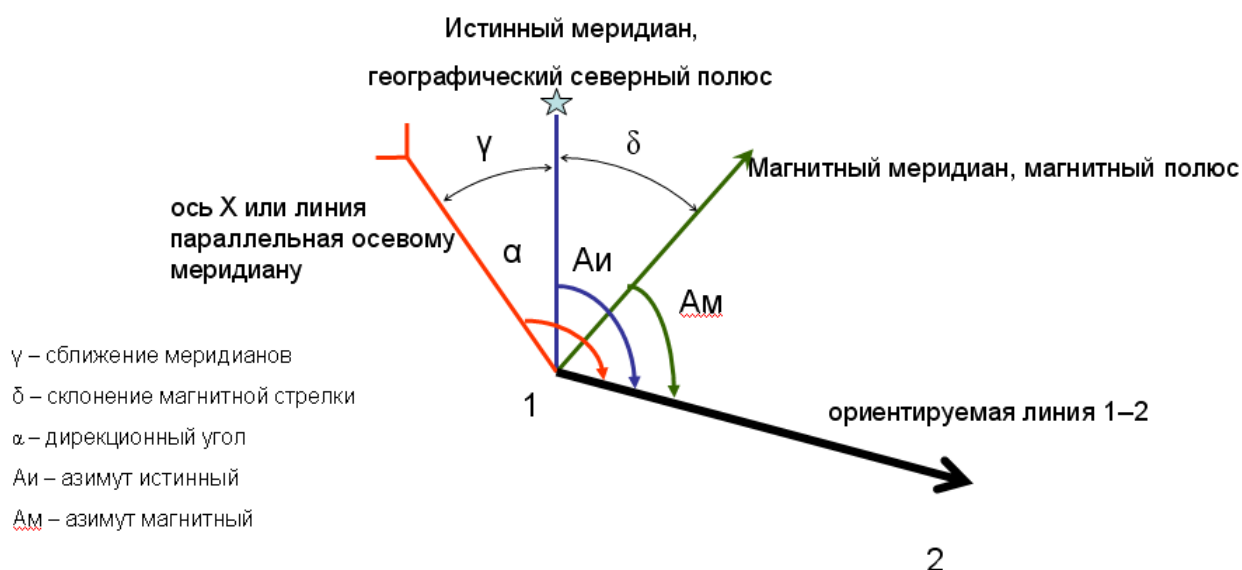


Рис. 2.1. Исходные ориентиры

Для ориентирования линий служат азимуты: магнитный A^M , истинный $A^И$, дирекционный угол α и румб r .

Азимут – горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления исходного меридиана до направления заданной линии. Отсчитывается от 0° до 360° . Азимут называется *истинным* $A^И$, если он отсчитан от направления

истинного меридиана, и *магнитным* A^M , если он определен от магнитного меридиана.

В геодезии принято различать прямое и обратное направление линий местности. Так, для линии АВ (рис. 2.2) движение из точки А в точку В будет прямым, а движение из точки В в точку А – обратным. Аналогично различают прямые и обратные азимуты для линий. Прямой и обратный истинный азимут отличаются на $180^\circ \pm \gamma$, что создает трудности в его измерении.

На местности направление истинного меридиана определяется из астрономических наблюдений или с помощью гиротеодолита.

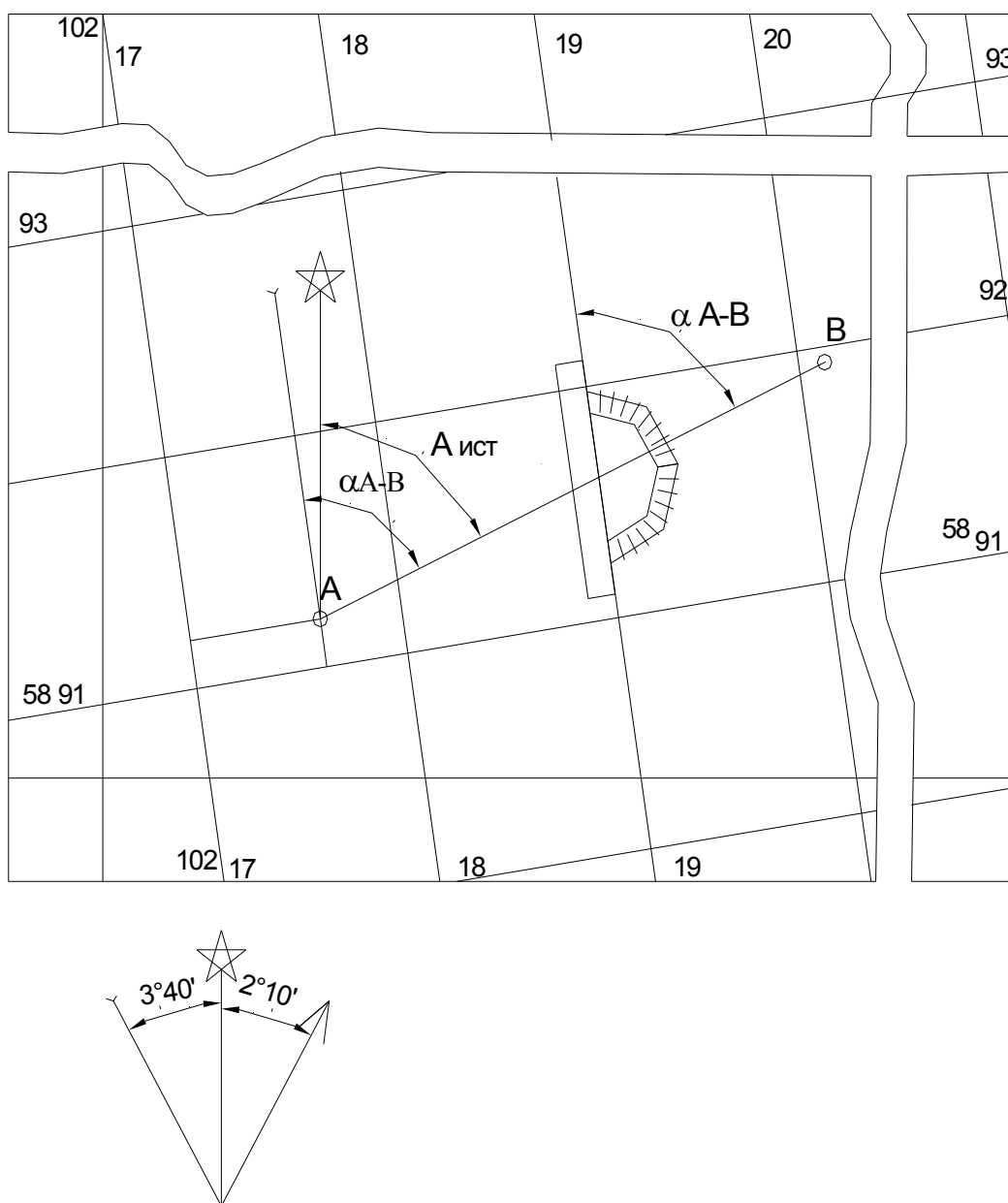


Рис. 2.2. Фрагмент карты

На карте направление истинного меридиана определяется боковыми сторонами рамки планшета. Для нахождения истинного азимута необходимо перенести это направление в начальную точку заданной линии A и измерить полученный угол A^u геодезическим транспортиром (рис. 2.2).

Истинный азимут можно определить другим способом. Для этого нужно воспользоваться схемой исходных направлений, расположенной под рамкой в юго-западном (ЮЗ) углу карты (рис.2.2) и рассчитать величину через другие ориентирные углы. Угол между осью X (линией сетки) и истинным меридианом называется **углом сближения меридианов** γ . Сближение меридианов отсчитывается от истинного меридиана и может быть *восточным* (со знаком плюс) или *западным* (со знаком минус). На рис. 2.2 приведена схема, где $\gamma = 3^\circ 40'$.

Связь истинного азимута с дирекционным углом выражается:

$$A^u = \alpha + (\pm \gamma) \quad (2.1)$$

Направление магнитного меридиана на местности определяется направлением оси магнитной стрелки компаса. Однако точность этих измерений невысока (несколько минут), так как склонение магнитной стрелки непостоянно. Несовпадение истинного и магнитного меридиана в данной точке называется **склонением магнитной стрелки** δ . Если магнитный меридиан отклоняется к востоку от истинного, склонение считается восточным и знак склонения будет (+), если склонение западное, оно будет отрицательным, со знаком (-). На территории России склонение меняется от места к месту в пределах от -15° до $+25^\circ$. В аномальных районах эти изменения так велики, что магнитной стрелкой пользоваться нельзя. Кроме того, склонение изменяется во времени, испытывая суточные, годовые и вековые изменения. Склонение в течение суток может измениться до 1° . Вековые изменения могут достигать десятков градусов.

Отклонение стрелки компаса по вертикали называется **наклонением**. Наклонение помогает находить магнитные аномалии и проводить разведку полезных ископаемых.

Направление магнитного меридиана на карте не показывается. Поэтому магнитный азимут линии можно определить только по схеме направлений (рис.2.2). В нашем случае угол $\delta = + 2^{\circ}10'$.

Магнитный азимут линии можно вычислить по формулам:

$$A^M = A^U - (\pm\delta) \quad \text{или} \quad (2.2)$$

$$A^M = \alpha + (\pm\gamma) - (\pm\delta) \quad (2.3)$$

Иногда для ориентирования линий на местности вместо азимутов пользуются румбами.

Румбом называют острый угол между ближайшим (северным или южным) направлением меридиана и заданным направлением. Значение румбов меняется от 0° до 90° . Как показано на рис.2.3, направлениями СЮ и ЗВ плоскость делится на четыре четверти: северо-восточную СВ (1 четверть), юго-восточную ЮВ (2 четверть), юго-западную ЮЗ (3 четверть) и северо-западную СЗ (4 четверть).. Полное наименование румба складывается из названия четверти и табличного угла, т.е. угловой величины румба. Например: румб линии 0–1 на рис. 2.3 будет: $r = \text{СВ}:60^{\circ}00'$.

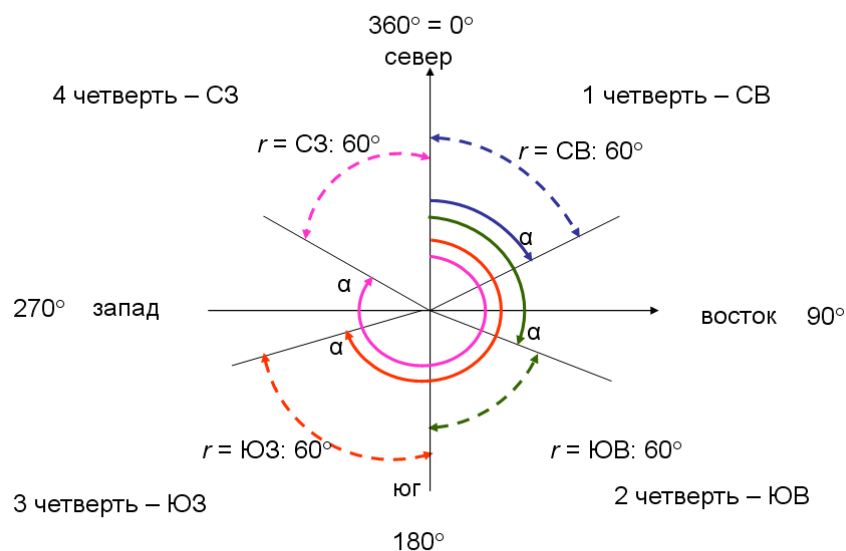


Рис. 2.3. Румбы и четверти

Румбы могут быть *истинные, магнитные и осевые* – в зависимости от исходного направления. Связь между румбами и азимутами приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Связь между румбами и азимутами

Четверти и их наименования	Значения дирекционных углов (азимутов)	Связь румбов (табличных углов) с дирекционными углами	Знаки приращений координат	
			ΔX	ΔY
1 – СВ	$0^\circ - 90^\circ$	$r = \alpha$	+	+
2 – ЮВ	$90^\circ - 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
3 – ЮЗ	$180^\circ - 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
4 – СЗ	$270^\circ - 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

Наиболее часто на карте и плане измеряют **дирекционный угол α** – горизонтальный угол, отсчитываемый от положительно-го (северного) направления оси X по ходу часовой стрелки до направления заданной пинии, он имеет значения от 0° до 360° .

Для измерения дирекционных углов используют линии координатной сетки, нанесенные на карте параллельно оси X . Вертикальную линию километровой сетки переносят в начальную точку линии и измеряют полученный угол (рис. 2.2). Дирекционный угол заданной линии можно замерить в любой точке её пересечения с вертикальной линией сетки, при необходимости продлив заданную линию. Величину угла следует измерять с учетом цены деления геодезического транспортира, округляя результат до значения, кратного $30'$.

У заданной линии $A-B$ направление от точки A к точке B называют *прямым*, а от точки B к точке A – *обратным*. Соответственно говорят о дирекционных углах прямом и обратном, которые связаны между собой зависимостью:

$$\alpha_{A-B} = \alpha_{B-A} \pm 180^\circ \quad (2.4)$$

Если известны (либо определены графически) координаты X_A, Y_A и X_B, Y_B начальной и конечной точек линии, то дирекционный угол может быть рассчитан по формуле обратной геодезиче-

ской задачи . Точность аналитического определения дирекционного угла в этом случае выше ($\pm 1''$).

На практике обычно находят дирекционный угол направления, а затем, используя формулы (2.1–2.3), определяют азимуты истинный, магнитный или румбы.

Рассмотрим пример, когда дирекционный угол $\alpha_{A-B} = 73^{\circ}00'$; схема исходных направлений соответствует рис. 2.2. Тогда

$$A_{A-B}^{\text{И}} = \alpha_{1-2} + (\pm\gamma) = 73^{\circ}00' + (-3^{\circ}40') = 69^{\circ}20';$$

$$A_{A-B}^{\text{М}} = A_{A-B}^{\text{И}} - (\pm\delta) = 69^{\circ}20' - 2^{\circ}10' = 67^{\circ}10';$$

$$r_{A-B}^{\alpha} = \text{СВ}:73^{\circ}00'; r_{A-B}^{\text{И}} = \text{СВ}:69^{\circ}20'; r_{A-B}^{\text{М}} = \text{СВ}: 67^{\circ}10'.$$

2.2. Ориентирование карты с помощью буссоли

Ориентировать карту – значит расположить её так, чтобы направления линий на ней были параллельны соответствующим линиям местности.

Ориентирование по местным предметам, выполняют, имея на руках карту. Сначала на ней по местным предметам определяют положение точки стояния. Для этого используют четкие изображения местных предметов на карте, такие как постройки, перекрестки дорог, контур реки и т.д. (рис. 2.4).

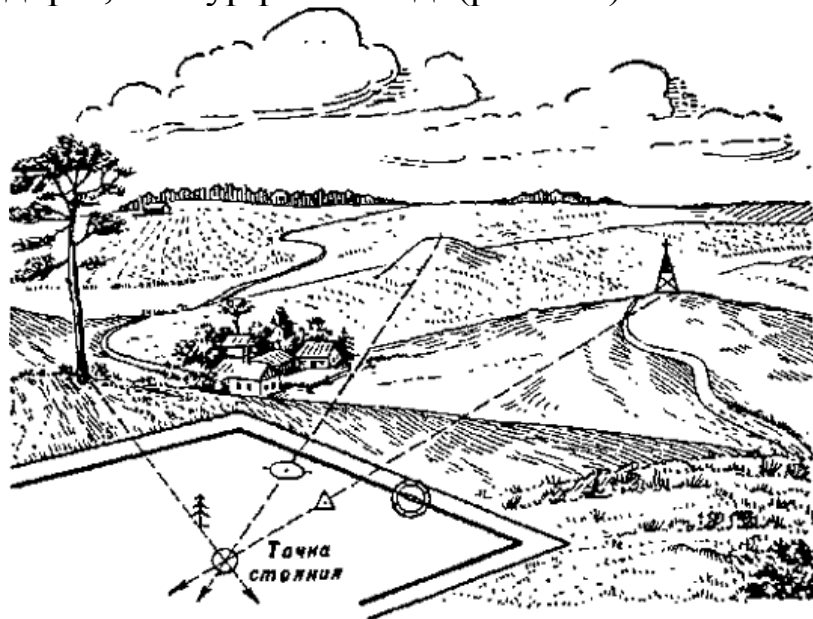


Рис. 2.4. Ориентирование карты по линиям местности

Располагаясь на местности вблизи опознанного на карте предмета, прикладывают линейку к точке стояния и расположенному вблизи и изображенному на карте местному предмету. Закрепляют карту на планшете из картона или фанеры и вращают планшет, пока линия визирования вдоль ребра линейки не совпадет с направлением на выбранный предмет местности (рис. 2.4). Контролируют положение карты по другому местному предмету. Карту над точкой стояния располагают горизонтально.

Так же ориентирование карты на местности производят либо компасом или буссолью. **Буссоль** – это геодезический прибор, предназначенный для определения магнитных азимутов (румбов). Принципиально буссоль устроена так же, как компас, но при работе с ней получаются более точные результаты. Буссоли бывают круглые (рис. 2.5) или прямоугольной формы (ориентир-буссоли) (рис. 2.6).

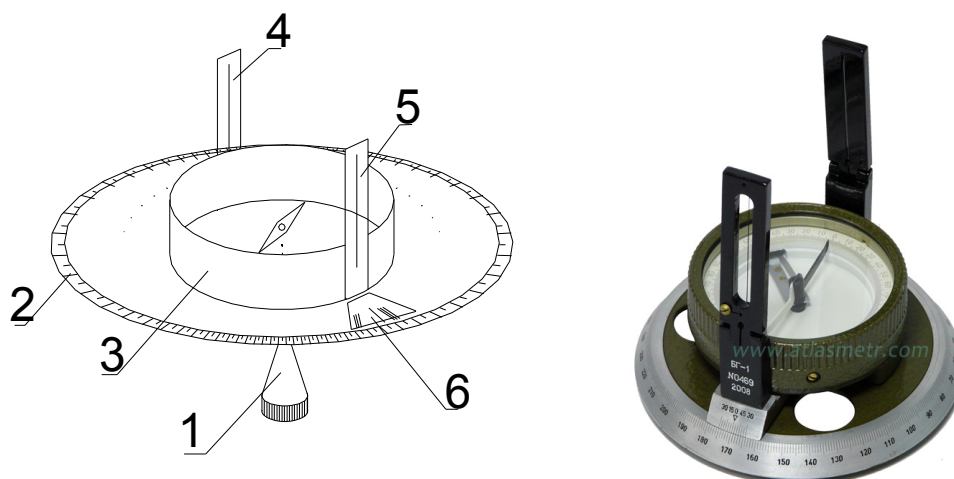


Рис. 2.5. Буссоль круглая

Основные части круглой буссоли (рис. 2.5): кольцо с делениями 2 и намагниченная стрелка, помещенная в коробку 3. При определении азимута линии буссоль устанавливают втулкой 1 на штатив или кол на одном конце линии, совмещают нуль алидады 6 с нулем лимба 2, открепляют стрелку и вращением лимба ориентируют буссоль по направлению магнитного меридиана. Затем движением алидады через щель 5 глазного и нить 4 предметного диоптров наводят на второй конец линии и записывают по лимбу азимут линии.



Рис. 2.6. Ориентир-буссоль

Для ориентирования карты удобнее использовать ориентир-буссоль прямоугольной формы (рис. 2.6).

Ориентирование карты с помощью буссоли или компаса можно выполнить:

- а) по истинному меридиану;
- б) по оси X .

В первом случае на горизонтально расположенную карту накладывается буссоль (рис.2.7, а), и совмещают боковую грань её (параллельную нулевому диаметру СЮ) с восточной или западной стороной рамки планшета, т.е. с истинным меридианом. Учитывая схему исходных направлений (рис.2.2), в соответствии с которой склонение магнитной стрелки восточное, $\delta = + 2^{\circ}10'$, поворачивают карту вместе с буссолью до тех пор, пока северный конец магнитной стрелки не остановится на отсчете $2^{\circ}10'$ (рис. 2.7, б). Если склонение магнитной стрелки западное, то нужный отсчет определится как $(360^{\circ} - \delta)$. При использовании ориентир-буссоли следует учесть румбическую оцифровку шкалы.

При ориентировании карты по оси X буссоль прикладывается нулевым диаметром СЮ к вертикальной линии километровой сетки (рис. 2.7, б). Подсчитывают суммарное значение углов сближения меридианов γ и склонения магнитной стрелки δ :

$$\lambda + \delta = 3^{\circ}40' + (+ 2^{\circ}10') = 5^{\circ}50'$$

Поворачивают карту вместе с буссолью до тех пор, пока северный конец стрелки не покажет отсчет $(\gamma + \delta)$.

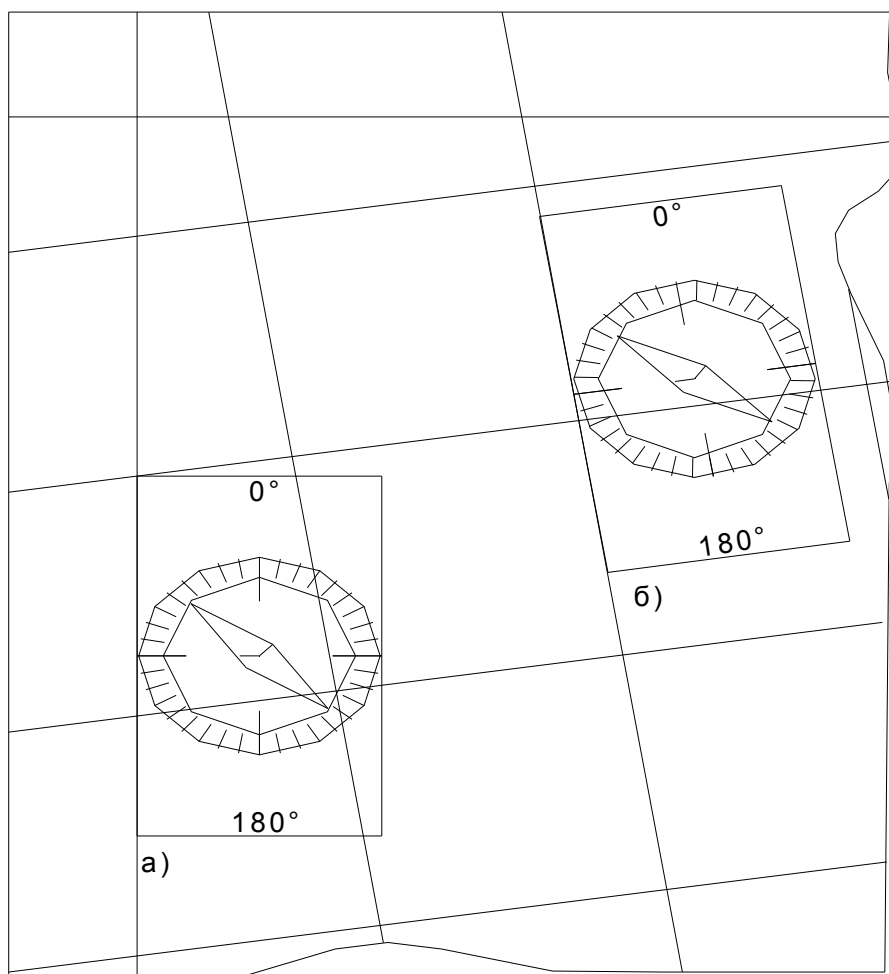


Рис. 2.7. Ориентирование карты с помощью буссоли

Ориентирование можно выполнить аналогично, используя горный компас, устройство которого приведено на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Горный компас

2.3. Определение прямоугольных координат на топографической карте масштаба 1:10 000

Для определения прямоугольных координат X , Y используют сетку квадратов, которую принято называть *километровой сеткой карты* или *сеткой прямоугольных координат*.

На картах масштаба 1:10 000 и мельче координатная сетка подписывается через 1, 2 или 4 километра, на планах наносится стандартная сетка размером 10×10 см. Линии километровой сетки подписываются на карте между внутренней рамкой и градусной сеткой (рис. 2.9).

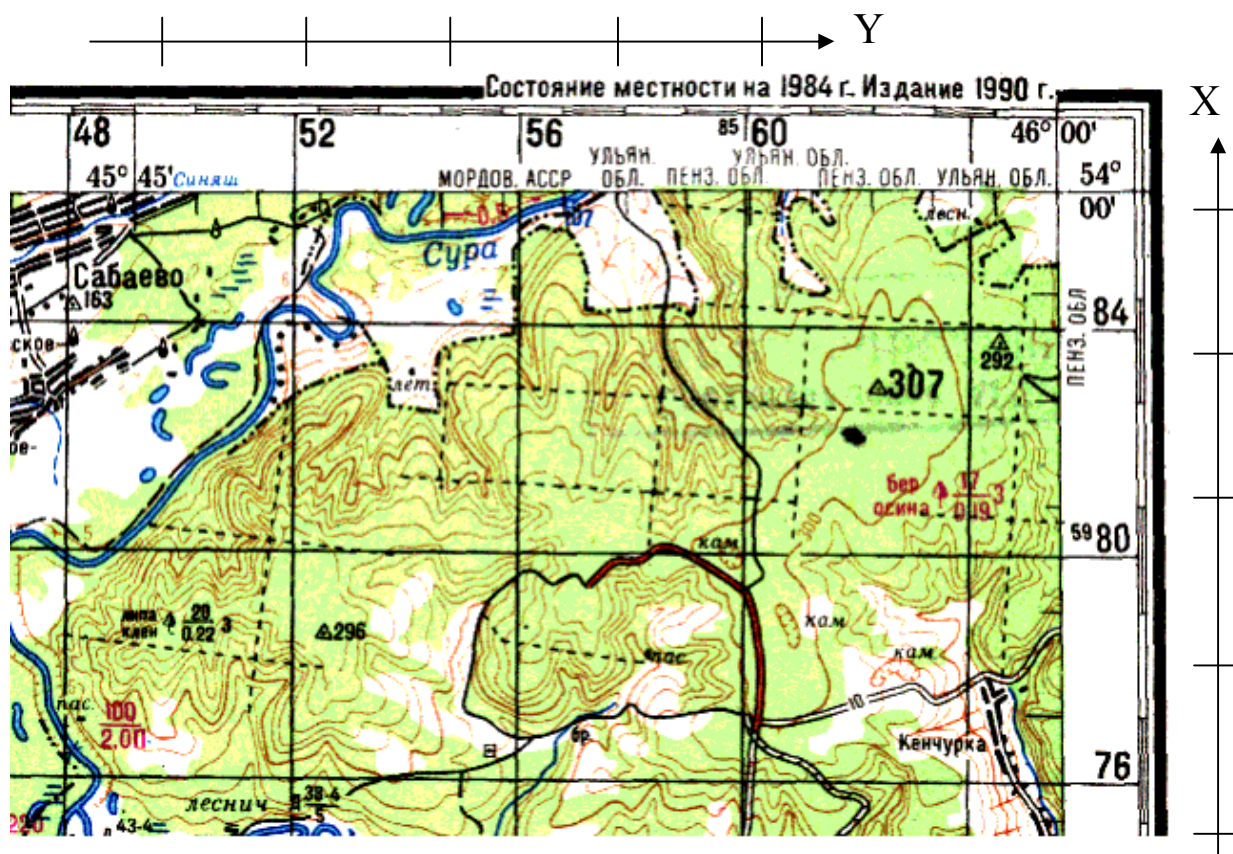


Рис. 2.9. Сетка прямоугольных координат на мелкомасштабной карте

Полное число километров по оси X подписывается только у крайних – северной и южной линиях сетки, у промежуточных линий – только последние две–три цифры. Тысячи и сотни километров при написании полного числа пишут шрифтом в два раза

мельче, чем километры в пределах сотни. Например, надпись 7449 означает, что от экватора расстояние равно 7449 км.

Счет ординат точек ведут от осевого меридиана к востоку (положительные) и к западу (отрицательные). Чтобы избавиться от отрицательных координат Y , осевому меридиану зоны условно приписывают ординату $+500$ км и вычисляют условные ординаты точек как алгебраическую сумму $+500$ км и действительных ординат этих точек. Для однозначного определения точки на земной поверхности впереди условных ординат пишут номер зоны.

Вертикальные линии километровой сетки имеют подписи, соответствующие условным ординатам. Полное число километров подписывают только на крайних – западной и восточной вертикальных линиях, на промежуточных линиях – в пределах сотни километров. Ордината 4018 км ($4\ 018$) означает: 4 – номер зоны, а 018 км – условная ордината, соответствующая действительной ординате $018 - 500 = -482$ км.

Чтобы облегчить нахождение точки на карте, называют последние две цифры полных километров абсцисс и ординат юго-западного угла того квадрата, в котором находится искомая точка. Например, на рис.2.10 вершина г. Голая (точка А) находится в квадрате 65–11.

Для измерения прямоугольных координат заданной точки вначале определяют в метрах координаты юго-западного угла квадрата X_0 и Y_0 . Затем из точки опускают перпендикуляры на южную и западную стороны квадрата и измеряют их в масштабе карты, получая таким образом приращения координат ΔX и ΔY (рис. 2.10). Прямоугольные координаты точки А вычисляют по формулам:

$$X_A = X_0 \pm \Delta X \quad (2.5)$$

$$Y_A = Y_0 \pm \Delta Y \quad (2.6)$$

В рассматриваемом примере (рис. 2.10) координаты ЮЗ угла:

$$X_0 = 6065 \text{ км} = 6\ 065\ 000 \text{ м};$$

$$Y_0 = 4311 \text{ км} = 4\ 311\ 000 \text{ м};$$

$$\text{приращения } \Delta X = 873 \text{ м}; \quad \Delta Y = 816 \text{ м}.$$

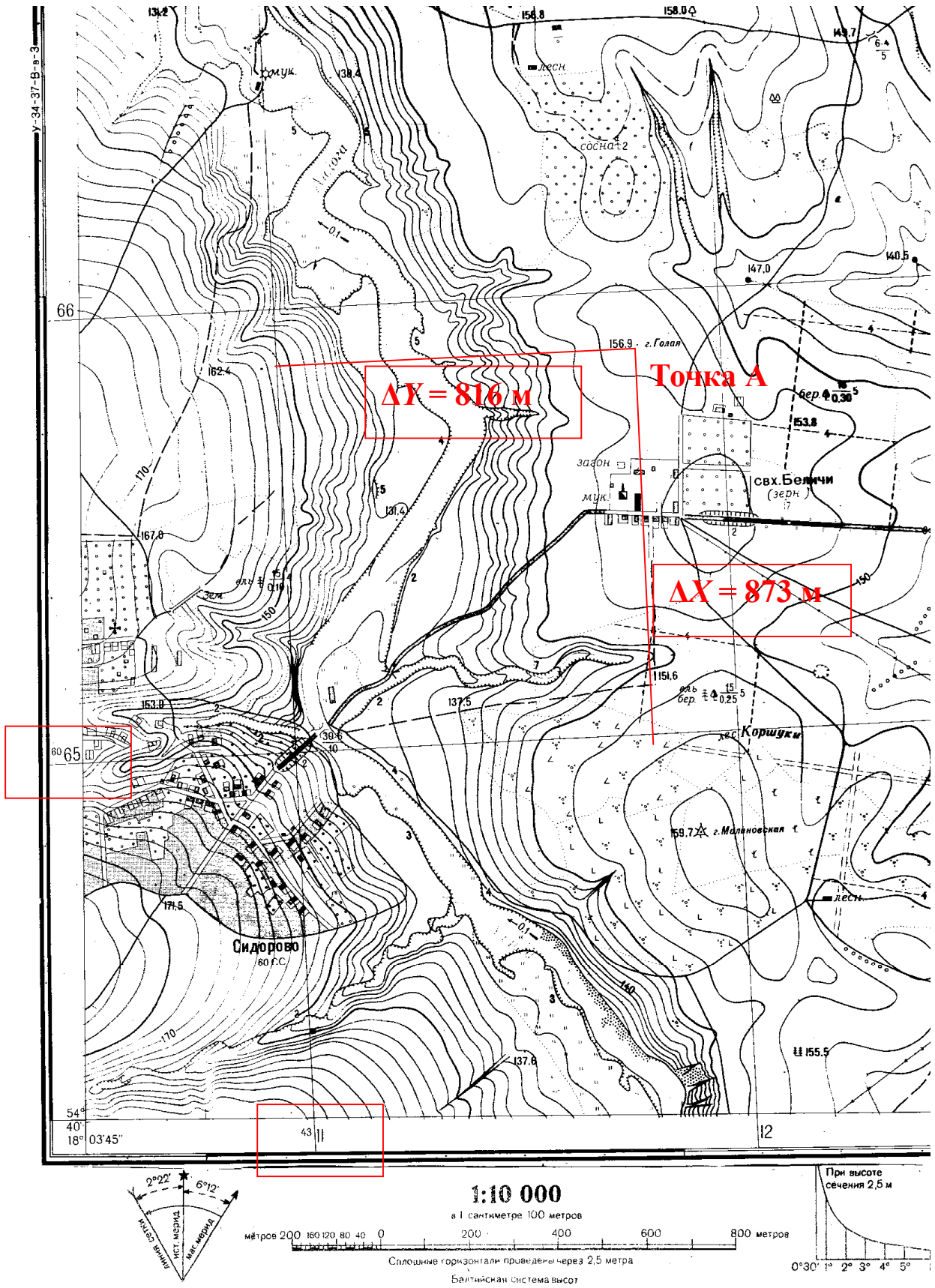


Рис. 2.10. Определение прямоугольных координат по карте

Абсцисса точки A (вершина г. Голая) определяется:

$$X_A = 6\,065\,000 \text{ м} + 873 \text{ м} = 6\,065\,873 \text{ м}.$$

Условная ордината: $Y_A = 4\,311\,000 \text{ м} + 846 \text{ м} = 4\,311\,846 \text{ м}.$

Контроль вычислений осуществляют путем аналогичного измерения приращений от данной точки до северной и восточной сторон квадрата. Повторные значения координат вычисляют по формулам:

$$X'_A = X'_0 \pm \Delta X' \quad (2.7)$$

$$Y'_A = Y'_0 \pm \Delta Y' \quad (2.8)$$

Если расхождения не превышают величины $3\text{М} \cdot 10^{-4}$, то за окончательный результат принимают среднеарифметическое значение.

2.4. Решение прямой и обратной геодезических задач

Главная геодезическая задача выражается в двух видах: как прямая и обратная. Для понимания ее геометрического смысла рассмотрим линии 1–2, приведенную на рис. 2.11.

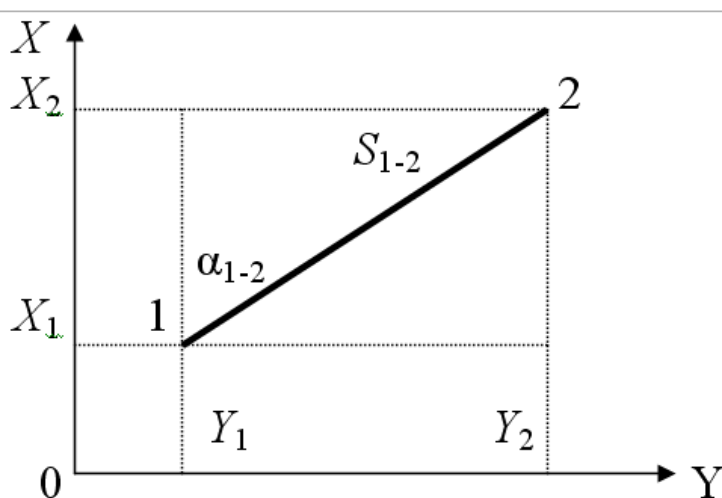


Рис. 2.11. Схема для прямой и обратной геодезических задач

2.4.1. Прямая геодезическая задача

Дано:

- координаты точки 1 (X_1 и Y_1);
- дирекционный угол линии 1–2 (α_{1-2});
- горизонтальное проложение линии 1–2 (S_{1-2}).

Найти: координаты точки 2 (X_2 и Y_2).

В соответствии с рис. 2.11 координаты точки определяются по формулам:

$$X_2 = X_1 + \Delta X = X_1 + S_{1-2} \cos \alpha_{1-2} \quad (2.9)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y = Y_1 + S_{1-2} \sin \alpha_{1-2} \quad (2.10)$$

В формулах (2.9–2.10) можно использовать функции синуса и косинуса румба дирекционного угла.

2.4.2. Обратная геодезическая задача

Дано:

– координаты точек 1 (X_1, Y_1) и 2 (X_2, Y_2).

Найти:

– горизонтальное проложение S_{1-2} линии 1 – 2;

– дирекционный угол α_{1-2} стороны.

Расчет неизвестных величин ведут, опираясь на формулы:

$$\operatorname{arctg} \alpha_{1-2} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (2.11)$$

$$S_{1-2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (2.12)$$

или

$$S_{1-2} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{1-2}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{1-2}} \quad (2.13)$$

Угол, полученный по формуле (21), представляет собой табличный угол. Для перехода к дирекционному углу необходимо учесть знаки приращений координат ΔX и ΔY . Определив их с помощью четвертей (табл. 6), вычисляют дирекционный угол стороны.

2.5. Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить для каждого случая обратный дирекционный угол и румб. Исходные данные приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные для решения задачи 7

Вариант	α_{1-2}	α_{1-3}	α_{1-4}
1	16°40'52"	148°58'26"	47°58'39"
2	65°28'13"	246°15'20"	12°54'23"
3	180°06'53"	324°45'51"	23°13'14"
4	159°46'12"	220°16'13"	26°41'27"
5	98°56'25"	123°45'46"	18°43'52"
6	14°45'46"	34°54'50"	19°08'04"
7	359°36'21"	16°45'12"	2°05'59"
8	23°15'59"	23°49'57"	24°04'01"
9	25°46'58"	25°46'58"	159°19'20"
10	5°45'21"	26°21'42"	348°12'39"
11	145°39'49"	36°16'26"	34°05'46"
12	269°53'35"	14°56'24"	167°58'26"
13	357°22'50"	50°55'43"	17°14'52"
14	175°03'24"	44°20'35"	339°19'02"
15	54°29'10"	14°17'30"	209°46'58"
16	65°28'13"	324°45'51"	26°41'27"
17	159°46'12"	123°45'46"	19°08'04"
18	14°45'46"	16°45'12"	24°04'01"
19	359°36'21"	23°49'57"	159°19'20"
20	16°40'52"	246°15'20"	23°13'14"
21	180°06'53"	220°16'13"	18°43'52"
22	98°56'25"	34°54'50"	2°05'59"
23	23°15'59"	25°46'58"	348°12'39"
24	5°45'21"	36°16'26"	167°58'26"
25	269°53'35"	50°55'43"	339°19'02"
26	175°03'24"	14°17'30"	47°58'39"
27	5°45'21"	14°56'24"	17°14'52"
28	357°22'50"	44°20'35"	209°46'58"
29	54°29'10"	34°05'46"	26°21'42"
30	145°39'49"	26°41'27"	148°58'26"

2. По карте масштаба 1:10 000 измерить дирекционный угол линии, заданной в табл. 2.3,. Вычислить азимуты истинный, магнитный, румбы истинный, магнитный, осевой.

Таблица 2.3

Исходные данные для решения задачи 2

Вариант	Линия	Вариант	Линия	Вариант	Линия
1	14–15	11	22–23	21	9–17
2	19–15	12	19–23	22	2–16
3	17–20	13	19–20	23	4–14
4	12–17	14	15–22	24	12–17
5	9–17	15	7–15	25	22–23
6	2–16	16	17–20	26	19–23
7	10–13	17	12–17	27	14–23
8	14–16	18	10–13	28	14–15
9	4–14	19	14–16	29	19–15
10	14–23	20	15–22	30	7–15

3. На карте измерены румбы направлений относительно вертикальной линии километровой сетки, известны значения сближения меридианов и склонения магнитной стрелки. Вычислить дирекционный угол, истинный и магнитный азимуты линий и сделать схематический чертеж взаимного расположения истинного, магнитного меридианов и линии сетки, используя табл. 2.4

Таблица 2.4

Исходные данные для решения задачи 3

Вариант	Румб	γ	δ	Вариант	Румб	γ	δ
1	ЮЗ:16°30'	+1°28'	-6°00'	16	ЮЗ:23°45'	-2°02'	+1°05'
2	СЗ:41°22'	+2°17'	+2°40'	17	ЮВ:32°21'	+3°47'	+4°12'
3	ЮВ:14°45'	+5°45'	-2°17'	18	СЗ:58°58'	-2°08'	+2°14'
4	ЮЗ:46°45'	-1°12'	-2°40'	19	СВ:47°56'	-4°23'	+4°00'
5	СЗ:43°56'	-0°46'	-5°20'	20	ЮВ:64°52'	+2°04'	-1°04'
6	СВ:67°45'	-2°54'	+5°40'	21	ЮЗ:28°19'	-2°17'	+2°08'
7	ЮЗ:86°49'	+2°42'	-2°47'	22	СВ:59°39'	+3°28'	-3°19'
8	ЮЗ:26°47'	+1°20'	-4°44'	23	СЗ:82°45'	-1°34'	-4°30'
9	СЗ:85°25'	-3°45'	-3°00'	24	ЮЗ:67°30'	+2°12'	-4°00'
10	СЗ:81°10'	-3°34'	+1°23'	25	ЮВ:54°15'	-0°28'	+6°00'
11	СЗ:45°45'	-4°45'	+4°00'	26	СЗ:03°00'	+1°57'	+6°30'
12	СЗ:37°20'	+1°05'	-4°21'	27	ЮЗ:78°15'	-2°42'	-5°30'
13	ЮВ:14°54'	-4°10'	-0°30'	28	СВ:29°45'	+0°48'	+5°00'
14	СВ:54°23'	-1°30'	+1°20'	29	СЗ:54°30'	-2°12'	+6°30'
15	СЗ:21°09'	+4°20'	+2°41'	30	ЮВ:46°00'	-1°23'	-6°00'

4. Ориентировать карту на местности с помощью ориентир-буссоли.

5. Ординаты точек относительно осевого меридиана 12 зоны имеют вид: 1) +43151,16 м; 2) –35179,19 м. Записать приведенные ординаты тех же точек.

6. Вычислить координаты точки 2 по данным, приведенным в табл. 2.5: координатам точки 1, длине линии S_{1-2} , дирекционному углу α_{1-2} .

Таблица 2.5

Исходные данные для решения задачи 6

Вариант	Координаты		Длина линии, S_{1-2} , м.	Дирекционный угол, α_{1-2}
	X_1 , м.	Y_1 , м.		
1	2411,57	1133,45	145,45	345°20'
2	1763,01	1694,07	172,58	265°30'
3	4412,98	1466,31	353,51	352°49'
4	2410,96	1112,40	271,55	349°35'
5	1892,85	1386,55	363,73	261°73'
6	3511,10	871,63	238,65	332°28'
7	1916,43	1238,65	197,01	245°29'
8	4091,55	1849,67	325,95	320°27'
9	2089,83	1505,63	324,20	96°54'
10	1595,55	1541,71	327,94	225°25'
11	4151,14	1003,44	60,06	194°19'
12	1172,54	1353,80	331,40	318°34'
13	1881,06	960,58	279,26	286°17'
14	2931,10	909,81	161,04	187°32'
15	2287,87	1662,88	206,86	109°37'
16	3841,27	1804,36	99,71	27°24'
17	2554,88	1313,02	298,18	261°57'
18	1699,27	1390,42	187,10	27°18'
19	3370,25	1781,28	138,78	133°26'
20	3221,57	1407,70	241,98	59°48'
21	4327,44	1374,89	207,39	176°41'
22	1258,05	1444,15	90,36	228°18'
23	3208,48	934,61	195,17	11°28'
24	4267,75	1217,77	330,22	167°31'
25	4077,34	1336,03	255,84	86°31'
26	3266,18	1020,12	88,77	25°38'
27	3362,95	1517,35	141,79	170°27'
28	4064,60	875,59	66,13	272°18'
29	1159,34	875,82	118,63	350°58'
30	2719,46	1260,95	124,58	64°31'

7. По топографической карте 1:10000 определить прямоугольные координаты двух точек: номер точки А совпадает с номером варианта, номер точки В – следующий по счету.

8. Вычислить дирекционный угол и длину стороны CD по известным координатам точек. Исходные данные по вариантам взять из табл. 2.6.

Таблица 2.6

Исходные данные для решения задачи 15

Вариант	Координаты точки C, м.		Координаты точки D, м.	
	X_3	Y_3	X_4	Y_4
1	3058,29	1506,71	3282,96	1800,28
2	3761,47	920,42	3734,19	1191,35
3	1290,40	1613,54	1140,87	1625,75
4	3724,63	1588,87	3843,29	1563,50
5	4081,58	1489,27	3910,26	1232,22
6	3503,31	1590,17	3514,40	1766,46
7	2248,39	1236,21	2182,53	1170,46
8	1191,87	1052,34	1095,33	1034,04
9	2481,53	1662,01	2492,15	1492,42
10	3366,57	1648,24	3212,45	1432,43
11	2546,33	1003,76	2478,55	974,62
12	1274,11	1024,67	1258,22	1307,43
13	2913,19	1262,63	2725,12	1319,11
14	3635,63	1372,28	3602,30	1282,27
15	4163,01	1432,32	4337,76	1228,44
16	2398,51	1661,47	2349,15	1799,70
17	3287,82	1633,45	2920,18	1557,98
18	2648,24	1687,14	2429,93	1683,65
19	4483,94	1030,06	4616,30	863,04
20	2016,24	1845,81	1953,78	1696,86
21	4410,26	1367,97	4304,80	1598,31
22	3075,25	1119,42	2952,10	925,50
23	3667,32	1517,72	3746,57	1653,61
24	1623,76	1661,40	1635,51	1804,79
25	2514,49	1853,22	2378,98	1868,38
26	2613,25	1422,44	2428,61	1458,94
27	1694,57	1220,37	1793,63	1210,66
28	4208,95	1092,44	4298,78	1141,69
29	3259,29	1771,02	3603,70	1940,24
30	3870,11	1846,58	3804,56	1663,66

2.6. Контрольные вопросы

1. Как определить магнитный азимут, если известен дирекционный угол?
2. Что называется истинным меридианом и как он определяется на карте?
3. Что такое табличный угол? С какой целью он используется?
4. Что называют обратным дирекционным углом?
5. Сущность метода ориентирования карты с помощью компаса, буссоли?
6. Как определяется сближение меридианов, указанное на карте?
7. Как определяется склонение магнитной стрелки, указанное на карте?
8. Перечислите разные способы ориентирования на местности.
9. Что такое координаты точки?
10. Что называется приращениями координат ΔX и ΔY ?
11. Что принимается за оси координат в общегосударственной системе плоских прямоугольных координат?
12. Как определить на карте прямоугольные координаты точки?
13. В чем заключается сущность прямой и обратной геодезических задач?
14. Как передать дирекционный угол от одной стороны к другой?

Тема 3. Определение площадей и объемов (лабораторная работа №3)

Важным видом информации при инженерных изысканиях и проектировании сооружений является площадь объекта. Различают следующие способы измерения площади объекта на картах и планах:

- аналитический;
- графический;
- геометрический;
- механический.

3.1. Аналитический способ

Для любого n -угольника (рис.3.1) в общем виде вычислить площадь можно по формуле

$$2P = \sum_{i=1}^n X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) \quad (3.1)$$

Для контроля применяют похожую формулу:

$$2P = \sum_{i=1}^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}) \quad (3.2)$$

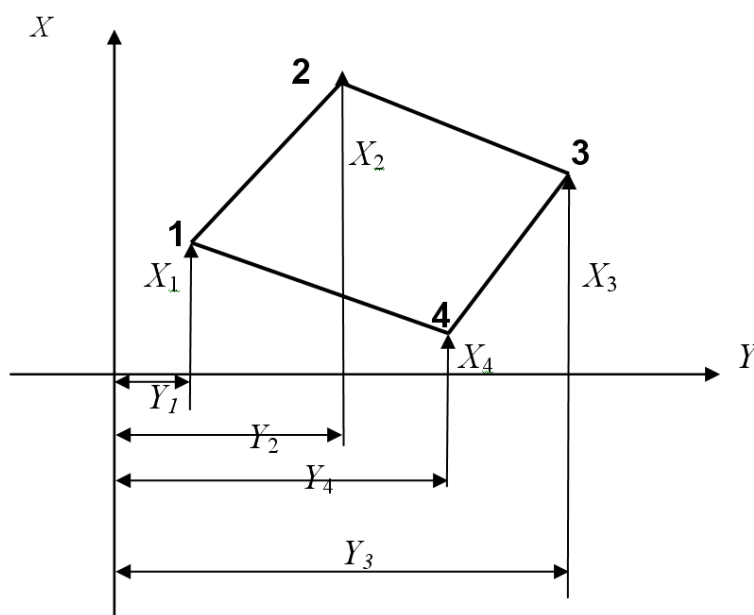


Рис. 3.1. Определение площади аналитическим способом

При вычислении площади аналитическим способом результаты измерений вносят в специальную ведомость (табл. 3.1).

Особо следует обращать внимание на подсчет разностей, на знак каждого значения. При этом следят, чтобы выполнялся контроль вычисления разностей $(Y_{i-1} - Y_{i+1})$ и $(X_{i+1} - X_{i-1})$: их сумма должна быть равна нулю.

При подсчете суммы в двух последних столбцах получается двойная площадь фигуры, контролем служит полное совпадение результатов. При соблюдении контроля сумму делят пополам, получается площадь фигуры. Если результат получился со знаком минус, величину площади берут по модулю, просто обход фигуры был выбран неудачно (оцифровку можно выполнять по часовой стрелке или наоборот).

Таблица 3.1

Ведомость вычисления площади аналитическим способом

Вершина	Координаты, м		Разности, м		Произведения, м ²	
	X_i	Y_i	$Y_{i-1} - Y_{i+1}$	$X_{i+1} - X_{i-1}$	$X_i(Y_{i-1} - Y_{i+1})$	$Y_i(X_{i+1} - X_{i-1})$
1						
2						
3						
4						
			$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma[2P]=$	$\Sigma[2P]=$

Этот способ применяют в основном при автоматизированном вычислении площади по известным прямоугольным координатам точек X и Y. Точность способа зависит от точности определения координат. При непосредственном определении координат точек на местности с помощью электронных приборов можно воспользоваться вшитой программой определения площади объекта. При измерении координат на картах и планах следует пользоваться поперечным масштабом, соблюдая требования к его точности.

3.2. Графический способ

Графический способ предполагает использование палеток – прозрачных листов, на которых нанесены квадраты или парал-

лельные линии (рис. 3.2). Их изготавливают на стекле, восковке, кальке. Этот способ чаще применяется для участков, ограниченных криволинейными линиями, небольших по величине.

Палетку с квадратами (рис. 3.2,а) накладывают на участок и подсчитывают, сколько квадратов содержится в данном участке; неполные квадраты считают отдельно, переводя затем их сумму в полные квадраты (делят пополам). Площадь участка вычисляют по формуле

$$P = a \times n \times M; \quad (3.3)$$

где a – длина стороны квадрата, n – количество квадратов на участке; M – знаменатель масштаба карты.

Для повышения точности способа квадраты проводят через 1–2 мм, для грубых подсчетов допускается их увеличение до 5 мм. Для упрощения подсчетов проводят утолщенные линии через 0,5 см или 1 см, тогда число клеток считают сразу группами. Недостатком способа является то, что подсчет числа квадратов часто сопровождается грубыми промахами. Поэтому следует повторно со смещением наложить палетку на определяемую фигуру, и выполнить контрольное вычисление.

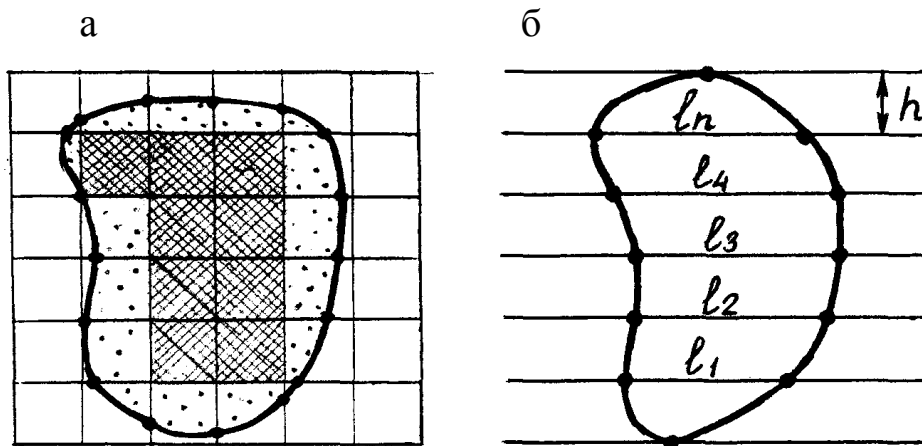


Рис. 3.2. Определение площади с помощью разных палеток

На рис. 3.2,б показана палетка из параллельных линий с расстояниями между ними h , которое также должно быть 1 мм или 2 мм, для грубых подсчетов допускается 5 мм. Вращая палетку, её располагают так, чтобы верхняя и нижняя границы участка ка-

сались линий палетки. Измеряют циркулем-измерителем длины отрезков внутри контура $l_1, l_2 \dots l_n$, суммируют их, площадь участка определяется по формуле

$$P = hM(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) \quad (3.4)$$

где h – расстояние между параллельными линиями палетки; M – знаменатель масштаба карты.

Если площадь фигуры не более 2 см^2 , можно циркулем-измерителем откладывать отрезки в нарастающем порядке, что позволит увеличить точность способа.

3.3. Геометрический способ

Геометрический способ – это вычисление площади геометрических фигур по длинам сторон и углам между ними, значения которых можно получить только из измерений. Применение этого способа на местности требует разбиения участка на простые геометрические фигуры, что возможно лишь при наличии видимости внутри участка (рис. 3.3).

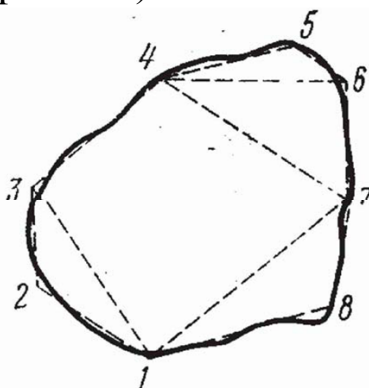


Рис. 3.3. Разбивка участка на простые геометрические фигуры

Суммируя площади отдельных фигур, получают площадь всей фигуры. Формулы для вычисления площадей геометрических фигур приведены ниже (рис.3.4).

При определении площади участков на топографических планах и картах стороны и высоты треугольников, стороны и диагонали четырехугольников нужно измерять с помощью поперечного масштаба. Можно использовать линейки, циркули-измерители, курвиметры, транспортиры, масштабные линейки.

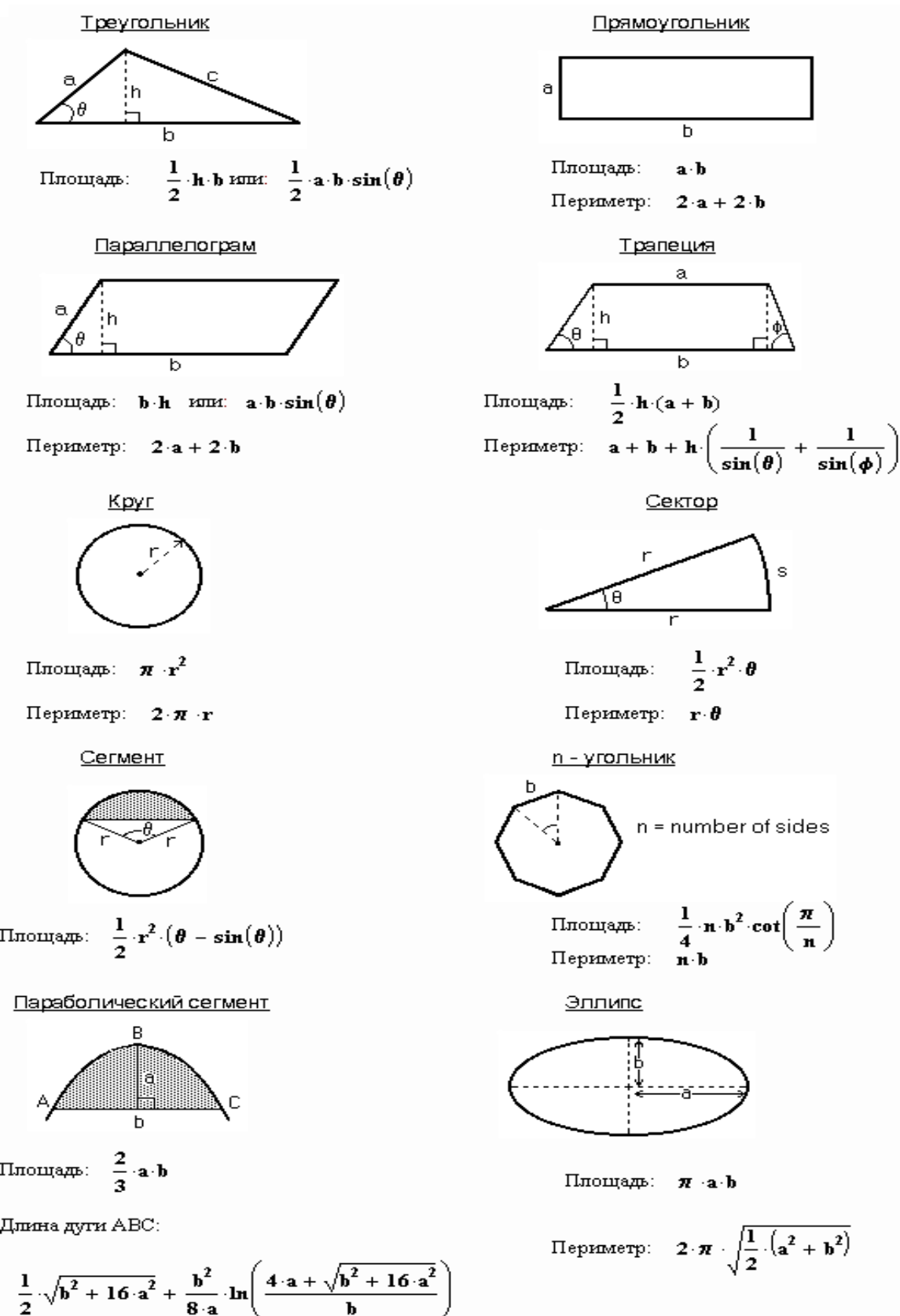


Рис. 3.4. Формулы для вычисления площадей геометрических тел

3.4. Механический способ

Механический способ определения площади – это измерение на карте или плане площади участка с криволинейными контурами, изогнутыми границами при помощи специального прибора (механического или электронного планиметра).

При этом способе площадь участка определяется обводом криволинейной границы участка острием обводного рычага планиметра. При этом полюсный рычаг должен быть закреплен неподвижно так, чтобы при обводе фигуры угол между рычагами не был больше 150° и меньше 30° . Колесико k счетного механизма при обводке не должно соскальзывать с листа карты или бумаги.

Рассмотрим особенности работы с механическим и электронным планиметрами.

3.4.1. Механический планиметр ПП–М

Механический планиметр имеет два рычага – полюсный 1, с грузиком на конце и обводной 2 – с обводной иглой или точкой на лупе, а также счетный механизм (рис. 3.5).

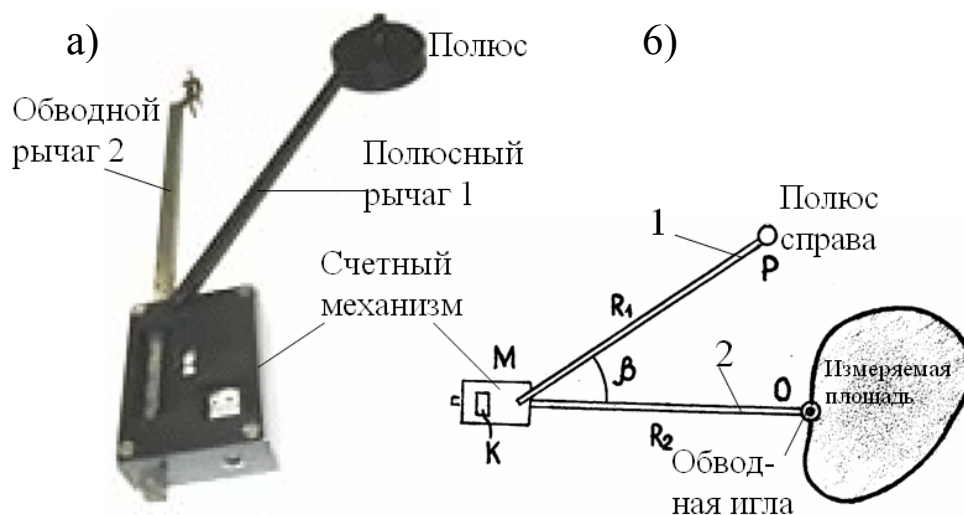


Рис. 3.5. Механический полярный планиметр ПП–М

Вначале определяют цену деления планиметра μ . Для этого вычисляют с учетом масштаба площадь простой геометрической

фигуры $P_{\text{изв}}$ – обычно это квадрат координатной сетки со сторонами 10×10 см. Затем эту фигуру обводят планиметром дважды по часовой (или против часовой) стрелке при положении ПЛ – «полюс слева» и дважды при положении ПП – «полюс справа». Положение ПЛ и ПП определяется местоположением полюса относительно линии, проведенной из подвижной точки O обводного рычага к счетному механизму. На рис. 3.5, б изображен планиметр при положении полюса справа ПП.

Устанавливают планиметр в положение ПП, угол между рычагами должен быть примерно 90° . Выбирают исходную точку. Выполняют холостой обвод фигуры, следя при этом, чтобы угол между рычагами не выходил за допустимые пределы, каретка двигалась легко, не соскакивала с планшета, не заедала при движении, полюс оставался неподвижным. Устанавливают обводную иглу в исходную точку. По счетному механизму записывают отсчет до начала обводки n_1 . затем плавно, с одной скоростью обводят фигуру, стараясь не сместиться с линии. Вернувшись в исходную точку, в конце первой обводки записывают отсчет n_2 . Повторно обводят контур фигуры и в конце второй, контрольной обводки записывают отсчет n_3 . Порядок отсчитывания по счетному механизму приведен на рис. 3.6.

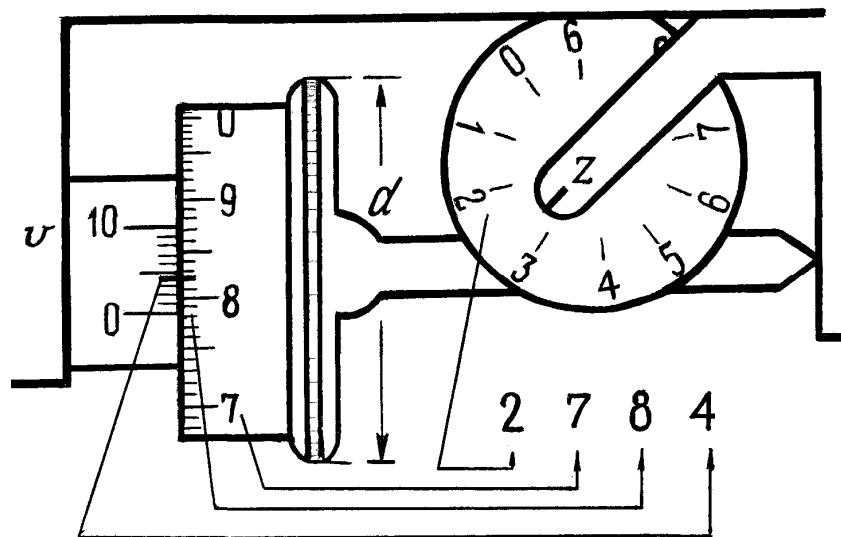


Рис. 3.6. Счетный механизм планиметра:
по стрелке на циферблате выбирается меньшее число – 2;
по шкале на счетном колесике – 78; по верньеру – 4,
полный отсчет 2784

Вычисляют разности отсчетов $\Delta n = n_3 - n_2$ и $\Delta n = n_2 - n_1$. Расхождение разностей Δn между двумя обводами не должно превышать 3 делений для площадей до 200 м^2 и 4 делений для площадей более 200 м^2 . Тогда относительная ошибка определения площади планиметром составляет от 1:100 до 1:400. При соблюдении указанных допусков вычисляют $\Delta n_{\text{ср}}^{\text{ПП}}$. Записи отсчетов и расчеты ведут в журнале (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Журнал работы с механическим планиметром

Планиметр ПП-М № _____ Длина рычага $R =$ _____ Масштаб плана 1: _____

Обводимый контур	Полюс	Отсчеты	Разность отсчетов Δn	Средняя разность $\Delta n_{\text{ср}}$	Цена деления в полу-приеме	Площадь участка, м^2
Определение цены деления планиметра						
квадрат 10×10см	ПЛ	n_1			$C_{\text{Л}} =$	$P_{\text{изв}} =$
		n_2				
		n_3				
	ПП	n_1			$C_{\text{П}} =$	
		n_2				
		n_3				
Определение площади участка						
обводимый контур	ПЛ	n_1			$C_{\text{Л}} =$	$R_{\text{ПЛ}} =$
		n_2				
		n_3				
	ПП	n_1			$C_{\text{П}} =$	$R_{\text{ПП}} =$
		n_2				
		n_3				

Аналогичные отсчеты записывают, обводя квадрат при другом положении полюса, так же вычисляют $\Delta n_{\text{ср}}^{\text{ПЛ}}$. Сравнивают результат с $\Delta n_{\text{ср}}^{\text{ПП}}$, если они отличаются незначительно (до 10 единиц), вычисляют среднее значение $\Delta n_{\text{ср}}$, определяют цену деления планиметра μ в заданном масштабе карты:

$$\mu = \frac{P_{изв}}{\Delta n_{ср}} \quad (3.5)$$

Затем приступают к измерению площади фигуры. Выбирается исходная точка, и повторяют все действия при положении полюса слева и справа, соблюдая все указанные ранее допуски. Площадь определяют по формуле:

$$P = \mu \Delta n_{ср} \quad (3.6)$$

где – цена деления планиметра.

При определении планиметром больших площадей целую фигуру разделяют на секции плавными, слегка изогнутыми линиями.

Площади слишком узких, вытянутых фигур (дорог, нешироких оврагов, речек) планиметром определять не рекомендуется. Запрещается при обводе прямолинейных участков пользоваться линейкой.

3.4.2. Электронный планиметр PLANIX–5

Процесс автоматизации определения площадей привел к созданию электронного планиметра. В этом случае обводка контура выполняется оператором вручную, измеренные значения отображаются на жидкокристаллическом дисплее. Электронные планиметры способны вычислять площади в любых единицах измерений – квадратных сантиметрах или дюймах, имеют цифровую клавиатуру, при помощи которой можно вводить пользовательский масштаб.

Планиметр PLANIX–5 (рис. 3.7) относится к планиметрам полярного типа, имеет полюсный 1, обводной рычаги 2, соединенные шарниром, каретку 3 в дисплеем и набором функциональных клавиш.

Точности измерений планиметра PLANIX–5 составляет 0,2 %. Максимальный диаметр, в пределах которого может осуществлять измерения– 35,6 см. Длина плеча при габаритах 64×213×39 мм составляет 222 мм. Планиметр может работать от сети и от аккумулятора без подзарядки до 30 часов.

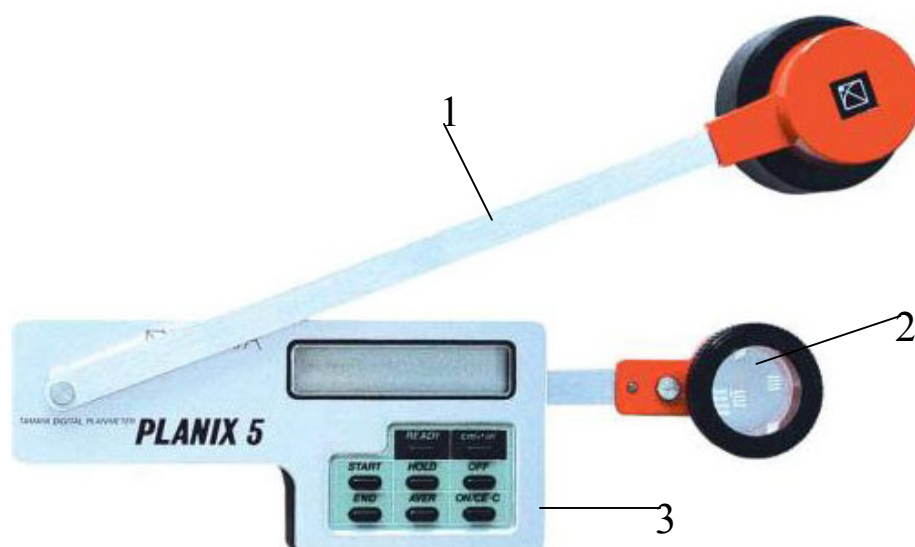


Рис. 3.7. Электронный планиметр PLANIX–5

В приборе имеется возможность обнулять значения, накапливать многократные результаты измерений и считать среднее арифметическое значение. Перед началом рекомендуется ознакомиться со значением функциональных клавиш и символов, отображаемых на дисплее (рис. 3.8).

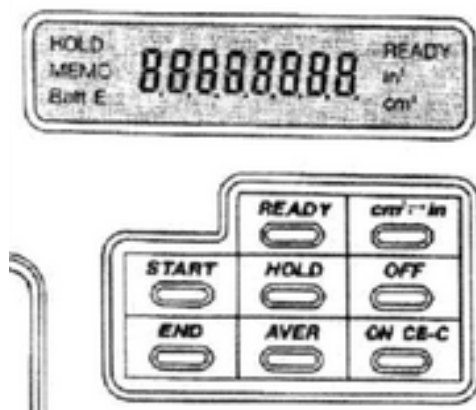


Рис. 3.8. Функциональные клавиши и символы планиметра

Значение функциональных клавиш планиметра

ON CB–C – включение питания; одно нажатие удаляет полученное значение, а второе нажатие очищает память;

OFF – включение питания;

START – готовность к началу измерений. На экране дисплея появится 0;

END – используется для повторного измерения одной и той же площади;

READY – выбор единиц измерения;

HOLD – фиксирование в памяти значений площади фигуры. При повторном нажатии этой клавиши можно продолжать измерение. Результаты накапливаются;

AVER – вычисление среднего значения.

Значение символов на дисплее

HOLD – указывает, что клавиша *HOLD* нажата и площадь обведенного участка зафиксирована;

MEMO – указывает, что клавиша *END* нажата и площадь участка сохранена в памяти прибора;

Batt – указывает на низкий уровень зарядки;

E – указывает на: 1) выход числа за пределы экрана (более 8 разрядов); 2) клавиша *END* была нажата более девяти раз в процессе вычисления среднего значения;

cm^2 , in^2 – единицы измерений (кв. см) или (кв. дюйм).

Измерение площади участка электронным планиметром выполняют в следующей последовательности:

- устанавливают планиметр так, чтобы полярный рычаг и плечо образовали прямой угол;

- включают планиметр: *ON CB-C*;

- выбирают единицу измерения cm^2 ;

- нажав клавишу *START*, выполняют обводку контура;

- сохраняют результат в памяти, нажав клавишу *HOLD*.

- повторяют 2–3 измерения и вычисляют среднее значение площади $P'_{\text{э}}$, cm^2 ;

- выключают питание (*OFF*);

- поскольку площадь измерена в квадратных сантиметрах чертежа, пересчитывают ее с учетом масштаба чертежа M

$$P_{\text{э}} = P'_{\text{э}} \times M, \text{ м}^2. \quad (3.7)$$

3.5. Определение объемов тел

Определение площади часто необходимо для определения объема фигур, например, объем сыпучего материала на складской площадке, пород на отвале и др. Если физическое тело имеет простую геометрическую форму, можно воспользоваться готовыми формулами. Однако в практике чаще возникают другие ситуации, когда фигура сложная, применить готовые формулы не представляется возможным. В этом случае применяют результаты маркшейдерских съемок, отображенные на плане в виде контуров, отметок, горизонталей. Наиболее простыми для определения объема являются способы горизонтального или вертикального сечения тела (рис. 3.9).

Формулы для вычисления объемов простых геометрических фигур приведены на рис. 3.10.

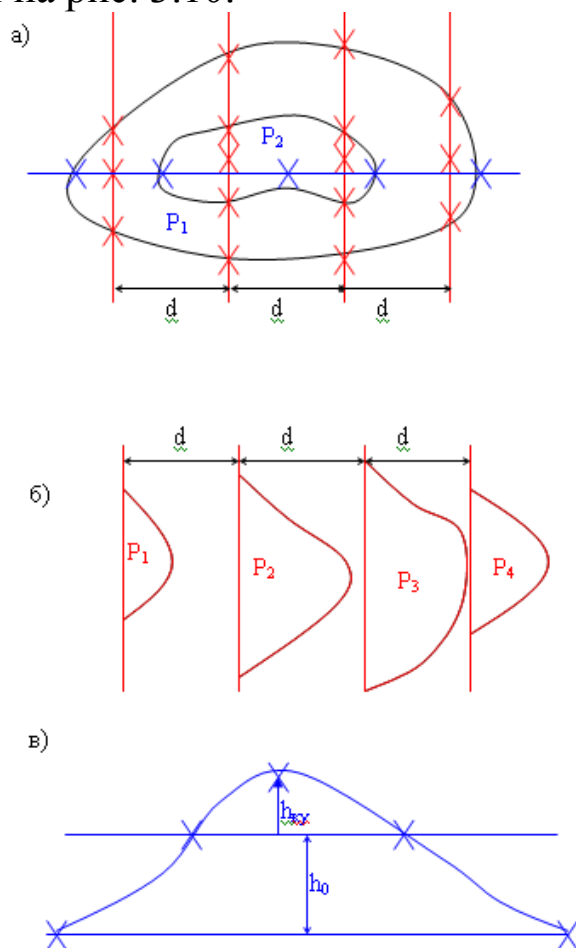


Рис. 3.9. Определение объема тел: а) по горизонталям способом б) вертикальных сечений; в) горизонтальных сечений

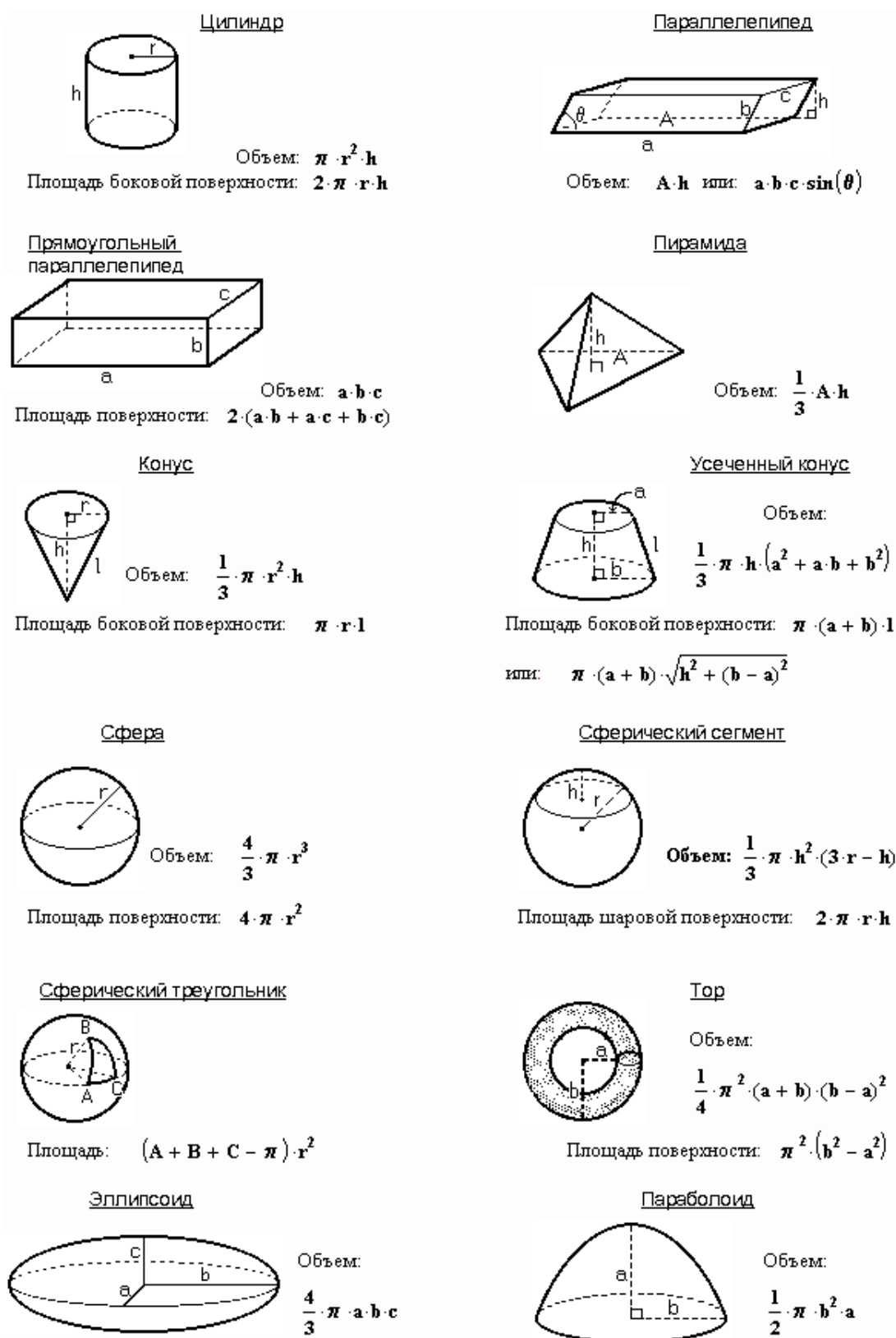


Рис. 3.10. Формулы для вычисления объемов геометрических тел

Сущность определения объемов сводится к определению площадей, полученных при сечении тела плоскостями, проведенными через равные промежутки.

В случае вертикальных сечений профильные линии проводятся через заданное расстояние d . Площади каждого сечения суммируют и умножают на расстояние между линиями d .

В случае горизонтальных сечений горизонтали проводятся через заданную высоту сечения h_0 , они рассекают тело на слои, ограниченные двумя соседними горизонталями. Объем каждого слоя находят как полусумму площадей, умноженную на h_0 . Верхний слой можно рассматривать как купол, высота которого определяется как разность высот, основанием является площадь верхнего слоя. Затем объемы всех слоев суммируют.

Если горизонтальных сечений четное количество, можно использовать формулу Симпсона:

$$V = \frac{h}{3} [(P_0 + P_n) + 4(P_1 + P_3 + P_5 + \dots) + 2(P_2 + P_4 + P_6 + \dots)] \quad (3.8)$$

3.6. Задачи для самостоятельного решения

1. Изучить устройство механического планиметра ПП–М, назвать его основные части.
2. Зарисовать положение циферблата и счетного колеса, записать получившийся отсчет по планиметру n :
3. Определить цену деления механического планиметра.
4. Измерить площадь любой криволинейной фигуры механическим планиметром.
5. Измерить площадь этой же криволинейной фигуры электронным планиметром
6. Измерить площадь этой же фигуры квадратной палеткой.
7. Разбить эту же фигуру на простейшие геометрические фигуры и определить площадь геометрическим способом.
8. Определить площадь этой же фигуры аналитическим способом

9. Сравнить точность измерения площадей квадратной палеткой, электронным планиметром *PLANIX-5*, механическим планиметром ПП-М и геометрическим способом. Вычислить максимальное расхождение между значениями площади и выразить его в процентах:

$$\Delta P = P_{max} - P_{min}; t = \Delta P / P_{cp} 100\%$$

Таблица 3.3.

Сравнение результатов измерений

Способ измерения площади	Площадь P	P_{cp}	ΔP	t
Планиметр ПП-М				
Планиметр <i>PLANIX-5</i>				
Палетка				
Геометрический способ				
Аналитический способ				

10. Определить объем породы на складе по данным маркшейдерского замера. Результаты съемки представлены на плане в виде горизонталей (рис. 3.11), высота сечения горизонталей 1 м, масштаб плана принять для четных вариантов 1:2 000, для нечетных вариантов 1:1 000. Отметка вершины конуса 200 м + N , где N – номер варианта.

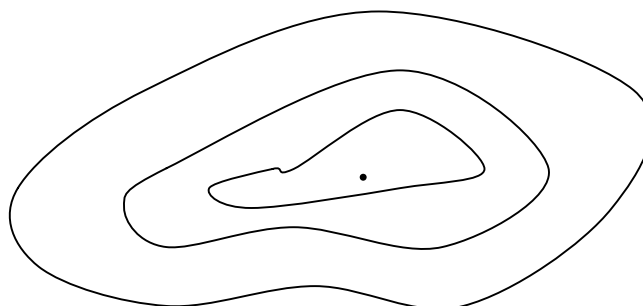


Рис. 3.11. Результаты замера породы на складе

3.7. Контрольные вопросы

1. Перечислите способы определения площади по топографическому плану.
2. Что такое цена деления планиметра?
3. Какова точность измерения площади планиметром?
4. Перечислите основные функциональные клавиши электронного планиметра Planix-5.
5. Перечислите преимущества работы с электронным планиметром.
6. Какова точность определения площади аналитическим способом?
7. Почему площадь участка при аналитическом способе считают по двум формулам?
8. Какова точность определения площади способом палеток?
9. Запишите формулы для определения площади простейших геометрических фигур.
10. Объясните способ горизонтальных сечений для вычисления объема физических тел.
11. Объясните способ вертикальных сечений для вычисления объема физических тел.

Тема 4. Определение отметок точек по горизонталям (лабораторная работа №4)

4.1. Условные топографические знаки

Всю совокупность изображений на картах и планах называют **ситуацией и рельефом**.

Ситуацией называется любой предмет или группа предметов естественного или искусственного происхождения, а также почвенно-растительный покров, дорожная сеть и гидрография. Для изображения ситуации применяют масштабные и внемасштабные условные обозначения.

Рельеф представляет собой всю совокупность неровностей поверхности Земли. Различают следующие формы рельефа: гора (холм), котловина, хребет, лощина, перевалы или седловины. Характерными линиями рельефа являются водораздел хребта и водослив лощины.

Для изображения ситуации и некоторых форм и деталей рельефа применяют условные обозначения (знаки). Условные знаки должны напоминать по форме объект, обладать наглядностью и четкостью изображения, содержать максимум информации об изображаемом объекте.

По своему назначению знаки можно разделить на следующие виды.

1. **Масштабные условные знаки**, размеры которых сохраняют масштабность. Это контурные линии почвенно-растительного покрова, размеры некоторых зданий и сооружений, береговые линии рек и озер, овраги, промоины и др.

2. **Внемасштабные условные знаки** применяют для обозначения небольших по размерам (менее графической точности масштаба), но очень важных по информации предметов. Это геодезические пункты, столбы электролиний и линий связи, некоторые постройки и линейные сооружения, шахты, шурфы, скважины, колодцы и др.

3. **Информационные внемасштабные знаки и обозначения** – это значки, распределенные по площади в определенном порядке (лес, луг, кустарник и др.). К ним придается буквенно-цифровая информация, как, например, порода, высота, густота

леса, число дворов в населенном пункте, скорость течения реки, характер дна в районе брода и др.

Ниже приводятся образцы некоторых условных знаков (рис. 4.1).

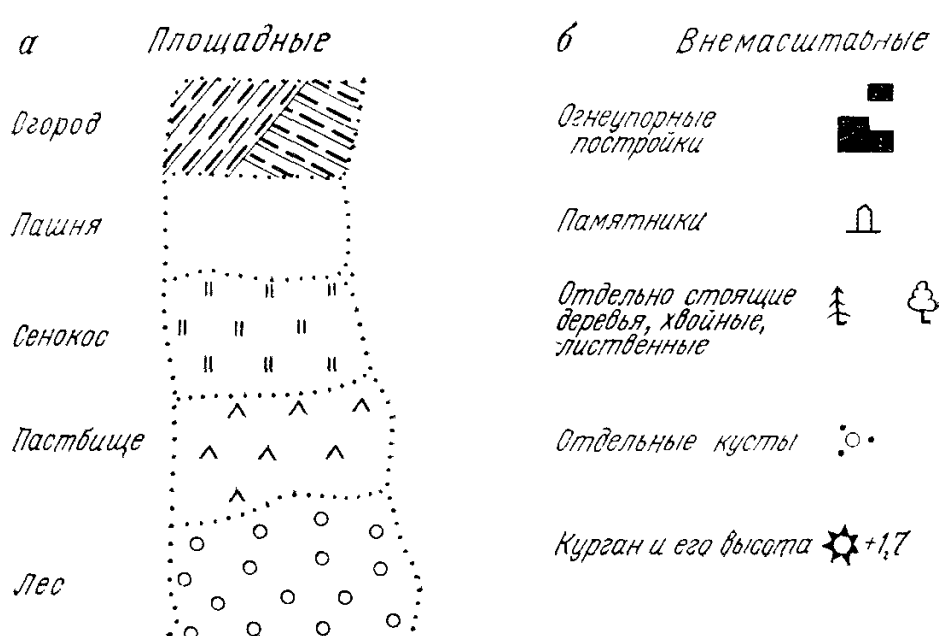


Рис. 4.1. Пример условных обозначений

4.2. Метод изображения рельефа

Рельеф на картах и планах изображается горизонталями. **Горизонталь** – это кривая, все точки которой имеют одинаковую высоту над уровенной поверхностью (рис. 4.2). Каждую из горизонталей можно представить как береговую линию в озере, водохранилище. По мере его заполнения береговая линия образует все новые горизонталей. Если горизонталь строится с помощью ЭВМ или цифровой модели местности, она может иметь вид ломаной линии.

Высота сечения рельефа – вертикальное расстояние между горизонтальными секущими плоскостями, которые формируют вид и форму горизонталей (рис.4.2). Высота сечения рельефа всегда подписывается на карте или плане ниже указания масштаба.

Например: «Сплошные горизонтали проведены через 1 метр». Обычно высота сечения рельефа принимается равной 0,5, 1, 2, 2,5, 5, 10, 20, 25, 50 метрам. Эта величина зависит от масштаба карты и от рельефа: в равнинной местности высота сечения меньше, при пересеченной местности она зависит от перепада высот, в гористой местности сечение больше.

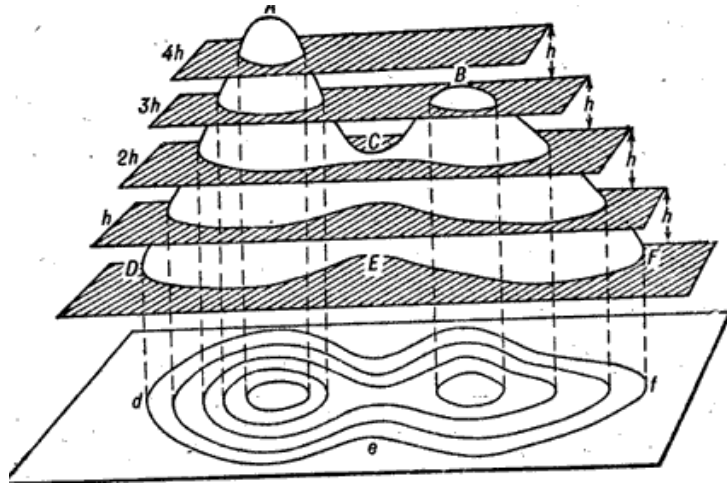


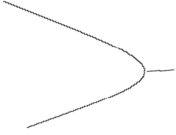
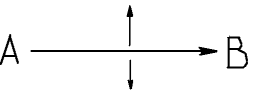
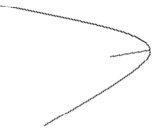

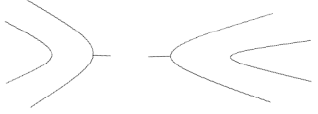
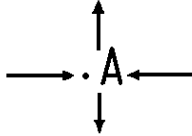
Рис. 4.2. Изображение рельефа горизонталями

На топографических материалах по изображению горизонталей можно прочесть основные формы рельефа (табл.4.1):

Таблица 4.1

Изображение рельефа на планах и картах

Формы рельефа	Изображение на карте	Направление скатов	Название главных точек и линий
Гора (холм, высота)			А – точка вершины
Котловина			А – точка дна котловины

Формы рельефа	Изображение на карте	Направление скатов	Название главных точек и линий
Хребет			АВ – линия водораздела
Лощина			АВ – линия водосбора (водослива, тальвег)
Седловина			А – точка перевала

Основные свойства горизонталей необходимо знать для построения горизонталей на плане по отметкам точек, для чтения рельефа, для решения ряда инженерных задач:

1. Все точки местности, лежащие на горизонтали, имеют равные отметки.

2. Горизонталю не могут пересекаться в плане, поскольку они лежат на разных высотах (в разных плоскостях). Исключение – в горных районах, когда горизонталями обозначают нависший утес.

3. Горизонталю являются непрерывными замкнутыми линиями. Горизонталю, замыкающиеся на плане, указывают холм или котловину. Горизонталю, прерванные у рамки плана, замыкаются за пределами плана.

4. Расстояние между горизонталями на плане (заложение) характеризует форму и крутизну ската местности (рис.4.3). Ровный и вогнутый скаты просматриваются с вершины возвышенности до подошвы. Выпуклый скат характерен наличием перегиба,

который закрывает часть местности, создавая тем самым непроглядимые участки при обзоре ската с вершины возвышенности. Волнистым называют скат, который на своем протяжении переходит от ровного к выпуклому, затем к вогнутому, снова к ровному и т. д. Заложение во всех случаях меняется по разному.

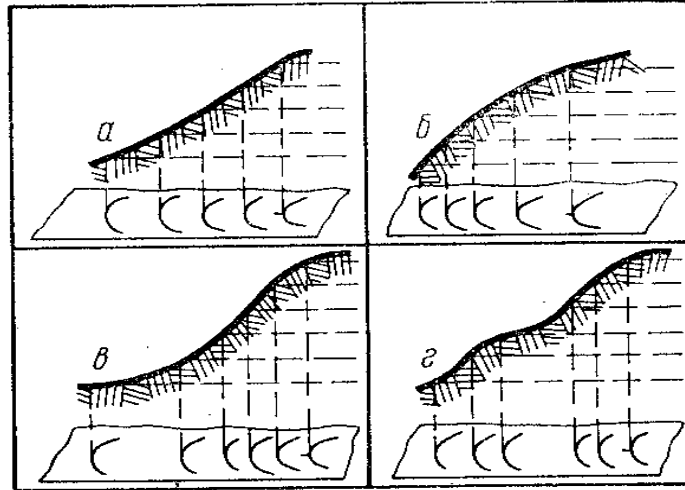


Рис. 4.3. Формы скатов:

а) ровный, б) выпуклый, в) вогнутый, г) волнистый

4.3. Изучение рельефа местности по планам

Изучение рельефа, изображенного горизонталями, начинается с определения на карте направления повышения и понижения местности. При этом руководствуются следующими признаками:

- бергштрихи всегда направлены в сторону понижения;
- основания цифр, которыми подписаны горизонтали, располагаются в направлении понижения ската;
- к водоемам и водостокам местность понижается;
- в одну сторону от горизонталей местность понижается, а в другую – повышается;
- горизонтали перегибаются на водораздельных линиях хребтов и на тальвегах лощин (линиях водосбора, водостока).

4.4. Определение отметок по картам и планам

Отметкой H точки земной поверхности называют численное значение ее высоты над уровенной поверхностью (квазигеоидом) или над условной уровенной поверхностью. Например: $H = 121,5$ м.

Для определения отметок точек по горизонталям необходимо знать:

- высоту сечения рельефа, которая приводится внизу карты под рамкой;
- направление ската;
- подписи отметок высот характерных точек горизонталей.

Для облегчения счета каждая пятая горизонталь вычерчивается утолщенной, а при высоте сечения рельефа 2,5 м – каждая четвертая.

Если точка расположена на горизонтали, то её отметка равна отметке горизонтали, например, $H_A = 125$ м (рис. 4.4). Если горизонталь не оцифрована, то ее отметка находится по оцифровке соседних горизонталей с учетом высоты сечения рельефа. В большинстве случаев точка находится между двумя горизонталями, тогда используют, либо *аналитическое интерполирование*, либо *интерполирование на глаз*.

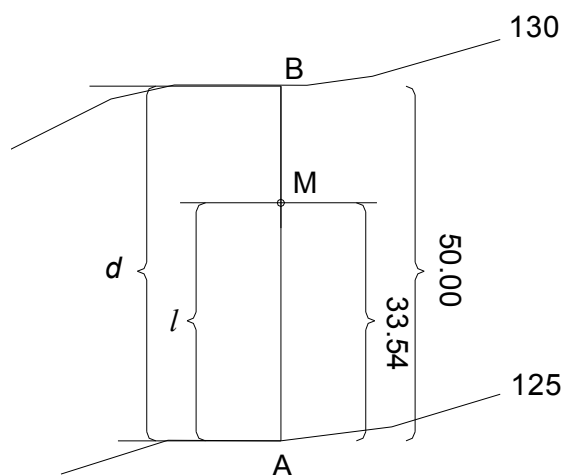


Рис. 4.4. Определение высоты точки

4.5. Методы интерполирования

4.5.1. Аналитическое интерполирование

Рассмотрим пример определения отметки точки M , расположенной между горизонталями 125 и 130 (рис. 4.4).

Для этого проведем через нее кратчайшее заложение между соседними горизонталями d – нормали к этим горизонталям. Определились по высоте точки A и B , т.е. H_A, H_B . Измерим d и l – расстояние от точки M до младшей горизонтали H_A . Отметка точки M определится по формуле:

$$H_M = H_A + h_{AM} = H_A + \frac{l}{d} \cdot h_0 \quad (4.1)$$

где $h_{AM} = H_C - H_A$ - превышение между точками;

h_0 – высота сечения рельефа;

l – расстояние от точки M до младшей горизонтали;

d – кратчайшее расстояние между горизонталями, проходящее через точку M .

Расстояния l и d измеряются непосредственно на карте с точностью до 0,1 мм. Для рассматриваемого примера $l = 33,54$ мм; $d = 50,0$ мм; $h_0 = 5$ м.

$$H_M = 125 \text{ м} + \frac{33,54 \text{ мм}}{50,0 \text{ мм}} \cdot 5 \text{ м} = 128,35 \text{ м}$$

4.5.2. Интерполирование на глаз

При интерполировании на глаз расстояние l оценивается на глаз, как часть заложения d . В нашем случае l составляет $2/3d$, что соответствует примерно 3,32 м. Следовательно, отметка точки M равна:

$$H_M = H_A + h = 125 \text{ м} + 3,32 \text{ м} = 128,32 \text{ м}$$

Способ оценивания на глаз применяют только в случае, если не требуется высокая точность расчетов.

4.6. Построение горизонталей по отметкам

Рельеф местности в горизонталях изображается на основании отметок точек. Предварительно выбирается высота сечения рельефа. Точки, лежащие на одном скате, соединяют прямыми линиями, на которых находят местоположение точек, отметки которых кратны высоте сечения рельефа, т.е. интерполируют горизонтالي. Обычно интерполирование начинают с самых высоких точек местности.

Как было сказано ранее, интерполирование горизонталей может выполняться "на глаз", аналитически, либо графически с помощью палетки.

Палетка представляет собой лист прозрачной бумаги (кальку) с рядом параллельных линий, проведенных через равные произвольные промежутки (например, через 0,5 см) (рис. 4.5).

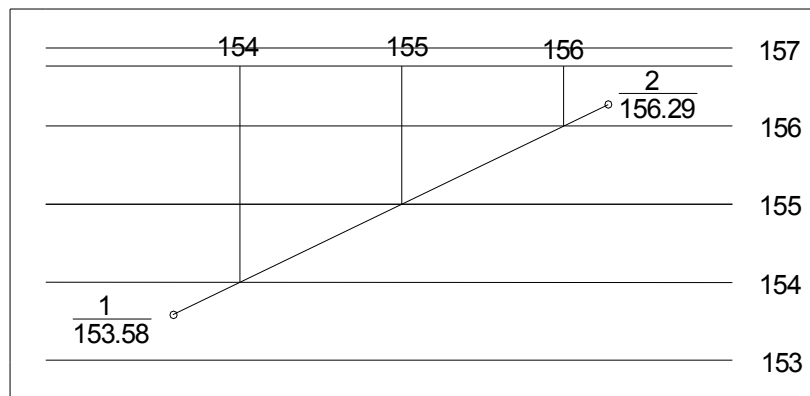


Рис. 4.5. Построение горизонталей с помощью палетки

Эти линии оцифровываются отметками, кратными высоте сечения рельефа в пределах имеющихся на чертеже отметок. Накладывают палетку на линию, например, 1–2, так, чтобы точка 1 оказалась на соответствующей отметке палетки (рис. 4.5). Прижав палетку в точке 1 острием иглы, поворачивают палетку вокруг иглы так, чтобы точка 2 расположилась на отметке 156,29 м. В этом положении перекалывают иглой точки пересечения линий палетки с линией 1–2 на плане и подписывают их. Аналогично проводится интерполирование по всем остальным направлениям. Точки с одинаковыми отметками соединяют плавными линиями и

получают горизонтали. При этом необходимо учесть, что горизонтали не могут пересекаться и разветвляться.

Горизонтали проводят тонкими линиями коричневого цвета, толщиной 0,1 мм, а некоторые горизонтали утолщают вдвое для облегчения счета. Бергштрихи нужно показывать по водоразделам, тальвегам и на замкнутых горизонталях. Отметки горизонталей подписывают коричневым цветом и количество их должно быть таким, чтобы не перегружать план.

4.7. Определение превышения, уклона и заложения

Превышением h_{1-2} называется разность отметок конечной H_2 и начальной H_1 точек заданной линии: $h_{1-2} = H_2 - H_1$. Превышение может иметь положительный или отрицательный знак, отрицательный знак соответствует понижению рельефа, положительный – повышению.

Степень понижения или повышения местности характеризуют *углом наклона* (крутизны ската) ν или *уклоном* i .

Угол наклона ν – вертикальный угол, образованный линией местности и горизонтальной плоскостью, выражается в градусах.

Уклоном i называют тангенс угла наклона линии в данной точке, обычно выражается в промилле ‰, процентах %, либо в тысячных долях единицы:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h_{AB}}{S_{AB}}, \text{ где} \quad (4.2)$$

h_{AB} – превышение, т.е. разность отметок точек A и B , м; S_{AB} – горизонтальное проложение линии AB , т.е. проекция истинного расстояния между точками на горизонтальную плоскость, м.

Если требуется определить уклон линии, соединяющей две смежные горизонтали, формула (25) будет выглядеть несколько иначе:

$$i_{AB} = \frac{h}{d}, \quad (4.3)$$

где h – высота сечения рельефа, м; d – заложение, т.е. расстояние на карте между соседними горизонталями, м.

Для графического определения уклонов можно воспользоваться графиком масштаба уклонов (рис. 4.6).

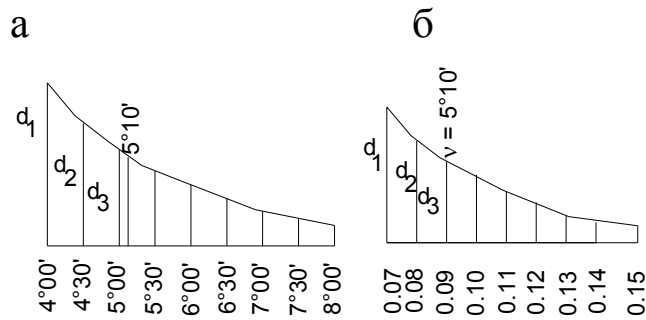


Рис. 4.6. Графики заложений: а – крутизны, б – уклонов

Для этого ножки циркуля устанавливают на двух смежных горизонталях по направлению заданной линии и затем переносят циркуль с тем же раствором ножек, равным заложению d ската местности, на масштаб заложений. Одна ножка циркуля располагается на кривой графика, а другая – на противоположной ей прямой. На рис. 4.6,а пунктирной линией показаны места установок циркуля. В первом случае ножки циркуля расположились не на имеющейся на графике линии заложения, а между двумя линиями. В таких случаях углы наклона и уклоны определяют интерполированием между двумя смежными подписанными на графе углами наклона или уклонами. Величины заложений на рис. 4.6,б соответствуют углу наклона $5^{\circ}10'$ и уклону $i = 0,09$.

Если заданная линия пересекает несколько горизонталей с разными отметкам, то углы наклона или уклоны определяются по масштабу заложений отдельно для каждого участка линии между двумя соседними горизонталями.

4.8. Построение профиля по заданному направлению

Профиль строится обычно на миллиметровой бумаге. Горизонтальный масштаб принимается равным масштабу карты, вертикальный обычно в 10 раз крупнее.

Рассмотрим построение профиля по линии AB , проведем горизонтальную линию через эти точки (рис.4.7).

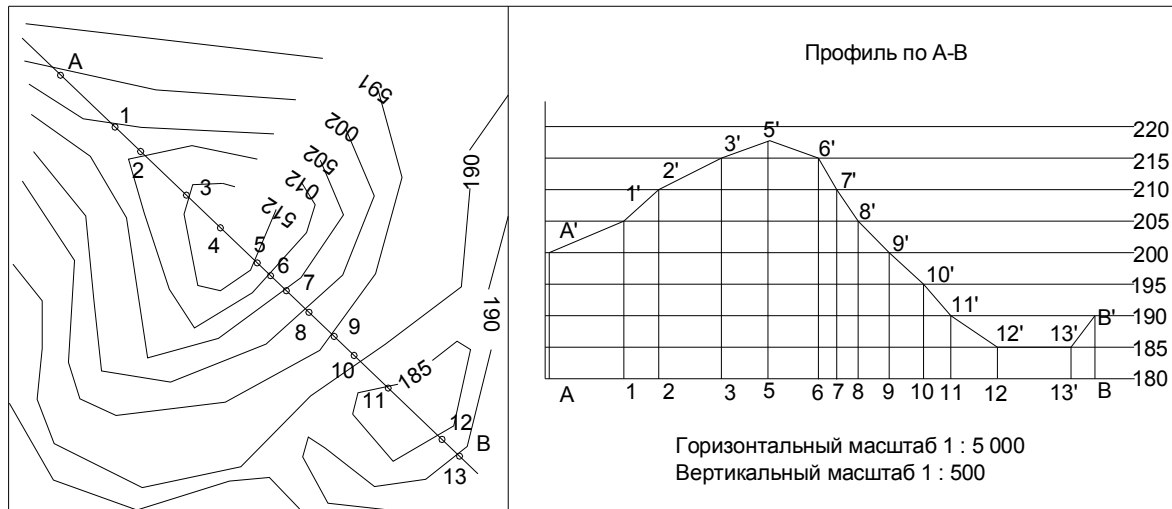


Рис. 4.7. Профиль местности по заданному направлению

Принимают ее за уровенную поверхность (УП) и циркулем-измерителем переносят с карты расстояния от точки A до всех точек пересечения этой линии с горизонталями (1,2,3,...) и характерными точками рельефа.

Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры и на них в принятом вертикальном масштабе откладывают отметки точек. Для определения отметок характерных точек необходимо производить интерполирование.

Профиль можно строить не от уровенной поверхности, а от условного горизонта, выбранного таким образом, чтобы его линия не пересекалась с линией профиля.

Через найденные точки проводят плавную кривую линию.

4.9. Задачи для самостоятельного решения

1. Определить отметку точки B , если отметка точки A , $H_A=115,8$ м, а превышение точки B над точкой A составляет $h = -12,5$ м.

2. Изобразить горизонталями следующие формы рельефа: хребет, лощина, котловина, гора, седловина.

3. Определить высотную отметку начальной и конечной точек линии. Номер начальной точки равен номеру варианта, конечной точки – на единицу больше. Вычислить превышение между этими точками.

4. Вычислить крутизну ската и уклон линии, заданной в предыдущей задаче.

5. Пользуясь графиком заложений, определить крутизну ската в начальной точке линии, заданной в задаче 3.

6. По графику заложений определить минимальный и максимальный угол наклона в пределах заданного на карте отрезка линии взятого из предыдущей задачи.

7. Высоты двух точек соответственно равны 157 м и 182 м. Определить отметки ближайших к ним горизонталей, если высота сечения рельефа $h_0 = 5$ м. Сколько и какие горизонталей пройдут между этими двумя точками? Какие из них должны утолщаться?

8. Построить профиль местности по линии, заданной в соответствии с вариантом в задаче 3.

9. Изобразить рельеф горизонталями по заданным отметкам точек (рис. 4.8) и при заданной высоте сечения рельефа h , заданным в табл. 4.2.

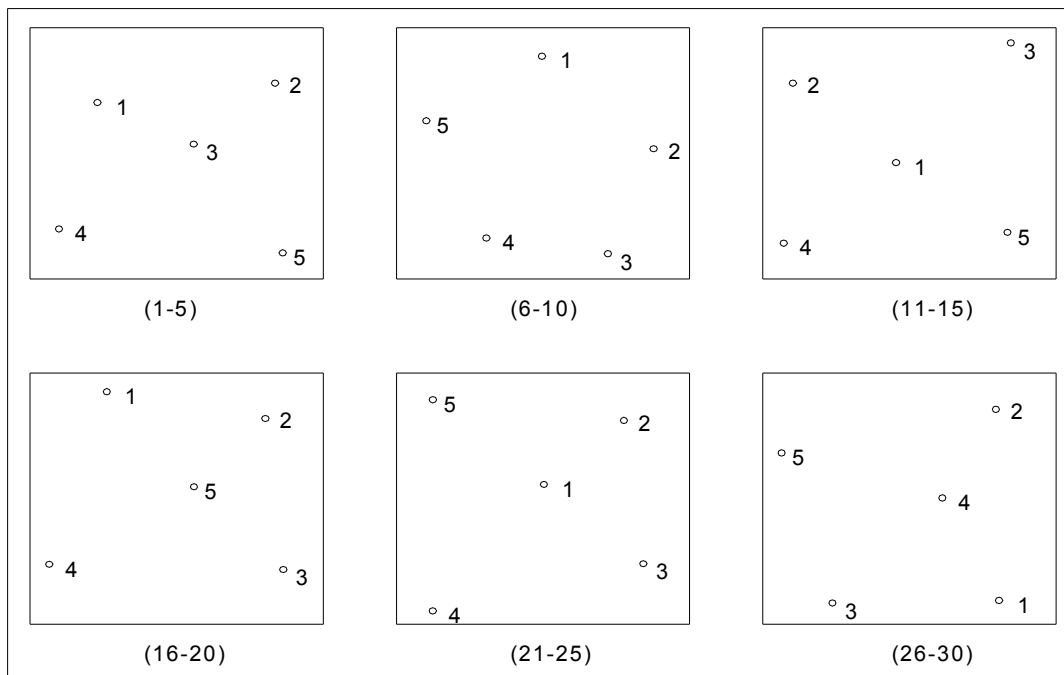


Рис. 4.8. Схема к выполнению задачи 9

Таблица 4.2

Исходные данные для решения задачи 9

Вариант	Высотные отметки характерных точек земной поверхности, м					h , м
	1	2	3	4	5	
1	15,8	12,6	10,4	11,0	9,0	1,0
2	20,5	58,2	48,6	59,2	60,5	5,0
3	96,2	50,4	85,1	98,3	37,2	5,0
4	60,2	60,1	90,0	74,2	64,4	5,0
5	10,8	25,6	15,4	11,7	26,3	1,0
6	92,8	84,3	82,1	80,8	91,0	1,0
7	30,1	36,3	40,4	38,6	32,7	1,0
8	47,7	50,0	55,0	36,4	17,8	5,0
9	55,6	60,8	55,8	50,5	55,5	1,0
10	70,0	80,0	90,0	96,7	80,1	5,0
11	80,4	60,8	64,2	60,0	62,3	5,0
12	40,8	35,1	37,7	41,2	44,0	1,0
13	70,9	70,8	80,1	76,2	74,4	1,0
14	42,6	37,8	60,4	70,2	64,0	5,0
15	60,7	80,4	79,9	85,0	90,1	5,0
16	61,3	61,2	81,1	75,3	65,5	5,0
17	12,1	27,8	17,6	13,9	28,5	1,0
18	70,2	70,1	99,1	65,2	75,4	5,0
19	20,7	22,4	19,8	17,2	10,2	1,0
20	25,7	27,4	24,9	22,7	15,9	1,0
21	72,9	64,3	62,5	60,9	71,8	1,0
22	42,6	47,8	42,8	37,5	42,5	1,0
23	97,7	78,1	81,5	77,3	79,6	5,0
24	76,8	76,7	75,6	90,8	81,0	5,0
25	28,7	35,4	44,2	38,9	46,9	1,0
26	26,8	26,4	28,2	50,5	20,7	5,0
27	46,8	46,9	48,1	71,6	21,8	5,0
28	26,8	26,9	28,1	51,6	1,8	5,0
29	53,2	53,1	51,9	28,4	78,2	5,0
30	30,2	28,3	16,7	13,4	34,4	5,0

4.10. Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютной отметкой точки? Относительной отметкой? Условной отметкой?
2. Что означает линия водораздела и водостока?
3. Как определить отметку точки, расположенной между горизонталями?
4. Что значит интерполировать горизонтали?
5. Что такое превышение и высота сечения рельефа?
6. Что называется горизонталью?
7. Как получают ЦММ (цифровую модель местности)?
8. Что такое уклон? Угол наклона?
9. Что называется горизонтальным проложением?
10. Что называется заложением?
11. Что такое промилле?
12. Что называется превышением?
13. Что называется отметкой точки?

Тема 5. Работа с теодолитом (лабораторная работа №5)

5.1. История теодолита

Теодолитом называется прибор, служащий в основном для одновременного измерения горизонтальных и вертикальных углов. Кроме этого с помощью теодолита устанавливают горизонтальность и вертикальность линий и плоскостей, задают проектные направления; применяя нитяной дальномер и рейку с делениями, определяют расстояния и превышения.

Прообразом теодолита явилась астролябия, изобретённая ещё до н. э. Она состояла из круга с делениями, по которому углы отсчитывали с помощью вращающейся линейки с диоптрами, служившими для наведения на предмет.

Первое упоминание слова «теодолит» или «теодолитус» встречается в руководстве по землемерию, геометрической практике «Pantometria» (1571 год), написанной Леонардом Диггесом. Прибор измерял только горизонтальные углы. Первым инструментом, похожим на настоящий теодолит, был, по всей видимости, прибор, созданный Джошуа Хабермелем (Эразм Хабермельский) в 1576 г. в Германии. Он был объединен с компасом и треногой. Для наблюдения объекта при измерении горизонтальных углов использовалась алидада, а вторая алидада монтировалась на вертикальном полукруге. Со временем простую алидаду грубой наводки начала заменять зрительная труба. Впервые это сделал Джонатан Сиссон в 1725 году.

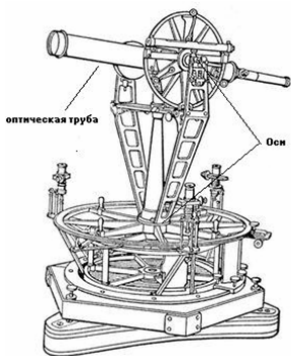


Рис. 5.1. Теодолит Рамсдена

Теодолит стал похож на современный в 1787 году, когда Джесси Рамсден смастерил его с помощью точного разделительного механизма (рис. 5.1). По мере усовершенствования технологий вертикальный полукруг в 1840 году был заменен полным кругом. Оба круга, горизонтальный и вертикальный, были очень точно размечены.

В дальнейшем, он эволюционировал в теодолит, который используется топографами сейчас.

В 19-м веке завоевал популярность американский теодолит, он более короткой, чем рукоятки основания, оптической трубой. Это позволяло повернуть оптическую трубу строго вниз. Этот вид теодолитов мог «перекидываться» через вертикальный круг.

В середине 20-го века теодолит представляет собой оптическую трубу, движущуюся по двум перпендикулярным осям, горизонтальной и вертикальной. Когда оптическая труба направлена на желаемый объект, угол каждой из этих осей может быть измерен с высокой точностью, обычно по шкале, градуированной в угловых секундах.

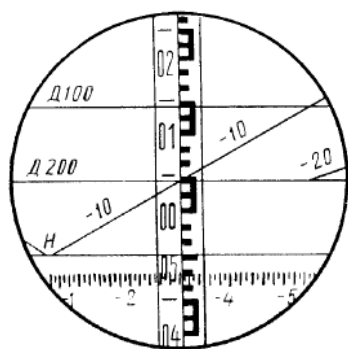
Кроме того, теодолит постоянно дополняли различными функциями, что привело к расширению сферы его применения. Рассмотрим типы угломерных приборов, работающих на основе теодолита.

5.2. Типы угломерных приборов

5.2.1. Тахеометры

Вплотную к теодолитам примыкают **тахеометры**, которые различают по принципу работы:

– оптические – теодолиты-тахеометры (рис. 5.2), которые снабжены специальным номограммным кругом. Предназначены для измерения на местности не только углов, но и длин линий, превышений прямо из отсчётов по рейке, магнитных азимутов направлений;



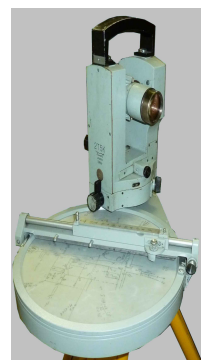
Номограммы в поле зрения трубы



Theo 020A



Theo 010B
Delta



Столик Карти

Рис. 5.2. Оптические тахеометры

– . электронные тахеометры – для работ с без отражательным дальномером, бесконечными наводящими винтами, изменением градации лимба в соответствии с классом проводимых работ (рис. 5.3);



Leica TS15IR1000 (1")
1 993 250 руб.

Pentax W-825NX
298 000 руб.

South NTS-355R
150 000 руб

Sokkia SE530RK3
266 555 руб.

Рис. 5.3. Электронные тахеометры

В соответствии с ГОСТ Р 51774–2001 выделяют три типа электронных тахеометров (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Типы российских электронных тахеометров

Тип тахеометра	Класс	Область применения	СКП измерения угла
Ta2	точный	Прикладная геодезия, измерение углов и расстояний в геодезических сетях	2"
Ta5	точный	Измерение углов и расстояний в геодезических сетях сгущения	5"
Ta20	технический	Измерение углов и расстояний в съемочных сетях. Топографическая съемка масштаба 1:10 000 и крупнее. Изыскательские землеустроительные и кадастровые работы. Геодезический контроль в строительстве	20"

– автоматизированные (роботизированные, компьютерные) тахеометры – это электронные тахеометры с сервоприводом и

системами распознавания, захвата, слежения за целью, что позволяет оператору управлять прибором дистанционно (рис. 5.4.), со стороны вешки, используя при этом все функции инструмента, повышая производительность работы, гарантируя дополнительную точность измерений. Имеется возможность ручного и дистанционного компьютерного управления; запись результатов измерений (массивов информации до 3000 точек) производится как во внутренние, так и во внешние блоки памяти. Они снабжены пакетами универсальных полевых программ для обработки результатов измерений и решения разнообразных инженерных задач, полностью совместимы с приемниками систем спутниковой навигации.

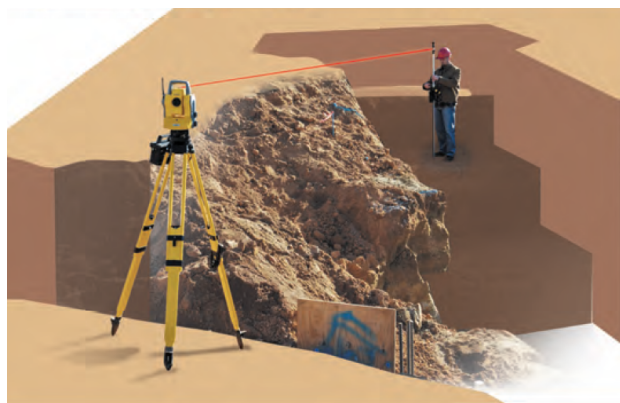


Рис. 5.4. Работа с роботизированным тахеометром

В настоящее время в России используют, главным образом, импортные компьютерные тахеометры (станции) различных конструктивных особенностей, точности и назначения (рис. 5.5).



FOCUS 30



Topcon GTS-903A



Trimble RTS

Рис. 5.5. Роботизированные тахеометры

5.2.2. Гиротеодолиты и гирокомпасы

Близко к теодолиту примыкают угломерные приборы, снабженные специфическими функциями: гиротеодолит, фототеодолит.

В геодезической и, особенно, маркшейдерской практике довольно часто возникает проблема автономного определения ориентирного направления в подземных сооружениях, для этих целей используют **гиротеодолиты и гирокомпасы** (рис. 5.6). Они позволяют определить дирекционные углы и астрономические азимуты.



Рис. 5.6. Гиротеодолиты ГИ–Б2 и МВТ–2

Прибор состоит из трех основных узлов:

- угломерной части, представляющей собой доработанный теодолит, в который установлена система крепления гироблока и устройство слежения за гироскопом;
- маятникового гироскопа, который подвешен на торсионе;
- блока питания, представляющего собой преобразователь тока и частоты.

Принцип действия гиротеодолита аналогичен маркшейдерскому гирокомпасу, но в отличие от него не обладает взрывобезопасностью и не может применяться в шахтах, опасных по газу и пыли. Гиротеодолиты обеспечивают высокую точность определения дирекционных углов от 5 до 60" с небольшим периодом прецессионных колебаний от 7 до 15 минут, работоспособны в

широком диапазоне температур ($\pm 40^{\circ}\text{C}$). Масса гиротеодолита (комплекта) 30–85 кг.

В соответствии с ГОСТ Р 50997–96 в зависимости от показателей назначения маркшейдерские гирокомпасы изготавливают типов I, II, III. Условное обозначение гирокомпаса должно включать начальные буквы слов «гирокомпас маркшейдерский» - ГКМ, обозначение типа и номер технических условий на конкретную марку гирокомпаса: Основные параметры гирокомпасов указаны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Основные параметры маркшейдерских гирокомпасов

Наименование параметра	Значение для типа		
	I	II	III
1. Пределы работы по широте	+/- 70°		
2. Диапазон измерений азимутов	От 0 до 360°		
3. Продолжительность пуска, мин, не более	40	20	10
4. Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности определения гироскопического азимута на широтах в пределах +/- 60°, не более	15"	60"	180"
5. Среднее квадратическое отклонение погрешности измерения угломерной частью горизонтального угла, не более	5"	30"	60"

В России нашли применение гиротеодолиты венгерского производства, которые делят по точности на 5 классов: высокоточные (литер А) – обеспечивают среднеквадратическую погрешность не более 5", точные В – 20", средней точности С – 40", малой точности D – 1', низкой точности E – 3'. В настоящее время стали находить применение автоматические гироскопические станции, представляющие собой комплекс из гиротеодолита и электронного тахеометра.

5.2.3. Фототеодолиты

Фототеодолит – прибор, предназначенный для определения размеров, формы и положения пересечённой местности, карье-

ров, инженерных сооружений и др. объектов посредством фотосъёмки. Состоит из теодолита и фотокамеры (рис.5.7).

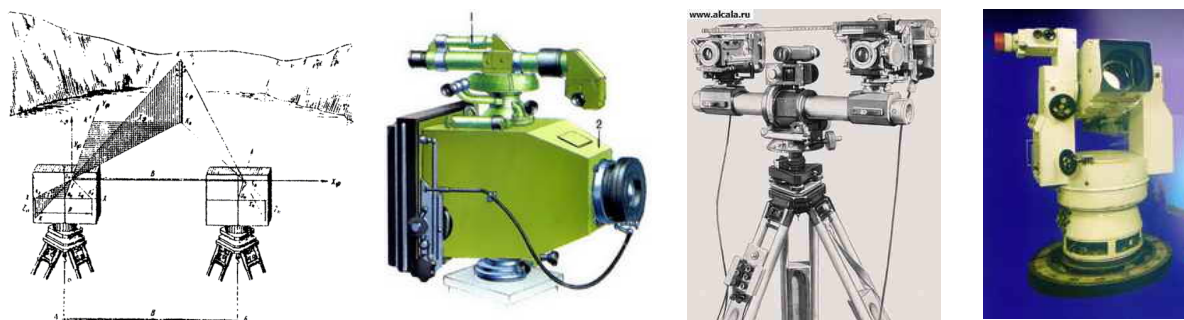


Рис. 5.7. Съёмка фототеодолитом и модели приборов

Фотокамера снабжена приспособлениями для установки оптической оси в горизонтальное положение и под углами относительно базиса. Это позволяет получить с концов базиса стереопары с параллельными направлениями оптической оси фотокамеры. Для съёмки объектов с небольших расстояний существуют фототеодолиты, состоящие из спаренных камер малого формата, установленных на штанге с постоянным или переменным базисом.

5.3. Классификация теодолитов

Теодолиты по физической природе носителей информации можно классифицировать как механические, оптические, лазерные, электронные, оптикоэлектронные. В настоящее время наиболее распространенными являются оптические и электронные теодолиты. Требования к теодолитам российского производства установлены ГОСТ 10529–96.

Оптические теодолиты позволяют производить отсчеты по горизонтальному и вертикальному лимбам при помощи одного микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Преимущество оптического теодолита – это возможность работы при низких температурах до -40°C .

В производстве инженерно-геодезических работ используются оптические теодолиты российского и зарубежного производства разных фирм, образцы некоторых приведены на рис. 5.8–5.9.

			
УОМЗ 4Т30П	4Т15П	3Т5КП	УОМЗ 3Т2КП
30 000 руб.	35 000 руб.	40 000 руб.	48 000 руб.

Рис. 5.8. Оптические российские теодолиты

		
ADA PROF-X6	Geobox OT-05	TDJ-6E (6"), фирмы BOIF (КНР)
26 990 руб.	33 900 руб.	

Рис. 5.9. Оптические теодолиты зарубежного производства

Электронные теодолиты отличаются от оптических наличием дисплея, который позволяет исключить ошибку снятия отчета. На дисплее отображаются измеренные горизонтальные и вертикальные углы. Электронный теодолит позволяет работать в темное время суток. Недостаток электронных приборов – невозможность работы при температуре ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ни рис. 5.10 приведены образцы российского (УОМЗ) и зарубежных электронных теодолитов.

			
YOM3 2T5ЭН1 61 750 руб.	VEGA TEO-5B 35 100.00 руб.	Nikon NE 103 157 230 руб.	Topcon DT-202 196 657 руб.

Рис. 5.10. Электронные теодолиты

Лазерный теодолит — специальный геодезический прибор (рис. 5.11), представляющий собой комбинацию оптического теодолита и оптического квантового генератора (ОКГ) вместо зрительной трубы, создающий в пространстве ориентированную видимую световую линию и предназначенный для геодезического сопровождения при прокладке тоннелей, строительстве дорог, аэродромов, мостов и путепроводов, монтаже конструкций. Луч лазера может идти вдоль визирной оси либо параллельно ей на небольшом расстоянии (до 10 см).



Рис. 5.11. Лазерный теодолит Topcon DT-205L (132 919 руб.)

Способ индикации светового пятна ОКГ может быть как визуальной (по рейке, марке или марке-экрану с координатной сеткой), так и полуавтоматической и автоматической с использованием фотоэлектрических элементов и матричных фотоэлектрических систем. Дальность действия лазерных приборов при использовании фотоприемных устройств возрастает почти в 5 раз.

Имеют применение серийные оптические теодолиты с компактными лазерными насадками, имеющими автономное питание (встроенные батареи). Лазерные насадки тоже создают видимый луч и могут использоваться без приемника излучения на расстоянии до 100 м и с фотоэлектрическим приемником — до 500 м.

Приборы могут комплектоваться поворотной пентапризмой, позволяющей строить лазерные опорные плоскости.

В последние годы в практике строительного-монтажных работ стали находить применение лазерные электронные теодолиты, совмещающие в себе достоинства лазерного теодолита и электронного тахеометра.

В зависимости от допускаемой погрешности измерения горизонтального угла одним приемом в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 10529–96 теодолиты следует подразделять на следующие типы и группы:

- высокоточные типа Т1;
- точные типа Т2 и Т5;
- технические типа Т15, Т30 и Т60.

Основные области применения групп теодолитов

Высокоточные и точные теодолиты предназначены для измерения углов в государственных геодезических сетях и в прикладной геодезии.

Высокоточные и точные автоколлимационные теодолиты используют для контрольно-измерительных работ и в прикладной геодезии.

Точные и технические нашли применение при измерение углов в геодезических сетях сгущения и съемочных сетях, в теодолитных и исполнительных съемках, в прикладной геодезии.

Маркшейдерские работы на поверхности и в подземных горных выработках выполняются точными и техническими маркшейдерскими теодолитами.

Основные функции теодолита изложены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Функции, выполняемые теодолитами

Функция	Применяемость функций для групп теодолитов		
	высоко-точных	точных	технических
1 Измерение горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний)	+	+	+
2 Измерение расстояний нитяным дальномером	–	+	+
3 Измерение углов при крутых визированиях	+	+	–
4 Проектирование вертикальных линий (створа) с помощью призмы 90° в виде насадки на объектив трубы	–	–	+
5 Измерение магнитных азимутов по ориентир-буссоли	–	+	+
6 Приспособленность для работы со светодальномерной насадкой	–	+	+
7 Измерения по трехштативному методу с использованием визирных целей	–	+	–
8 Измерение превышений горизонтальным лучом	–	+	+
9 Астрономические определения	+	+	–
10 Измерения в ночных условиях с использованием комплекта электрооборудования	+	+	+
11 Применение в качестве коллиматора на основе окулярной подсветки	+	+	–
12 Измерение автоколлимационным методом (для теодолитов с двусторонним отсчетом по лимбу)	+	+	–
13 Измерение горизонтальных углов с автоматическим учетом положения вертикальной оси (для электронных теодолитов)	+	+	+

В условное обозначение теодолита входит обозначение типа и исполнения теодолита. В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений:

- с уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется);
- К – с компенсатором углов наклона;
- А – с автоколлимационным окуляром;
- М – маркшейдерские;
- Э – электронные.

Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе. Если теодолит имеет зрительную трубу прямого изображения, то в условное обозначение теодолита добавляют букву П. Примеры обозначений:

1 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 2" с компенсатором углов наклона, автоколлимационный: *T2КА*.

2 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 30" с уровнем при вертикальном круге и зрительной трубой прямого изображения, маркшейдерский: *T30МП*.

3 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 5", электронный: *T5Э*.

Для модификаций теодолитов допускается перед условным обозначением теодолита указывать порядковый номер модели, например 3Т2КА.

В настоящее время в эксплуатации имеется многообразие приборов различного производства, пользуясь табл. 5.4, можно подыскать равноточные.

Таблица 5.4

Соответствие теодолитов российской классификации

Группа	Тип равноценных теодолитов
Высокоточные Т02; Т05	ОТ-02; ОТ-05; УВК (СССР); ТС 1610Е (Россия); ТС1610 Wild «Leica» (Швейцария)
Высокоточные Т1	Т1; УВК (СССР); ДКМ-3 (А); Т3; ТС1610 Wild «Leica» (Швейцария); GTS702 (Япония)
Точные Т2	ТБ-1 (3); 2Т2 (А) (СССР); ТНЕО 010 А(В) Dahlta 010 «К. Цейсс» (ГДР); Те-В1 (3) (Венгрия); GTS211 D; GTS712; GTS713; Geodimetr 610 M; Sokkil, Poverset, Set4000 (Япония)
Точные Т5	Т5К; 2Т5; 2Т5К; 2Т5КП; 3Т5КП; ОТ Ш; ТТ-4; Та3М; 2Та5 (СССР); ТС600Е (Россия); ТНЕО 020 А (В), Dahlta 020 «К. Цейсс» (ГДР); ТС600 Wild «Leica» (Швейцария); Sokkil, Poverset, Set4010 (Япония)
Технические Т15	Т15К (М); ТТ-5 (СССР); ТНЕО-080 (А) «К. Цейсс» (ГДР)
Технические Т30	Т30; ТМ-1; ТОМ (СССР); 2Т30 (П) (М) (Россия); ТНЕО-120 «К. Цейсс» (ГДР)
Технические Т60	Т60; 2А ШТ (СССР)

5.4. Требования, предъявляемые к теодолитам

Требования устойчивости к внешним воздействиям

Теодолиты должны быть работоспособны при воздействии следующих климатических факторов:

– температуры от минус 30 до плюс 50°C, относительной влажности 95% при температуре 20°C для **высокоточных оптических теодолитов** (кроме электронных);

– температуры от минус 40 до плюс 50°C, относительной влажности 98% при температуре 20°C для **оптических точных и технических теодолитов**;

– температуры от минус 20 до плюс 50°C, относительной влажности 95% при температуре 20°C для **электронных теодолитов всех групп**. По заказу потребителя высокоточные электронные теодолиты должны быть работоспособны в окружающей среде при воздействии температуры минус 25°C,

Требования устойчивости к механическим воздействиям

Теодолиты в упаковке должны быть вибро- и ударопрочными и выдерживать следующие механические нагрузки:

– синусоидальную вибрацию с ускорением 19,6 м/с² (2 g) в диапазоне частот 20–60 Гц для высокоточных теодолитов и ускорением 49 м/с² (5 g) в диапазоне частот 20–80 Гц для точных и технических теодолитов;

– многократные удары с длительностью ударного импульса 5 мс с ускорением 98 м/с² (10 g) для высокоточных теодолитов и ускорением 147 м/с² (15 g) для точных и технических теодолитов;

– одиночные удары с длительностью ударного импульса 3 мс с ускорением 196 м/с² (20 g) для высокоточных теодолитов и ускорением 294 м/с² (30 g) для точных и технических теодолитов.

Укладочные футляры к теодолитам должны быть изготовлены в брызго- и пылезащищенном исполнении. Футляры для маркшейдерских теодолитов должны быть в герметичном исполнении, позволяющем приборам выдерживать нахождение в воде в течение 1 ч на глубине не более 1 м.

Требования к сроку службы: средняя наработка на отказ должна быть не менее: 2300 ч для выпускаемых теодолитов; 3000 ч для вновь разрабатываемых и модернизируемых теодолитов.

Среднее время восстановления работоспособного состояния при мелком и текущем ремонте должно быть не более 2 ч для теодолитов типов Т1, Т2 и электронных теодолитов и не более 1 ч для теодолитов остальных типов и исполнений.

Критерием предельного состояния является необходимость проведения ремонта с затратами более 50 % стоимости нового теодолита.

Основные параметры и размеры теодолитов приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Основные параметры и размеры теодолитов

Параметр	Значение для теодолита типа					
	T1	T2	T5	T15	T30	T60
1 Допускаемая средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом:						
горизонтального угла	1"	2"	5"	15"	30"	60"
вертикального угла	1,2"	2,5"	8"	25"	45"	90"
2 Диапазон измерения углов:						
2.1 горизонтальных	0–360°					
2.2 вертикальных:						
для маркшейдерских теодолитов	От –90 до +90°					
для остальных теодолитов	От –55 до +60°					
3 Увеличение зрительной трубы, не менее	40х	30х		25х	20х	15х
4 Диаметр входного зрачка, мм, не менее	50	35			25	
5 Наименьшее расстояние визирования, м, не более:	1,0		0,8	0,5		
6 Номинальная цена деления цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга	10"	15"	20"	30"	45"	60"
7 Масса, кг, не более:						
теодолита	11	4,7	4,3	3,5	2,5	2,0
футляра	5	4		3	1,5	

Высокие требования предъявляют к осевым, закрепительным и наводящим устройствам угломерных инструментов. Например, в высокоточных теодолитах угловые колебания вертикальных осей не превышают 2", в пассажных инструментах допустимая неправильность формы их цапф, на которых вращается зрительная труба, составляет доли микрона. Закрепительные устройства не должны вызывать упругих деформаций в осевых сис-

темах и смещений закрепляемых частей инструмента в момент закрепления. Наводящие устройства должны осуществлять весьма тонкие перемещения частей инструмента, например повороты с точностью до долей секунды.

Зрительные трубы угломерных и др. геодезические инструменты имеют увеличения в 15–40 раз. Наиболее распространены трубы с внутренней фокусировкой, снабженной телеобъективом, заднюю компоненту которого, называемую фокусирующей линзой, можно передвигать для получения отчётливого изображения различно удалённых предметов. Точность визирования трубой зависит как от её увеличения, диаметра отверстия объектива, качества изображения, так и от формы, размеров, освещённости и контрастности визируемой цели. С увеличением дальности до цели большее значение приобретает влияние атмосферных помех, снижающих контраст и вызывающих колебания изображения цели. В идеальных условиях хорошие трубы с увеличением в 30–40 раз дают ошибку визирования около 0,3".

5.5. Устройство оптического теодолита на примере 2Т30М

Теодолит относится к типу повторительных, средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла $30''$; выпускается в маркшейдерском исполнении (М), группа унификации – 2. Внешний вид прибора на штативе приведен на рис. 5.12, а. Теодолит устанавливается на штатив основанием, которое имеет резьбовое отверстие для закрепления станковым винтом (рис. 5.12, б). Здесь же показан груз нитяного отвеса (рис. 5.12, в), с помощью которого производят установку теодолита над вершиной измеряемого угла. Нить отвеса крепится к станковому винту в нижней части.

Нитяные отвесы могут иметь разнообразную форму, в конструкциях теодолитов могут иметься оптические или лазерные центры (рис. 5.13).

Съемные центры или лот-аппараты, имеют два взаимно перпендикулярных цилиндрических уровня, они предназначены для центрирования и горизонтирования трегера.

а)



б)



в)



Рис. 5.12. а) Внешний вид теодолита 2Т30М на штативе;
б) становой винт; в) груз нитяного отвеса

Ножки штатива фиксируются винтами (барашки), в одной из ножек штатива – отверстие для переноски отвеса. Штатив оснащен заплечным ремнем. Высота штатива регулируется и составляет в сложенном виде примерно 110 см, при максимально выдвинутых ножках – 175 см. При хранении и переноске ножки штатива складывают и затягивают ремнем.

Головка штатива плоская, ее диаметр 160 мм, в середине имеется отверстие для центровки диаметром 64 мм.



Рис. 5.13. Виды отвесов

На рис. 5.14 приведены различные виды трегеров. Трегер или съемная подставка образованы основанием 1 и подъемными винтами 2 (рис. 5.15) Для отделения вращающейся части теодолита от подставки нужно отпустить закрепительный винт 3 и оттянуть пружинящую защелку 4.



Рис. 5.14. Трегеры для теодолитов

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

Отделяемая от подставки часть теодолита имеет закрытый кожухом горизонтальный круг 5, который называется лимбом. Лимб – это стеклянное кольцо с делениями от 0 до 360 градусов,

нанесенными по часовой стрелке и оцифрованными через 1° . Деления лимба проецируются с помощью оптической системы в поле зрения отсчетного устройства. Плоскость лимба, являющаяся плоскостью горизонтальных проекций углов, при работе устанавливают горизонтально.

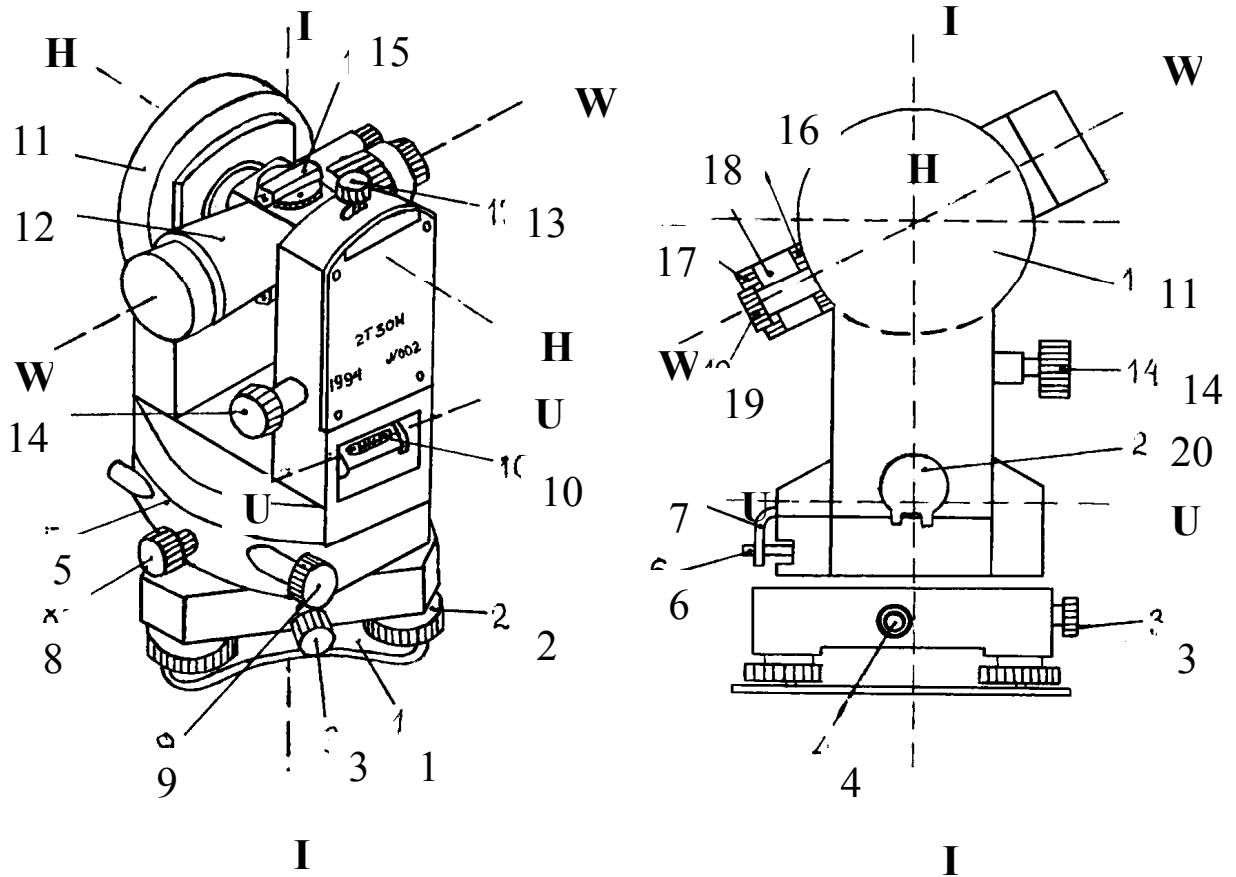


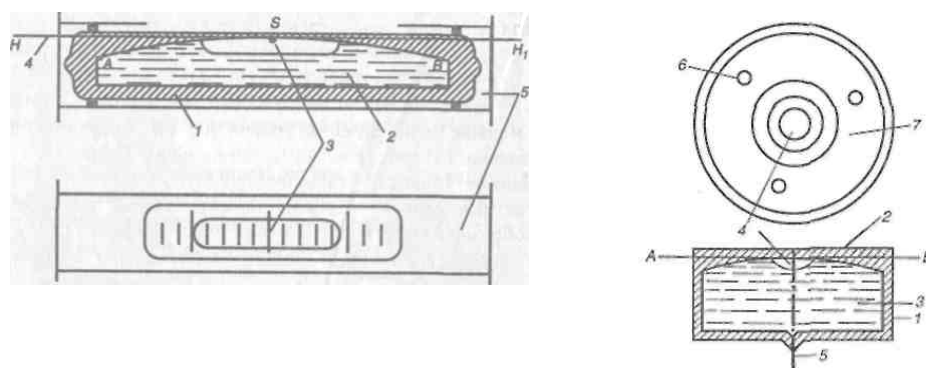
Рис. 5.15. Основные части теодолита 2Т30М

Теодолит снабжен повторительным устройством 6, 7. При нажатии рычага 7 вниз лимб скрепляется с осью и при ее вращении отсчет по горизонтальному кругу не меняется. Нажатием фиксатора 6 в сторону теодолита лимб освобождается от оси и становится неподвижным. Теперь при вращении прибора по азимуту (в горизонтальной плоскости, относительно лимба) отсчет по горизонтальному кругу будет меняться.

Алидада – дословно означает «линейка». У горизонтальных кругов алидадная часть расположена и вращается над лимбом. На ней закреплена оптическая зрительная труба, на ней также распо-

ложен индекс или шкала отсчетного приспособления и поэтому она позволяет определять на лимбе направление трубы, наведенной на визирную цель – предмет наведения, т. е. найти положение проектирующих плоскостей. Алидада вращается вместе с теодолитом при откреплении закрепительного винта 8. Наводящий (микрометричный) винт 9 работает только при закрепленном винте 8 и служит для более точного визирования. При работе с ним не допускается полное ввинчивание или вывинчивание винта. Необходимо следить, чтобы он находился в среднем положении. Желательно доводку выполнять путем ввинчивания винта 9.

На корпусе теодолита имеется цилиндрический уровень 10, с помощью которого ось вращения прибора ZZ приводится в отвесное положение подъемными винтами. С одной стороны уровень закреплен неподвижно, с другой – снабжен исправительными винтами. Виды уровней приведены на рис. 5.16.



Цилиндрический

Круглый

Рис. 5.16. Виды уровней

На колонке находится вертикальный круг 11, который состоит из лимба и алидады. Лимб жестко закреплен на оси вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней, при этом нулевой диаметр лимба ($0^\circ - 180^\circ$) должен быть параллелен визирной оси трубы. Алидада при вращении трубы остается неподвижной.

Если вертикальный круг расположен по правую руку наблюдателя, говорят о положении теодолита «круг право» – КП, если же вертикальный круг расположен по левую руку, то говорят о положении «круг лево» – КЛ.

Зрительная труба 12 может свободно вращаться вокруг го-

ризонтовой оси вращения НН при откреплении закрепительного винта 13, образуя вертикальные проецирующие плоскости. При ввинченном положении этого винта небольшое вращение зрительной трубы выполняется наводящим винтом 14. Для грубого наведения трубы на цель пользуются оптическими визирами 15, расположенными на зрительной трубе сверху и снизу.

Установка зрительной трубы на предмет выполняется вращением кремальеры 16, которая перемещает фокусирующую линзу. Установка трубы по глазу производится вращением диоптрийного кольца окуляра 17 до четкого изображения сетки нитей (рис. 5.17).

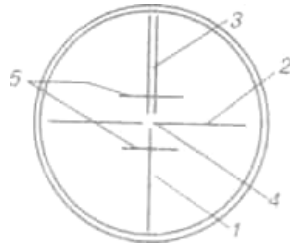


Рис. 5.17. Назначение нитей

1 — вертикальный штрих; 2 — горизонтальный штрих; 3 — биссектор;
4 — перекрестие нитей; 5 — дальномерные нити

Виды сеток нитей разных теодолитов отличаются (рис. 5.18).

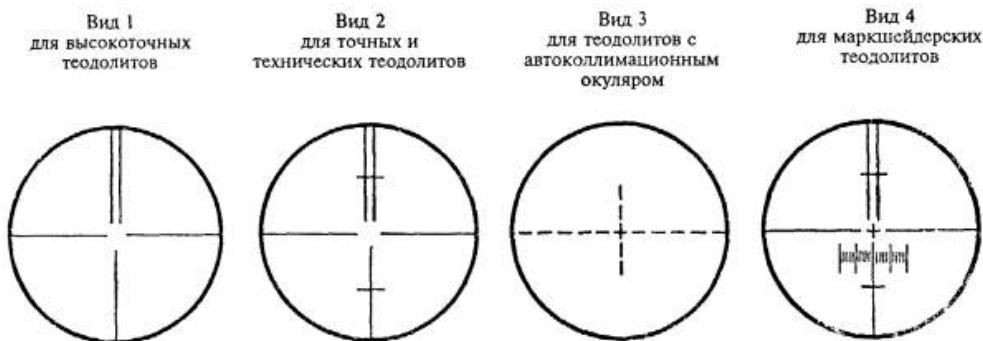


Рис. 5.18. Виды сеток нитей зрительных труб теодолитов

Между кремальерой и диоптрийным кольцом имеется съемное кольцо 18, которое закрывает сетку нитей.

Рядом с окуляром зрительной трубы расположен окуляр отсчетного микроскопа 19, с помощью которого снимают отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам. Шкаловый микро-

скоп – устройство, позволяющие значительно повысить точность отсчитывания долей делений на лимбе. Вращением диоптрийного кольца окуляра микроскопа 19 добиваются четкого изображения отсчетных шкал. При этом зеркало подсветки 20 должно быть открыто.

5.6. Оптическая схема теодолита 2Т30М

Оптическая схема теодолита состоит из двух частей: схемы отсчетной системы и схемы зрительной трубы (рис. 5.19).

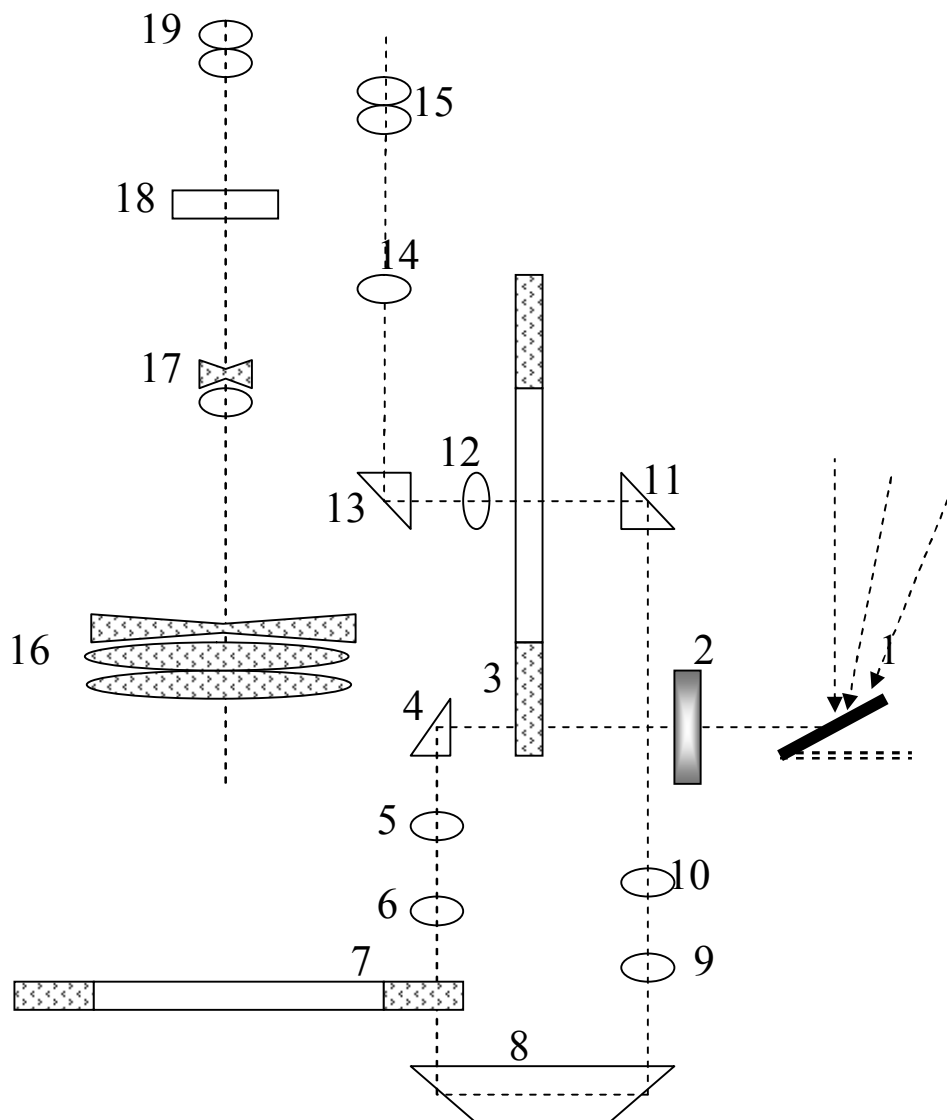


Рис. 5.19. Оптическая схема теодолита 2Т30М

Отсчетная система односторонняя. Луч света от зеркала 1

через иллюминатор 2 попадает на лимб вертикального круга 3, штрихи которого призмой 4 и линзами 5, 6 объектива проецируются на плоскость лимба горизонтального круга 7. Далее изображения штрихов обоих лимбов призмой 8, линзами 9, 10 и призмой 11 проецируются на плоскость конденсатора 12, где нанесены шкалы и диафрагма. Далее изображение направляется призмой 13 в объектив 14 и окуляр 15 микроскопа, с помощью которого производится отсчет по лимбам.

Оптическая схема зрительной трубы состоит из трехлинзового объектива 16, фокусирующей линзы 17, сетки нитей 18 и окуляра 19.

5.7. Порядок отсчитывания по шкаловому микроскопу

В поле зрения микроскопа (рис. 5.20) имеется две шкалы: горизонтального и вертикального кругов. Так как лимбы имеют оцифровку через 1 градус, то каждая шкала разделена на 60 частей и цена одного деления составляет 1 минуту. Для облегчения счета на шкале подписаны десятки минут.

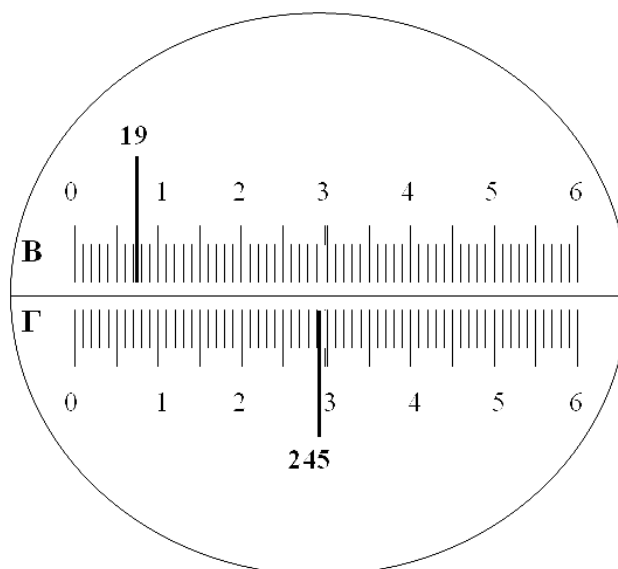


Рис. 5.20. Поле зрения отсчетного микроскопа:

В: отсчет по вертикальному кругу $19^{\circ}07'30''$

Г: отсчет по горизонтальному кругу $245^{\circ}29'00''$

Рассмотрим порядок взятия отсчета на примере горизонтального круга (рис. 5.20):

1) число градусов – 245 (длинный оцифрованный штрих, попадающий на шкалу);

2) число минут 29 (количество делений на шкале от 0 до градусного штриха 245);

3) число секунд определяется на глаз с точностью $0,5' = 00''$.

Если градусный штрих совпадает с минутным делением, то число секунд равно 0, если же градусный штрих находится между двумя минутными, то число секунд 30, как и в нашем примере.

Полный отсчет по горизонтальному кругу составит $245^{\circ}29'00''$. Отсчет по вертикальному кругу берется аналогично и равен $19^{\circ}07'30''$.

Другие марки теодолитов могут иметь иной вид шкалового микроскопа. На рис.5.21 приведены отсчетные устройства технических теодолитов.

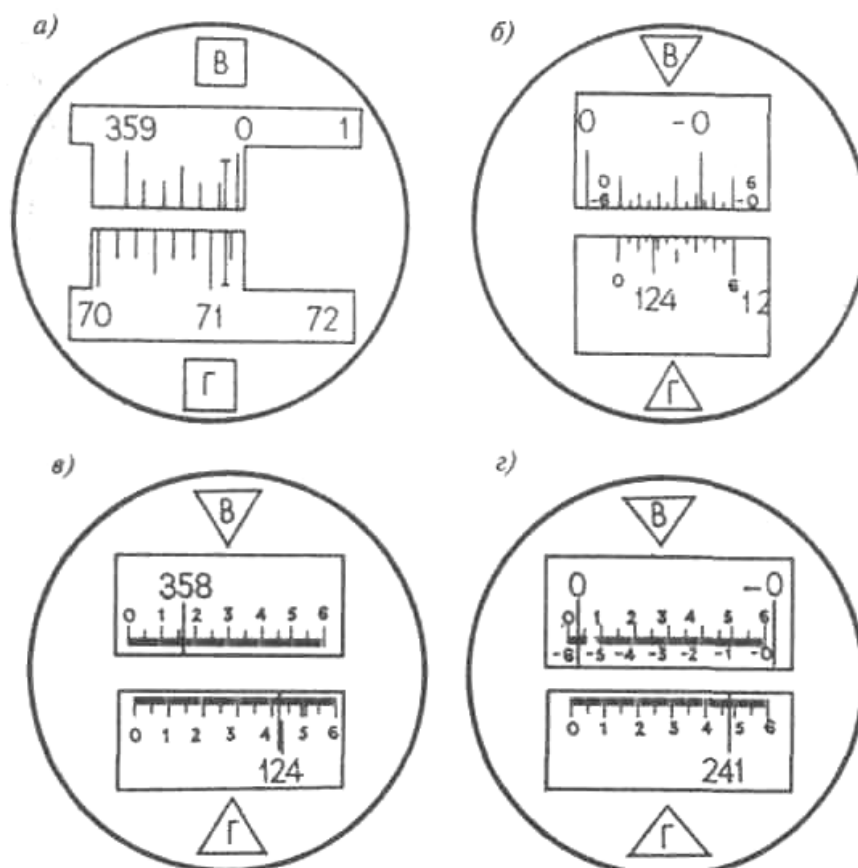


Рис. 5.21. Отсчетные устройства технических теодолитов

5.8. Основные поверки теодолита

На рис. 5.15 указаны основные геометрические оси теодолитов:

1) вертикальная ось вращения прибора II , или ось вращения алидады, является соосной с осью лимба, при работе ее устанавливают вертикально, относительно нее определяют положение всех частей теодолита. При вертикальном положении оси нить отвеса или луч лазерного является видимым продолжением этой оси. Отвес должен проходить через вершину измеряемого угла и служит для центрирования прибора;

2) ось цилиндрического уровня $U_{\alpha}U_{\alpha}$ – это касательная к пузырьку цилиндрического уровня, всегда должна быть горизонтальной;

3) горизонтальная ось вращения зрительной трубы HH ;

4) визирная ось зрительной трубы WW – воображаемая линию, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива.

Все они должны находиться в определенных соотношениях друг с другом (рис. 5.22). Действия по проверке правильности этих соотношений и исправлению в случае нарушения называются **поверками**.

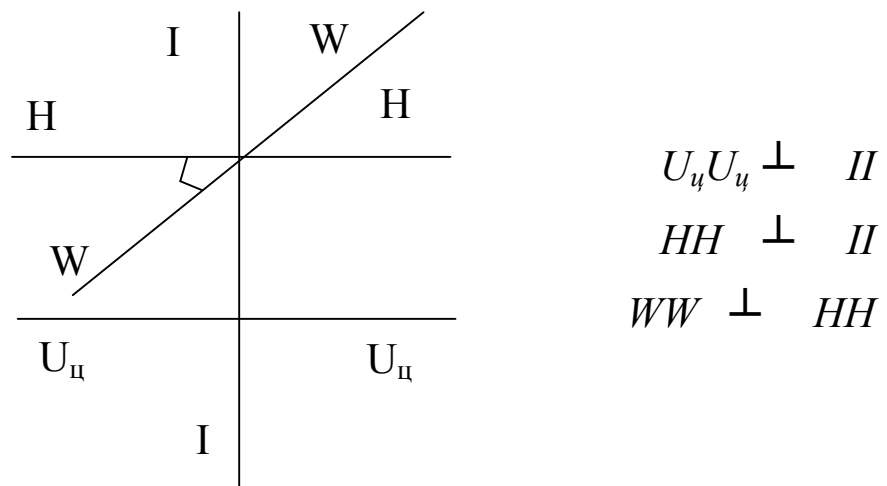


Рис. 5.22. Соотношение основных геометрических осей теодолита

Основные соотношения между осями:

1. $UzUz$ должна быть перпендикулярна II и быть горизонтальной (поверка цилиндрического уровня);
2. WW должна быть перпендикулярна HH (поверка коллимационной погрешности);
3. HH должна быть перпендикулярна II (поверка «неравенства подставок»);
4. $UvUv$ при отсчете по вертикальному кругу должна быть горизонтальной;

Рассмотрим выполнение основных поверок теодолита.

5.8.1. Поверка цилиндрического уровня

Формулировка: Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

Поверка выполняется в следующей последовательности:

- 1) уровень устанавливается параллельно двум подъемным винтам и, вращая их в противоположные стороны, выводят пузырек на середину (нуль-пункт) (рис. 5.23);

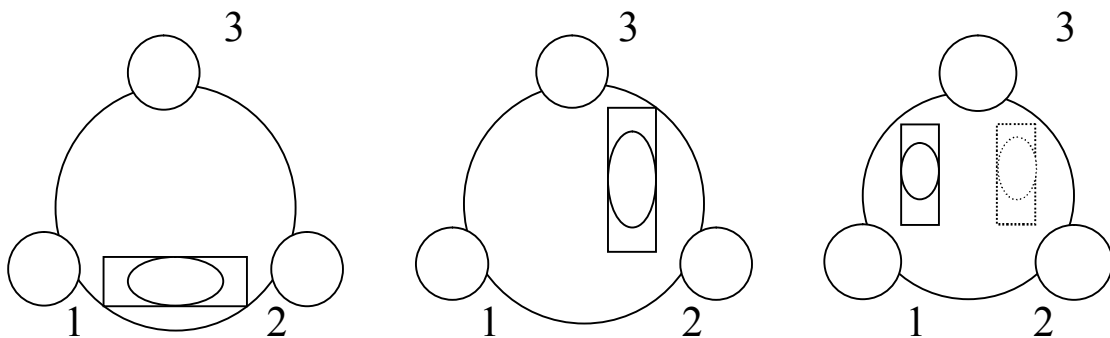


Рис. 5.23. Поверка цилиндрического уровня

- 2) поворачивают теодолит на 90° и выводят пузырек на середину по третьему винту;

3) поворачивают теодолит на 180° . Если пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. Если же пузырек ушел из нуль-пункта более чем на 1–1,5 деления, необходимо произвести исправление. Для этого перемещают пузырек к середине на половину дуги отклонения. При этом поднимают или опускают правый край ампулы, перемещая исправительные винты уровня

шпилькой (тонкой негнущейся провололочкой). А затем третьим винтом окончательно выводят пузырек на середину.

Исправление достигается в 2–3 приема.

Исправительные винты поворачивают с помощью шпильки (рис. 5.24). Если, например, для возвращения пузырька на $\frac{n}{2}$ делений нужно поднять край ампулы, необходимо шпильку вставить в отверстие верхнего винта и, вращая от наблюдателя, слегка (на четверть оборота) завернуть винт в основание.

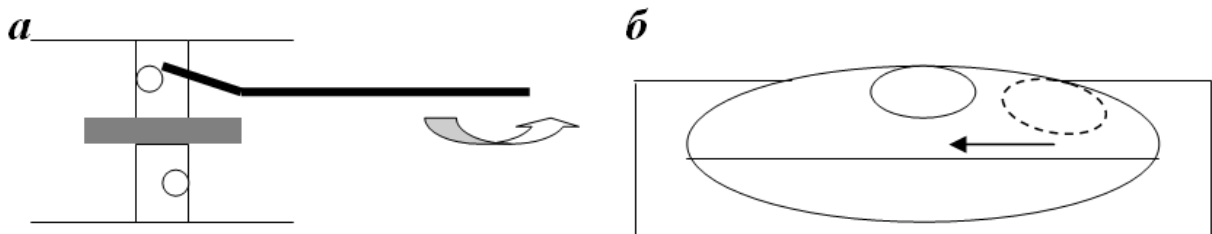


Рис. 5.24. Исправление шпилькой

Затем вставить шпильку в нижний винт и, вращая на наблюдателя, слегка вывернуть до того состояния, пока пузырек не переместится на одно деление влево. Это произойдет, т.к. ось уровня при этом слегка приподнимается.

В завершение операции исправления шпилькой затягивают верхний винт, вращая его в противоположном направлении (т.е. на наблюдателя).

На вторую половину $\frac{n}{2}$ пузырек возвращают к нуль-пункту с помощью подъемного винта 3.

Всю поверку повторяют, проверяя выполнение условия и одновременно окончательно приводя ось инструмента в вертикальное (отвесное) положение. При этом плоскость лимба горизонтального круга становится горизонтальной.

Особый случай исправления

Если при повороте алидады на 180° пузырек отклоняется очень сильно и упирается в край ампулы, то количество делений n , на которое он отклонился от нуль-пункта, определить невозможно. В этом случае определяют величину отклонения от нуль-пункта по оборотам подъемного винта 3. Для этого делают мелом

или мягким карандашом метку на подставке и на винте. Вращая винт, приводят пузырек в нуль-пункт, фиксируя дугу поворота метки на винте относительно неподвижной метки на подставке. Наполовину полученной дуги вращают подъемный винт в обратную сторону, уводя пузырек из нуль-пункта. Приводят его в нуль-пункт исправительными винтами, как было сказано выше.

5.8.2. Поверка сетки нитей

Формулировка: Горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярным оси вращения прибора.

Выполняется при исправленном цилиндрическом уровне следующим образом. Наводят трубу на нить отвеса, подвешенного в 5–10 м от теодолита. Вертикальный штрих сетки нитей должен совпадать с нитью отвеса. В противном случае снимают защитный колпачок 18 (рис. 5.15), ослабляют крепежные винты (1 на рис. 5.25) и поворачивают сетку нитей до нужного положения. Винты закрепляют.

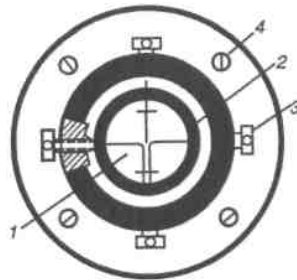


Рис. 5.25. Диафрагма сетки нитей: / — сетка нитей; 2 — диафрагма; 3 — исправительные винты; 4 — крепежные винты окулярной части

5.8.3. Поверка коллимационной ошибки

Формулировка: Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси ее вращения.

Угол C на который отклоняется визирная ось от перпендикуляра к оси вращения трубы, называют **коллимационной погрешностью**. Для ее выявления наводят центр сетки нитей на ясно видимый и значительно удаленный предмет, расположенный примерно на одном уровне с осью вращения трубы. Поочередно

при положении КП и КЛ снимают отсчет по горизонтальному кругу, т.е. записывают показания по шкаловому микроскопу.

$$C = \frac{КЛ - (КП \pm 180^\circ)}{2} \quad (5.1)$$

Повторно проводят измерения и вычисляют среднее значение коллимационной погрешности C_{CP} . Если значение C окажется равным или меньшим двойной погрешности $\leq \pm 2t$, то условие выполнено. При этом t – двойная точность отсчетного устройства, для теодолита типа Т30 $t = 1'$. В противном случае производят исправление: наводящим винтом алидады ее поворачивают настолько, чтобы по шкале горизонтального круга получился отсчет равный $КЛ_2 - C_{CP}$. При этом центр сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Снимают защитный колпачок на зрительной трубе (рис. 5.15, поз. 18). Ослабив один из вертикальных винтов сетки нитей, двумя другими винтами, расположенными горизонтально (рис. 5.15, поз. 3), перемещают сетку нитей до совпадения ее центра с изображением наблюдаемой точки. После этого поверку повторяют.

Результаты проверок вносят в журнал проверок, пример приведен в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Результаты проверки коллимационной ошибки

Измерение	Отсчеты по горизонтальному кругу		Коллимационная ошибка C ° ' "
	КЛ ° ' "	КП ° ' "	
1	25°05'00"	205°05'30"	- 0'15"
2	100°44'30"	280°45'00"	- 0'15"
$C_{CP} =$			- 0'15"
$M = КЛ_2 - C_{CP} = 100^\circ 44' 30'' - (-0^\circ 00' 15'') = 100^\circ 44' 45''$			

5.8.4. Проверка места нуля МО

Формулировка; Место нуля должно быть равно нулю и быть постоянной величиной.

Местом нуля МО называют отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси и оси цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга (рис. 5.26). МО должно быть равно 0° или близким к нему (в пределах $\pm 2'$).

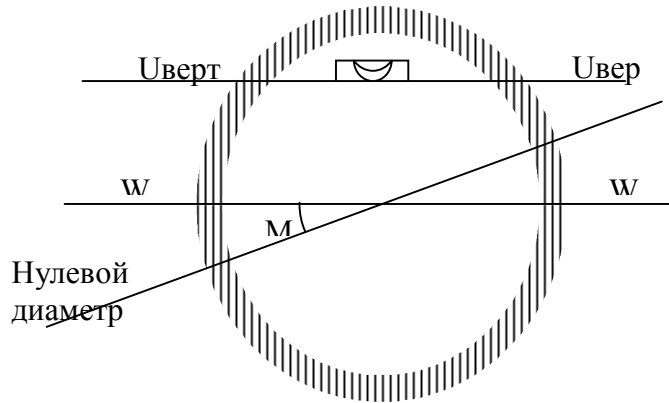


Рис. 5.26. Место нуля вертикального круга

Производство поверки заключается в последовательном наведении зрительной трубы на удаленную точку при двух положениях теодолита: при КЛ и КП. Однако отсчеты записывают по шкале вертикального круга. МО вычисляют дважды, записывают среднее значение, формула для вычисления:

$$MO = \frac{KL + KP \pm 180^\circ}{2} \quad (5.2)$$

Таблица 5.7

Результаты поверки места нуля (МО)

Измерение	Отсчет по вертикальному кругу		Место нуля МО ° ' "
	КЛ ° ' "	КП ° ' "	
1	6° 15' 00"	173° 44' 00"	- 0' 30"
2	8° 22' 00"	171° 37' 00"	- 0' 30"
			МО _{ср} = - 0' 30"

5.9. Установка теодолита в рабочее положение

Перед измерением углов на местности необходимо над каждой вершиной их устанавливать теодолит в рабочее положение.

Полная установка теодолита в рабочее положение складывается из следующих операций.

1) Центрирование, т.е. совмещение оси вращения прибора с вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса или оптического центрира. Штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался над точкой с точностью 2–3 мм.

2) Горизонтирование прибора, т.е. приведение оси вращения теодолита в отвесное положение, а плоскости лимба – в горизонтальное положение.

Предварительное горизонтирование прибора выполняется еще при установке штатива, т.е. головка штатива должна быть горизонтальна, подъемные винты подставки – выровнены. Точное горизонтирование выполняется подъемными винтами с использованием предварительно поверенного цилиндрического уровня. Для этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая эти винты, выводят пузырек уровня на середину. Поворачивают уровень на 90 градусов и третьим подъемным винтом приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

После горизонтирования проверяется центрировка. Острие отвеса должно находиться над вершиной измеряемого угла (при технических работах отклонение допускается до 5 мм). В противном случае, ослабив становой винт, перемещают теодолит по головке штатива до нужного положения. Становой винт закрепляют и снова выполняют операцию горизонтирования прибора.

Таким образом, центрирование и горизонтирование выполняются несколькими последовательными приближениями.

3) Установка зрительной трубы для наблюдений включает в себя: а) установку трубы и отсчетного микроскопа по глазу наблюдателя; б) установку трубы по предмету.

Установка трубы по глазу выполняется соответственно остроте зрения наблюдателя. Чтобы отчетливо видеть сетку нитей, направляют трубу на светлый предмет и вращением диоптрийного кольца окуляра (рис. 5.15, поз. 17) добиваются четкой видимо-

сти штрихов. Аналогично производится установка отсчетного микроскопа по глазу.

Установка трубы по предмету, т.е. фокусирование, выполняют с помощью кремальеры (рис. 5.15 поз. 16), добиваясь четкого изображения визирной цели. При наблюдении предметов, расположенных на разном расстоянии от прибора, фокусирование производится каждый раз заново.

5.10. Измерение горизонтальных углов способом приемов

Измерение углов выполняется поверенным теодолитом, который устанавливают в рабочее положение в вершине измеряемого угла C . На задней точке A и передней точке B по створу линий отвесно устанавливают визирные марки на штативах или вехи, на нижнюю часть которых выполняется визирование (рис. 5.27).

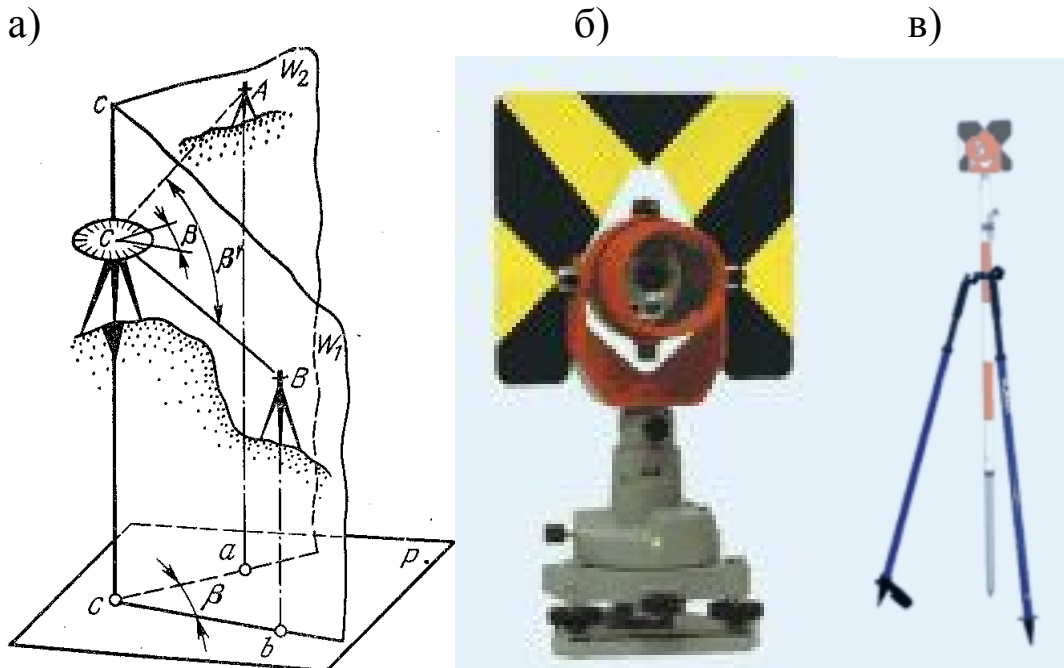


Рис. 5.27. Размещение теодолита
а) при измерении горизонтального угла
и типы визирных целей б), в)

Если визирование осуществляется на геодезический сигнал, при наведении совмещают визирный цилиндр с биссектором (рис. 5.28).



Рис. 5.28. Наведение сетки нитей на визирный цилиндр

В геодезии измеряют углы левые $\beta_{\text{лев}}$ и правые $\beta_{\text{пр}}$ по ходу. Сумма левого и правого угла в одной вершине составляет 360 градусов (рис. 5.29).

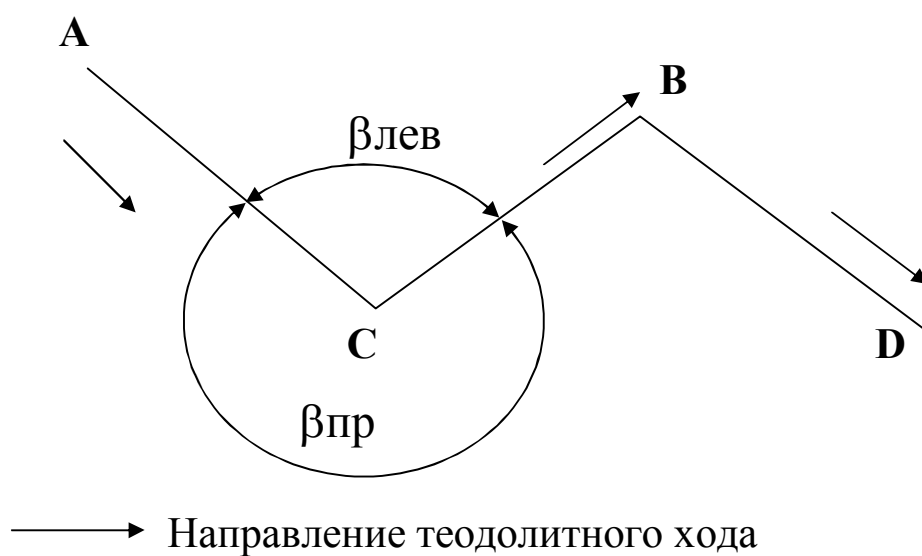


Рис. 5.29. Схема левых и правых углов

Измерение горизонтального угла способом приемов состоит из двух полуприемов: при положении теодолита КП и КЛ.

Перед началом работ надо проверить крепление теодолита в подставке (винт 3 на рис. 5.15 должен быть закреплен) и установить лимб горизонтального круга неподвижно (рычаг 7 на рис. 5.15 прижат к теодолиту).

5.10.1. Порядок работ при измерении левого по ходу горизонтального угла

Намерение начинается с первого полуприема, например, при круге лево КЛ.

1) Визируют на заднюю точку А следующим образом. Вначале по оптическому визиру зрительную трубу наводят от руки, пока визирная цель не попадет в поле зрения. Закрепляют зажимные винты алидады и трубы. Фокусируют зрительную трубу по предмету и выполняют точное визирование с помощью наводящих винтов трубы и алидады горизонтального круга.

2). Осветив зеркалом поле зрения оптического микроскопа, берут отсчет по горизонтальному кругу $a = 106^{\circ}26'00''$ и записывают его в журнал измерений (табл. 5.8).

Порядок записи отсчетов в журнале и обработки результатов измерений показан номерами.

Таблица 5.8

Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Дата 10. 06.08
Видимость хорошая

Теодолит 2ТЗОМ
N 1742

Наблюдал Иванов Г.
Вычислял Петров Т.

Точки		Круг	Отсчет по горизонтальному кругу ° ' "	Значение угла в полуприеме ° ' "	Среднее значение угла ° ' "	Схема расположения точек
стояния	визирования					
С	А	КЛ	106°26'00" (1)			
	В	КЛ	214°15'00" (2)	107°49'00" (3)		
					107°49'15" (7)	
	А	КП	291°40'00" (4)			
	В	КП	39°29'30" (5)	107°49'30" (6)		

3) Открепив алидаду, по часовой стрелке визируют на переднюю точку В, берут отсчет $v = 214^{\circ}15'00''$ по горизонтальному кругу и записывают его в журнал.

4) Значение левого по ходу угла β из первого полуприема определится

$$\beta_{\text{КЛ}} = v - a = 214^{\circ}15'00'' - 106^{\circ}26'00'' = 107^{\circ}49'00''$$

Если второй отсчет окажется меньше первого, то к нему прибавляют 360° (в уме). Порядок отсчетов менять нельзя, так как в этом случае будет получено значение правого по ходу угла.

5) Меняют положение теодолита с КЛ на КП. Для этого переводят трубу через зенит, (т.е. поворачивают ее вокруг оси вращения примерно на 180°) и поворотом алидады на 180° обращают окуляр зрительной трубы к наблюдателю.

Между полуприемами выполняют перестановку лимба на несколько градусов. Для этого нажимают на рычаг 7 (рис. 5.15) повторительного устройства и поворачивают лимб вместе с алидадой примерно на 2–3 градуса. Нажатием фиксатора 6 (рис. 5.15) в сторону теодолита освобождают лимб. Теперь можно выполнять второй полуприем.

6) При положении теодолита КП визируют на заднюю точку А, берут отсчет $a = 291^{\circ}40'00''$ и записывают его в журнал.

7) Вращая алидаду по часовой стрелке, визируют на переднюю точку В и записывают в журнал отсчет $v = 39^{\circ}29'30''$.

8) Вычисляют значение угла $\beta_{\text{КП}}$

$$\beta_{\text{КП}} = v - a = (39^{\circ}29'30'' + 360^{\circ}) - 291^{\circ}40'00'' = 107^{\circ}49'30''.$$

Расхождение результатов измерений $\beta_{\text{КЛ}}$ и $\beta_{\text{КП}}$ не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита, т. е. $\beta_{\text{КЛ}} - \beta_{\text{КП}} = \pm 2t$ (для теодолита 2ТЗОМ $2t = \pm 1'$). Если расхождение допустимо, то за окончательный результат принимают среднее значение угла

$$\beta = \frac{\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}}}{2} = \frac{107^{\circ}49'00'' + 107^{\circ}49'30''}{2} = 107^{\circ}49'15''$$

Значение измеренных углов в каждом полуприеме и среднее значение угла вычисляют на станции, пока не снят прибор.

5.10.2. Порядок работ при измерении правого по ходу горизонтального угла

Производится аналогично измерению левого угла. Разница заключается в порядке вычислений, т. к. правый угол в каждом полуприеме рассчитывается как разность отсчетов на заднюю и переднюю точки, т. е. $\beta = a - в$.

5.11. Измерение вертикальных углов

Вертикальные углы бывают двух типов: углы наклона и зенитные расстояния (рис.5.30).

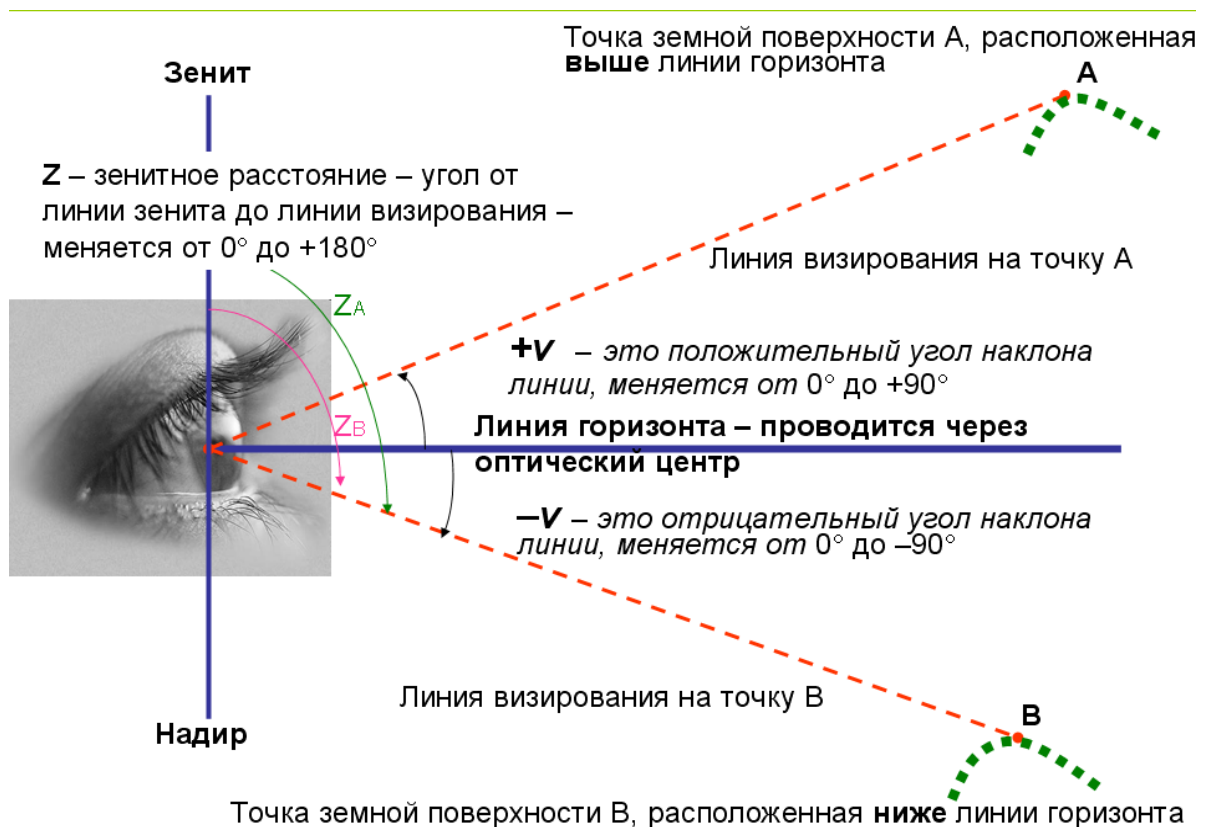


Рис. 5.30. Виды вертикальных углов

Зенитным расстоянием Z называют угол между линией зенита и визирным лучом теодолита. Он имеет значение от 0° до 180° . Углом наклона v называют угол между визирным лучом теодолита и горизонтальной плоскостью, приходящей через

центр вертикального круга. Угол лежит в пределах от 0° до 90° . Если наблюдаемая точка расположена выше этой плоскости, то угол будет положительным, если ниже – отрицательным. Чтобы измеряемый угол соответствовал углу наклона местности, необходимо, чтобы высота инструмента i и высота точки визирования v были равны ($i = v$).

При измерении угла наклона теодолит устанавливают над точкой А в рабочее положение и при круге лево (КЛ) визируют на веху, установленную в точке С (рис. 5.31).

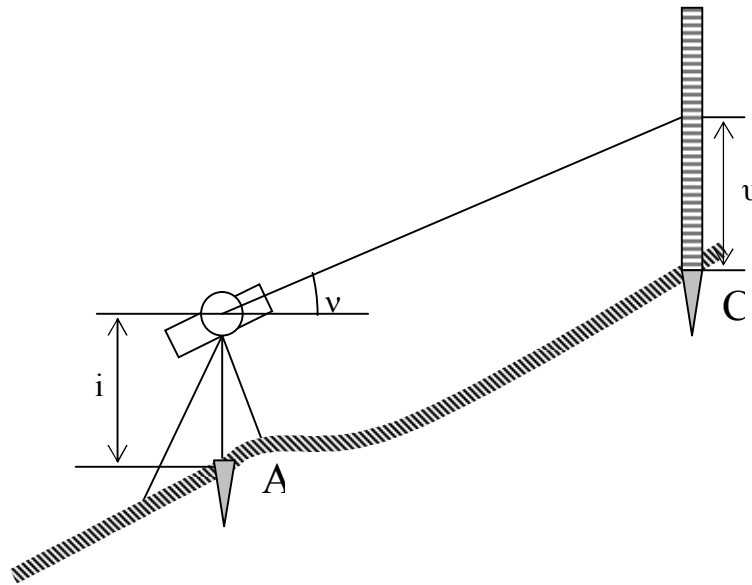


Рис. 5.31. Схема для измерения угла наклона

Точка визирования на вехе должна быть закреплена каким-либо образом (например, цветной лентой). Наводящим винтом зрительной трубы совмещают горизонтальный штрих сетки нитей с точкой визирования. Проверяют положение пузырька цилиндрического уровня, если необходимо, приводят его в нуль-пункт, и берут отсчет по вертикальному кругу, например, КЛ = $4^\circ 32'$, который записывают в журнал измерений (табл. 5.9). Для исключения влияния места нуля (МО) вертикального круга визируют на точку при положении теодолита КП и записывают отсчет по вертикальному кругу в журнал, например, КП = $175^\circ 29'$.

Таблица 5.9

Журнал измерения вертикального угла

Дата 12.06.94

Теодолит 2ТЗОМ

Наблюдал Иванов Н.

Видимость хорошая

N 1749

Вычислял Петров М.

Точки		Отсчеты по вертикальному кругу		Место нуля МО ' "	Угол* наклона ν ° ' "
стоя- ния	визирова- ния	КЛ ° ' "	КП ° ' "		
А	С	4° 32' 00"	175° 29' 00"	+ 0' 30"	4° 31' 30"

* – угол наклона необходимо вычислить по формулам 5.3 – 5.5, совпадение результатов является контролем правильности вычислений.

Вычисляют МО, оно должно быть равно 0° или близким к нему (в пределах $\pm 2'$):

$$MO = \frac{KL + KP \pm 180^\circ}{2} = \frac{4^\circ 32' + 175^\circ 29' - 180^\circ}{2} = 30''$$

Значение угла наклона линии визирования рассчитывается по одной из формул:

$$\nu = KL - MO; ; \quad (5.3)$$

$$\nu = MO - KP \pm 180^\circ: \quad (5.4)$$

$$\nu = \frac{KL - KP - 180^\circ}{2}. \quad (5.5)$$

При расчетах по указанным формулам надо прибавить 360° к уменьшаемому, если оно меньше вычитаемого.

5.12. Измерение дальномерных расстояний

Теодолит имеет встроенный нитяной дальномер для определения расстояний. Для этого на сетке нитей помимо основной горизонтальной нанесены две дальномерные нити: верхняя и нижняя. При измерении расстояния труба теодолита наводится на нивелирную рейку (рис. 5.32).

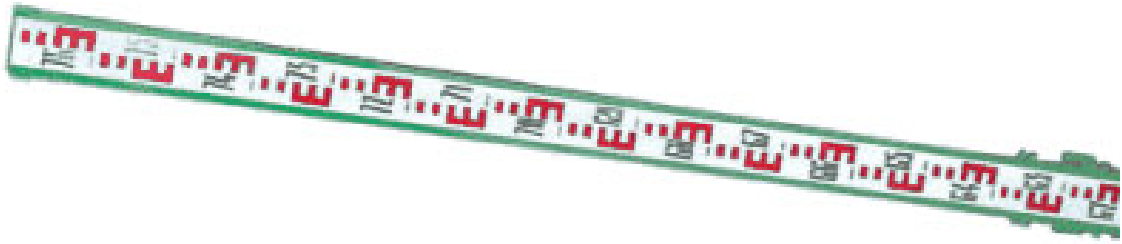


Рис. 5.32. Нивелирная рейка

Рейка имеет две стороны – основную, на которой чередуются черные и белые сантиметровые (шашечные) деления (черная сторона) и контрольную, на которой чередуются красные и белые деления (красную). Через каждые 10 сантиметров на каждой стороне нанесены числовые значения, означающие расстояние от пятки рейки. Для облегчения отсчитывания первые пять сантиметров каждого дециметра объединены в букву «Е». Отсчитывание по рейке выполняется по соответствующему штриху сетки нитей в следующей последовательности. Вначале записывают ближайшее к штриху меньшее дециметровое деление, подписанное на поверхности рейки. Затем отсчитывается число целых сантиметровых шашечек от начала текущего дециметра, и затем на глаз оценивается число миллиметров от начала текущего сантиметрового шашечки до штриха сетки нитей (рис. 5.33). Отсчеты по рейке всегда записывают в миллиметрах.

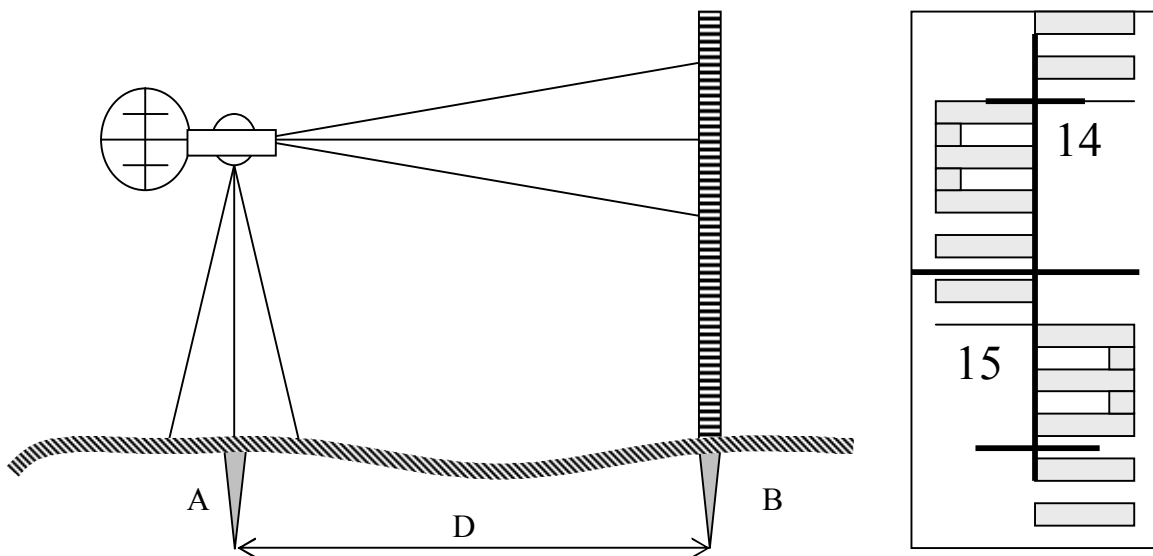


Рис. 5.33. Схема измерения расстояния нитяным дальномером

На рис. 5.33 отсчеты по дальномерным нитям составляют: верхней – 1400 мм; средней – 1479 мм; нижней – 1558 мм; расстояние $[(1558 \text{ мм} - 1400 \text{ мм}) \times 100] : 1000 = 15,8 \text{ м}$

Для измерения расстояния можно использовать любую сторону, важно при этом держать рейку в вертикальном положении.

Дальномерное расстояние определится по формуле:

$$D = K n, \quad (5.6)$$

где K – коэффициент нитяного дальмера, для дальномерных нитей $K = 100$, n – разность отсчетов между дальномерными нитями.

Расстояние D между точками А и В измеряют следующим образом. В точке А устанавливается теодолит, а в точке В – рейка (рис. 5.33).

Вертикальную нить сетки нитей наводят на середину рейки и берут два отсчета по дальномерным нитям: верхний 1400 мм и нижний 1558 мм. Подсчитывают расстояние, не забывая про размерность: отсчеты по рейкам записываются в миллиметрах, расстояние необходимо переводить в метры (делят результат на 1000):

$$D = (n - v)100 \quad (5.7)$$

$$D = (1558 \text{ мм} - 1400 \text{ мм}) \times 100 = 158 \text{ мм} \times 100 = 15800 \text{ мм} = 15,8 \text{ м}.$$

Для более быстрого подсчета расстояний следует запомнить, что разность дальномерных отсчетов, выраженная в сантиметрах, дает расстояние D в метрах.

Для удобства вычисления величины n при взятии отсчетов по рейке верхнюю нить наводят на любой круглый отсчет (начало дециметрового деления).

В тех случаях, когда рейка частично скрыта от наблюдателя растительностью или рельефом, расстояние можно определить, взяв отсчеты по средней нити и одной из дальномерных. При этом необходимо удвоить коэффициент дальмера, т.е. $K = 200$. Например, на рис. 5.33 отсчет по средней нити 1479 мм, по верхней 1400 мм.

$$\text{Тогда } D = (1479 \text{ мм} - 1400 \text{ мм}) \times 200 = 15,8 \text{ м}.$$

$$D = (h - v) \times 100 = (c - v) \times 200 = (h - c) \times 200 \quad (5.8)$$

Если угол наклона измеряемой линии $v \geq 2^\circ$, то по наклонное расстояние, измеренное нитяным дальномером, пересчитывают в горизонтальное проложение S по формуле:

$$S = D \times \cos^2 v. \quad (5.9)$$

5.13. Задачи для самостоятельного решения

1. Изучить устройство теодолита 2ТЗОМ.
2. Изучить и зарисовать в тетрадь оптическую схему теодолита 2ТЗОМ.
3. Изучить порядок отсчитывания по шкаловому микроскопу. Зарисовать в тетради поле зрения отсчетного шкалового микроскопа.
4. Зарисовать в тетради основные геометрические оси прибора. Изучить основные поверки теодолита и выполнить их, сделать вывод о пригодности прибора к работе.
5. Установить теодолит в рабочее положение.
6. Выполнить наведение теодолита на визирную цель.
7. Измерить один горизонтальный угол способом приемов. Результат записать в журнал измерения горизонтального угла. Зарисовать схему измеряемого угла с указанием названий визирных целей. Вершину угла и визирные цели задает преподаватель.
8. Измерить два вертикальных угла. Исходные направления задает преподаватель. Результаты записать в журнал измерения вертикальных углов. Зарисовать схемы измеренных углов.
9. Измерить расстояние от теодолита до рейки с помощью нитяного дальномера. Результат записать в тетрадь.
10. Сравнить результат измерения расстоянием, измеренным рулеткой. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения.

5.14. Контрольные вопросы

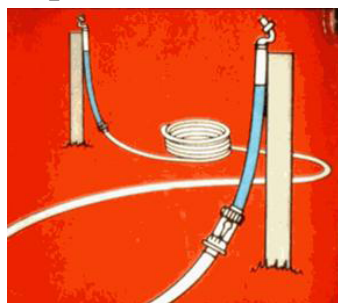
1. Для каких целей предназначен теодолит?
2. Перечислите виды теодолитов.
3. Когда появился первый теодолит?
4. Что представляет собой сетка нитей теодолита 2ТЗ0М?
Каково назначение каждой из ее нитей?
5. Разъясните оптическую схему оптического теодолита ТЗ0.
6. Что называется геометрической, оптической и визирной осями зрительной трубы теодолита?
7. В чем отличие кремальеры и диоптрийного кольца трубы?
8. Что понимают под коллимационной плоскостью теодолита?
9. Для чего предназначены подъемные винты теодолита?
10. Что такое поверка теодолита?
11. Перечислите основные поверки оптического теодолита.
12. Какими винтами пользуются при поверках теодолита?
13. Как измерить дальномерное расстояние с помощью теодолита?
14. Что такое станция при измерении углов?
15. Как измерить горизонтальный угол теодолитом?
16. Как измерить вертикальный угол теодолитом?

ТЕМА 6. Работа с нивелиром (лабораторная работа №6)

6.1. Краткая история и классификация нивелиров

Геодезические работы, в результате которых определяются превышения – разности высот точек местности, называются нивелированием. Обычно определяют превышение между отдельными точками земной поверхности и, зная абсолютную отметку одной из них, вычисляют отметки остальных.

В геометрическом нивелировании превышения определяют отсчетами горизонтальным лучом визирования по вертикальным рейкам, на которые нанесены сантиметровые деления. Геометрическое нивелирование осуществляется специальным геодезическим прибором – нивелиром, который можно считать одним из первых геодезических инструментов.



Первые сведения о водяном (гидростатическом) нивелире связывают с именами римского архитектора Марка Витрувия (1 в. до н. э.) и древнегреческого учёного Герона Александрийского (1 в. н. э.).

Дальнейшее развитие методов нивелирования связано с изобретением зрительной трубы (конец 16 в.), барометра (1648 г.), сетки нитей в зрительных трубах (1669 г.) и цилиндрического уровня (1768 г.).

В простейшем виде прибор просуществовал вплоть до 17 века, пока Галилей не дополнил его измерительной трубкой. Еще через несколько лет Иоганн Кеплер усовершенствовал нивелир, добавив к нему сетку нитей, а в 1674 г. Монтенари заменил обычные нити дальномерными. И все-таки более привычный для нас облик этот измерительный прибор приобрел только в конце 19 века, когда российский ученый-геодезист Д. Гедеонов изобрел оптический нивелир повышенной точности, ставший предком современной высокоточной оптики.

Метод геометрического нивелирования впервые был использован в 1847 г. при инженерных изысканиях Суэцкого канала. В 1871 г. Военно-топографический отдел Главного штаба России начал работы по созданию нивелирной сети страны, а в 1913 г. приступил к нивелированию высокой точности.

Сегодня нивелиры производят практически все страны, в том числе, высокоточные, точные, технические, лазерные, цифровые, гидростатические и баронивелиры. При этом используют следующие виды нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, стереофотограмметрическое, физическое (барометрическое, гидростатическое), а также определяют отметки с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

Из всех видов наиболее распространенным в геодезической практике является геометрическое нивелирование, которое выполняется нивелиром и двумя рейками (рис. 6.1). В отдельных случаях применяют методы тригонометрического (с использованием теодолита) и физического нивелирования.

Крупные зарубежные приборостроительные фирмы выпускают модельный ряд нивелиров, предназначенных для создания высотной опорной геодезической сети при топографической съёмке, а также для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, железных и шоссейных дорог.

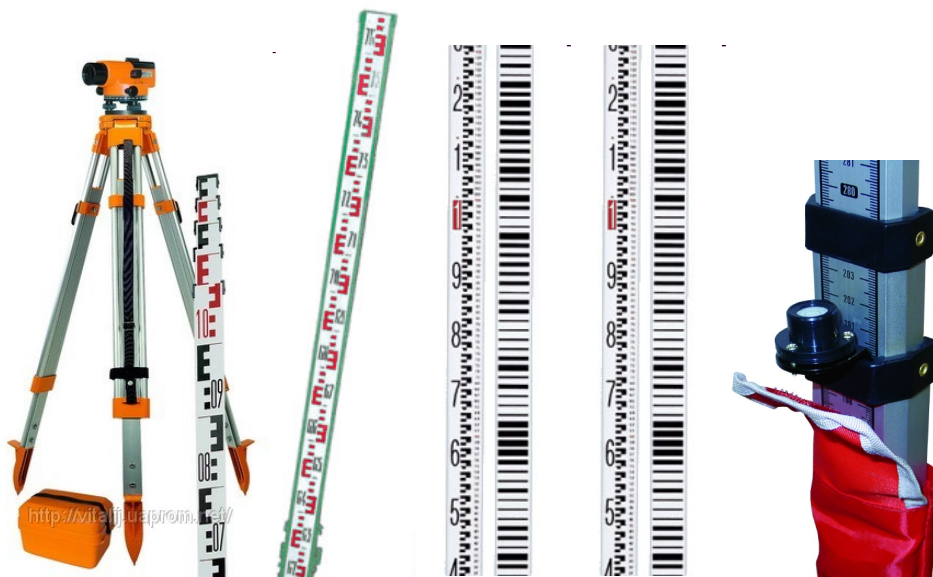


Рис. 6.1. Приборы для геометрического нивелирования

Созданные специально для инженерных и строительных работ нивелиры имеют небольшой вес для удобной транспортировки и полностью защищенную от воды зрительную трубу, что позволяет использовать их при любых погодных условиях.

В России для геометрического нивелирования в основном применяют нивелиры, выпущенные в соответствии с ГОСТ 10528-90, табл. 6.1.

Таблица 6.1

Основные параметры нивелиров (ГОСТ 10528-90)

Наименование параметра	Группа нивелиров		
	высокоточных	точных	технических
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода:			
для нивелиров с компенсатором	0,3	2,0	5,0
для нивелиров с уровнем	0,5	3,0	-
Увеличение зрительной трубы, крат, не менее	40	30	20
Диаметр входного зрачка зрительной трубы, мм, не менее	48	37	24
Наименьшее расстояние визирования, м, не более:			
без насадки	4,0	1,5	1,0
с насадкой на объектив	1,0	0,8	0,5
Коэффициент нитяного дальномера, крат	100 ± 1	100 ± 1	100 ± 1
Цена деления уровня при зрительной трубе, угл. сек. на 2 мм	10 ± /1	15 ± 1,5	-
Цена деления шкалы оптического микрометра, мм	0,05 ± 0,003	-	-
Масса, кг	5,0	2,0	1,6

Шифр каждого прибора состоит из буквы Н – нивелир и цифры, указывающей значение допустимой ошибки измерения превышения на 1 км двойного хода (мм). Если нивелир снабжен компенсатором или лимбом, то в условное обозначение добавляется соответственно буква К и (или) Л. Пример условного обозначения нивелира с допустимой средней квадратической ошибкой измерения превышения на 1 км двойного хода 5 мм с компенсатором и лимбом: Н-5КЛ ГОСТ 10528.

Согласно ГОСТу 11158-83 в комплекте с нивелиром выпускают три типа реек: РН-05, РН-3, РН-10. Условное обозначение нивелирной рейки состоит из букв РН; цифрового обозначения группы нивелиров (для высокоточных нивелиров – цифра 0,5; точных – 3, технических – 10), номинальной длины рейки и обозначения настоящего стандарта. Если рейка складная добавляется буква С, с прямым изображением – П.

Пример условного обозначения нивелирной рейки к техническим нивелирам номинальной длиной 3000 мм, складной с прямой оцифровкой нивелирной шкалы: РН-10-3000СП ГОСТ 10528. Основные нивелирных реек должны соответствовать указанным в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Основные параметры нивелирных реек (ГОСТ 11158-83)

Наименование параметра	Рейки к нивелирам групп		
	3000	3000	4000
Номинальная длина шкалы рейки, мм	1200	1500	4000
Длина интервала шкалы, мм	5	10	-
Допустимое отклонение, мм:			
длина деления шкалы	± 0,05	± 0,20	± 0,50
метрового интервала	± 0,10	± 0,30	± 1,00

В зависимости от того, каким способом визирный луч устанавливается в горизонтальное положение, нивелиры изготавливают в двух исполнениях:

– с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе, с помощью которого осуществляется горизонтирование визирного луча (рис. 6.2);

– с компенсатором – свободно подвешенная оптико-механическая система, которая приводит визирный луч в горизонтальное положение (рис. 6.3, 6.4).

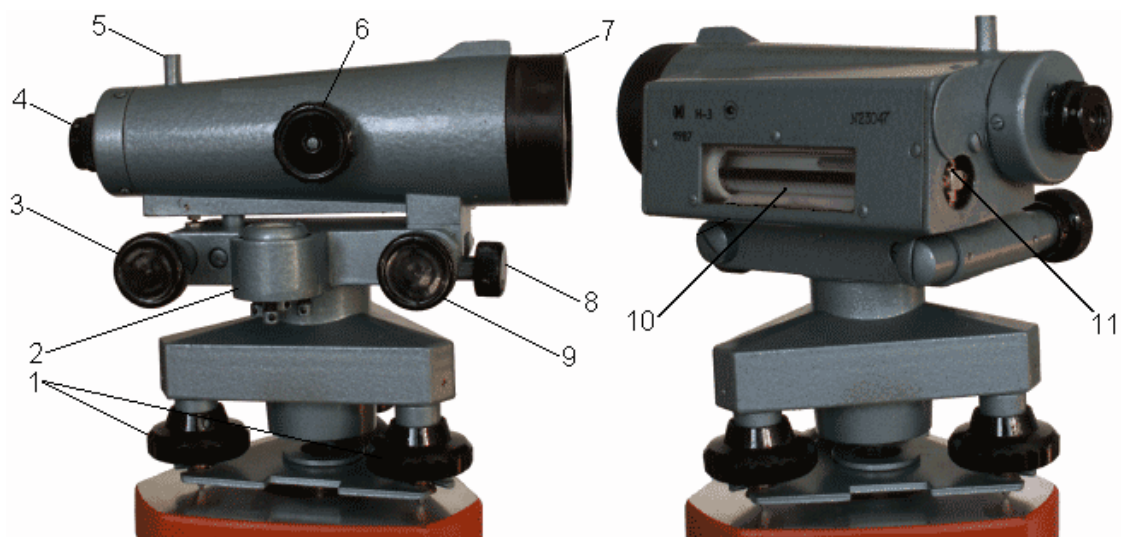


Рис. 6.2. Точный нивелир Н-3:

1 – подъемные винты; 2 – круглый уровень; 3 – элевационный винт; 4 – окуляр зрительной трубы с диоптрийным кольцом; 5 – визир; 6 – кремальера; 7 – объектив зрительной трубы; 8 – закрепительный винт; 9 – наводящий винт; 10 – контактный цилиндрический уровень; 11 – юстировочные винты

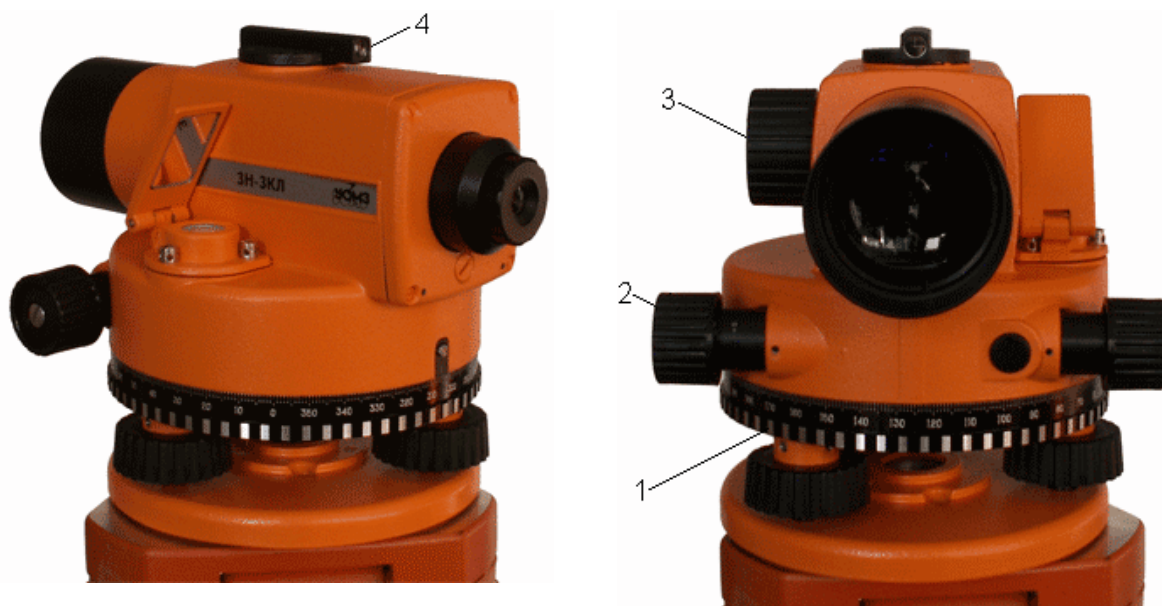


Рис. 6.3. Точный нивелир 3Н-3КЛ с компенсатором и лимбом:
1 – лимб; 2 – наводящий винт; 3 – кремальера; 4 – визир



Рис. 6.4. Технический нивелир 2Н-10КЛ

На рис. 6.5–6.9 приведен общий вид нивелиров иностранного производства (США, Япония, Швейцария).



Рис. 6.5. Оптический нивелир SOKKIA



Рис. 6.6. Оптический нивелир SETL



Рис.6.7. Электронный нивелир Trimble



Рис.6.8. Электронный нивелир Leica

В отличие от оптического *цифровой*, или *электронный*, нивелир снабжен электронным модулем, упрощающим снятие отсчетов. Все полученные данные выводятся на дисплей, могут запоминаться и сбрасываться на персональный компьютер. Применение электронных нивелиров позволяет исключить личные ошибки исполнителя и ускорить процесс измерений. Достаточно навести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать на кнопку. Прибор выполнит измерение, отобразит на экране полученное значение и расстояние до рейки. Цифровые технологии позволяют значительно расширить возможности нивелиров и области их применения. К недостаткам можно отнести высокую стоимость прибора и ограничение дальности наблюдений.



Рис. 6.9. Лазерный нивелир

Лазерный нивелир во многом отличается от описанных выше моделей. В нем отсутствует окуляр, а показания прибора пользователь снимает, глядя непосредственно на рейку вокруг устройства. Главная техническая особенность лазерного нивелира – наличие излучателей, формирующих лазерный луч, который образует на поверхности линию или точку. За счет этой линии или точки между рейкой и нивелиром образуется плоскость – горизонтальная или вертикальная. Лазерный нивелир оснащается ручным или автоматическим компенсатором, который может быть магнитным или электронным.

К достоинствам лазерных нивелиров следует отнести наглядность и расширенные возможности для работы: одновременное построение вертикальных и горизонтальных плоскостей и работа с основной плоскостью не в одной точке, а в нескольких. Но по точности эти устройства немного проигрывают оптическим. Они так же, как и цифровые, не могут работать на слишком больших расстояниях: максимум дальности определяется мощностью излучателей. Лазерный нивелир может использоваться для разбивочных и монтажных работ при строительстве объектов, для разметки и задания направлений, для автоматизации ландшафтных работ и многих других случаях.

На рис. 6.10 приведены технические параметры и стоимость цифровых нивелиров иностранных производителей.

6.2. Принцип геометрического нивелирования

Нивелированием называется совокупность измерений на местности, в результате которых определяют превышения между точками местности с последующим вычислением их высот относительно принятой исходной поверхности. Наиболее распространённым в практике является геометрическое нивелирование методом из середины.

При нивелировании из середины нивелир устанавливают на одинаковых расстояниях между точками 1 и 2 (рис. 6.11). В этих точках отвесно устанавливают нивелирные рейки. Приводят визирную ось нивелира в горизонтальное положение, и, последовательно визируя на рейки, берут отсчёты: по задней рейке – З, по передней – П.

Sokkia

Sokkia SDL50



- Цена: 88572 .-
- Точность - 1,5 мм.;
- Увеличение зрительной трубы - 28;
- Диапазон измерений - 1,6 - 100 м;
- Дисплей - ЖК графический, 128x32.

Sokkia SDL30



- Цена: 131864 .-
- Точность - 1,0 мм.;
- Увеличение зрительной трубы - 32;
- Диапазон измерений - 1,6 - 100 м;
- Дисплей - ЖК графический, 128x32.

Sokkia SDL1X



- Цена: 247490 .-
- Точность - 1 мм.;
- Увеличение зрительной трубы - 32 крата;
- Диапазон измерений - 1,6 - 100 м;
- Дисплей - ЖК графический, 192x80;

Leica

Leica Sprinter 50



- Цена: 50575 .-
- Точность - 2,0 мм.;
- Дальность измерения - 2-100 м;
- Увеличение зрительной трубы - 24 крата.

Leica DNA03



- Цена: 318500 .-
- Точность - 0,3 мм.;
- Дальность измерения - 1,8-110 м;
- Увеличение зрительной трубы - 24 крата

Trimble

Trimble DiNi 0.7



- Цена: 151111 .
- Точность - 2,0мм.;
- Дальность измерения - 1,5м. - 100м.;
- Дисплей - Графический ЖК / 240 x 160 пикселей, монохромный, с подсветкой.

Trimble DiNi 0.3



- Цена: 203262 .-
- Точность - 0,7мм.(точная инварная рейка со штрих-кодовой разметкой);
- Дальность измерения - 1,5м. - 100м.;
- Панель управления - графический дисплей 240x160 точек, 19 кнопок (алфавитно-цифровая).

Topcon

Topcon DL-101C



- Цена: 122700 .-
- Точность - ± 1.0 мм.;
- Увеличение - 32 X;
- Дисплей - LCD с подсветкой, 2 строки по 8 символов.

Рис. 6.10. Технические параметры и стоимость цифровых нивелиров

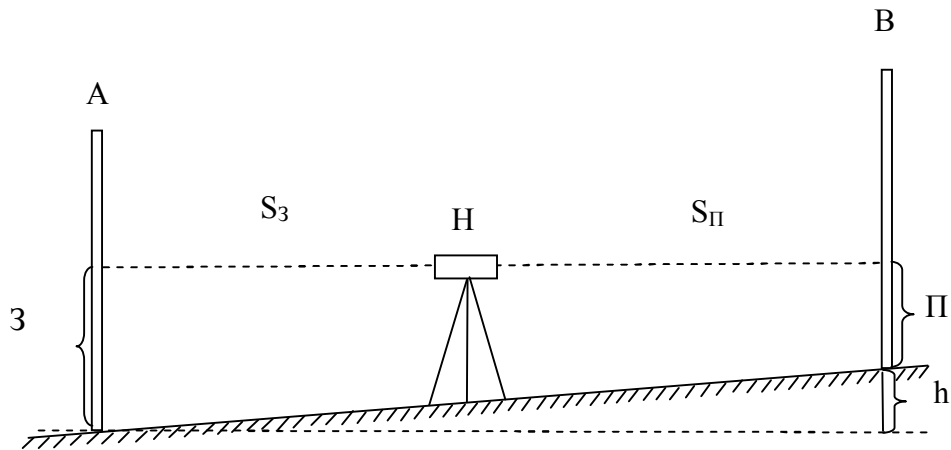


Рис. 6.11 Определение превышения на станции:

А – рейка задняя; В – рейка передняя; Н – нивелир; З – отсчёт по задней рейке; П – отсчёт по передней рейке; h – превышение; $S_з$ – расстояние до задней рейки; $S_п$ – расстояние до передней рейки

Превышение h при геометрическом нивелировании вычисляется по формуле

$$h = З - П.$$

Расстояние S от прибора до рейки определяется по дальномерным нитям

$$S = K_1(n - v);$$

$$S = K_2(n - c),$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты дальномера, равные 100 и 200; n – отсчёт по нижней нити, видимой в поле зрения трубы; v – отсчёт по верхней нити; c – отсчёт по средней нити.

6.3. Устройство оптического нивелира Н-3

Нивелир Н-3 наиболее часто применяется в шахтном строительстве и горном деле. При изучении устройства прибора необходимо произвести сначала внешний осмотр, затем найти все части и узлы, написать наименование частей нивелира в тетради, используя рис. 6.12.

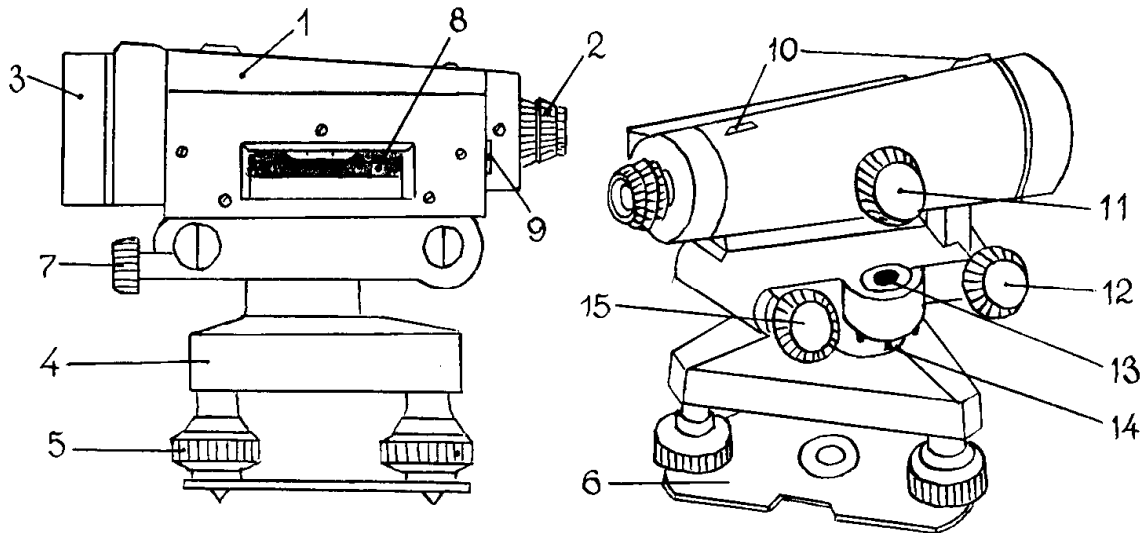


Рис. 6.12. Нивелир Н-3:

1 – зрительная труба; 2 – окуляр; 3 – объектив; 4 – трегер; 5 – подъёмный винт; 6 – соединительная пластина; 7 – закрепительный винт; 8 – цилиндрический уровень; 9 – исправительные винты цилиндрического уровня; 10 – прицел; 11 – кремальера резкости изображения; 12 – наводящий винт; 13 – круглый уровень; 14 – исправительные винты круглого уровня; 15 – элевационный винт

По конструкции изучаемый прибор марки Н-3 относится к нивелирам, визирная ось которых приводится в горизонтальное положение при помощи цилиндрического уровня. Сетка нитей в поле зрения трубы не имеет исправительных винтов.

В зависимости от взаимного расположения трубы и цилиндрического уровня, а также способа их соединения, нивелир Н-3 относится к глухим, у которых труба и цилиндрический уровень наглухо соединены подставкой. Зрительная труба вместе со скреплённым с ней уровнем может в небольших пределах наклоняться в вертикальной плоскости при помощи элевационного винта.

Изображение половинок концов пузырька уровня при помощи призмной системы передаётся в поле зрения трубы. Это позволяет контролировать положение пузырька в момент отсчёта по рейке.

6.4. Нивелирные рейки

В комплекте с нивелиром для определения превышений и расстояний используют нивелирные рейки (рис. 6.1). В шахтном строительстве и горном деле чаще всего используются нивелирные рейки марки РН-3 – трёхметровые, складные с шашечными сантиметровыми делениями на двух сторонах рейки (красной и чёрной). Погрешность определения превышения составляет 3 мм на 1 км хода. Для изготовления корпуса реек используется древесина отборного сорта по ГОСТ 8486-66. Рейка имеет детали: пятку, основную шкалу (чёрную) и дополнительную (красную).

Пятка рейки – это деталь рейки, рабочей поверхностью которой рейка устанавливается на точку (ГОСТ 1158-83).

Основная шкала – это шкала рейки, нулевое значение которой должно совпадать с рабочей поверхностью пятки рейки. Дополнительная шкала служит для контроля.

По всей длине рейки нанесены сантиметровые чередующиеся деления (шашки): на основной шкале – чёрные и белые (чёрная сторона), на другой (дополнительной) – красные и белые (красная сторона). Дециметровые деления рейки оцифрованы; первые пять шашек каждого дециметра объединены в виде буквы Е, что значительно облегчает отсчёты. На чёрной стороне нуль совпадает с пяткой рейки. Начало оцифровки красной стороны рейки смещено относительно чёрной стороны на некоторую величину. Обычно в комплект входят рейки, у которых с пятками красных сторон совпадают отсчёты 4687 и 4787, но могут быть и другие, например, 4700 и 4800. Разница отсчётов по чёрной и красной стороне рейки составляет разность высот нулей шкал и равна начальному отсчёту по красной стороне данной рейки.

Рейка не должна быть покороблена, раскраска не должна быть потёрта, пятка рейки должна быть плоскостью, перпендикулярной к оси рейки. Складные рейки должны иметь правильное соединение отдельных частей, то есть деления одной части являются продолжением другой.

6.5. Нивелирные башмаки

Нивелирный башмак – это подставка с ручкой и сферической головкой для установки нивелирной рейки, имеющая форму массивной плиты. Нивелирные башмаки обычно делают из чугуна или стали с тремя или четырьмя ножками, внизу заострёнными для удобства плотного закрепления в грунт. Вес башмаков около 5 кг (рис. 6.13). Башмаки устанавливают на промежуточных (связующих) точках нивелирных линий.

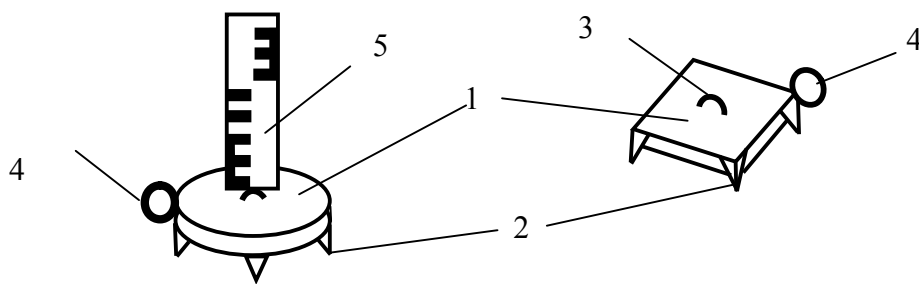


Рис. 6.13. Башмаки нивелирные:

1 – плоскость башмака; 2 – ножки башмака; 3 – овалый выступ для установки рейки; ручки для переноса башмака; 5 – нивелирная рейка

6.6. Отсчитывание

Отсчёт через зрительную трубу нивелира передаётся следующим образом. Зрительную трубу наводят на рейку, элевационным винтом приводят цилиндрический уровень в нуль-пункт и, чётко установив сетку нитей зрительной трубы при помощи кремальеры окуляра, определяют отсчёты по средней нити 4 (рис. 6.14) и по дальномерным нитям 3, 5 в момент, когда изображение концов пузырька уровня 1 совпадают в поле зрения трубы.

Для контроля на занятии нужно произвести отсчёты на станции, изобразив поле зрения трубы в тетрадах для лабораторных работ.

Отсчёты

по верхней нити $v = 1210 \text{ мм} \perp$

по средней нити $s = 1260 \text{ мм}$

по нижней нити $h = 1310 \text{ мм}$

Расстояние

$$S = 100(1310 - 1210) = 10000 \text{ мм} = 10 \text{ м}$$

$$S = 200(1310 - 1260) = 10000 \text{ мм} = 10 \text{ м}$$

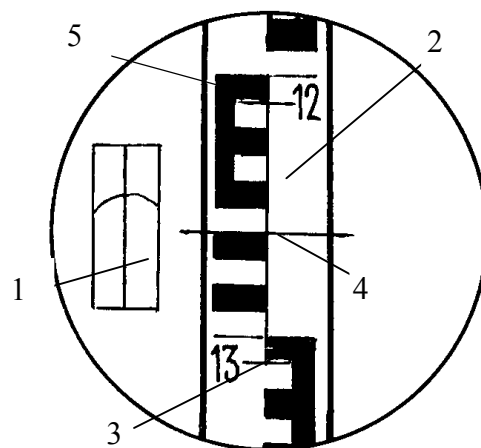


Рис. 6.14. Поле зрения трубы нивелира Н-3:

1 – изображение концов половинок пузырька уровня; 2 – изображение рейки; 3 – нижняя нить; 4 – средняя нить; 5 – верхняя нить

6.7. Поверки нивелира Н-3.

Перед началом работы с прибором необходимо произвести проверки. Проверки производят для того, чтобы обеспечить геометрическое условие взаимного расположения осей прибора (рис. 6.15).

VV' – визирная ось прибора

UU' – ось цилиндрического уровня

JJ' – ось вращения прибора

CC' – ось круглого уровня

$UU' \uparrow VV'$

$CC' \uparrow JJ'$

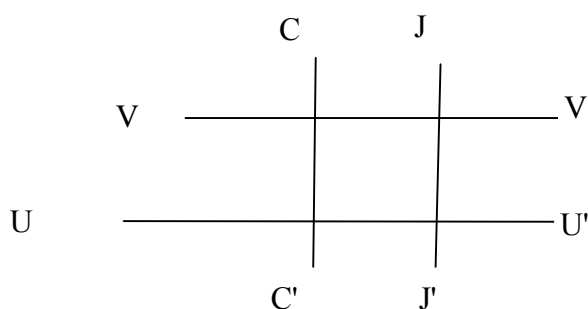


Рис. 6.15. Взаимное расположение осей нивелира

Проверки основных геометрических условий, предъявляемых к конструкции нивелиров типа Н-3, выполняются в следующей последовательности.

6.7.1. Поверка круглого уровня

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

Действуя тремя подъёмными винтами, приводят пузырёк круглого уровня в нуль-пункт (рис. 6.16). Затем поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° относительно исходного положения. Если пузырёк уровня остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае производят юстировку. Для этого определяют, относительно какого подъёмного винта и исправительного винта вышел пузырёк из нуль-пункта. Затем половину отклонения возвращают подъёмными винтами, а другую половину отклонения возвращают вращением исправительных винтов, находящихся под круглым уровнем 14 (рис. 14). После приведения пузырька уровня в нуль-пункт исправительными винтами, поверку повторяют вновь подъёмными винтами до выполнения условия.

- 1 – круглый уровень
- 2 – подъёмные винты
- 3 – корпус нивелира

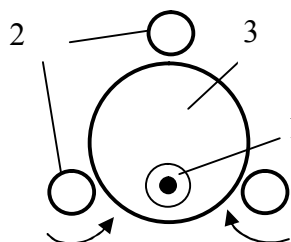


Рис. 6.16. Схема поверки круглого уровня

6.7.2. Поверка установки сетки нитей

Формулировка поверки: **Средняя нить сетки нитей должна быть горизонтальна.**

Производят поверку с помощью отвеса, подвешенного на расстоянии 20–25 м от нивелира. Нивелир должен быть предварительно отгоризонтирован по круглому уровню. Затем наводят на отвес зрительную трубу. Вертикальная нить сетки нитей при наблюдении в зрительную трубу должна совпадать с изображением нити отвеса. Перпендикулярность горизонтального и вертикального штрихов сетки нитей гарантируется заводом – изготовителем. Исправление возможно в лабораторных условиях.

6.7.3. Поверка угла i или поверка главного геометрического условия нивелира

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

Ошибку за несоблюдение главного условия чаще всего выражают углом i . Под углом i будем понимать угол в вертикальной плоскости между номинальным горизонтальным положением визирной оси нивелира и её фактическим положением. Для нивелиров с цилиндрическим уровнем при трубе (Н-3) предъявляется требование, чтобы при горизонтальном положении оси цилиндрического уровня визирная ось зрительной трубы также занимала горизонтальное положение или отклонялась от него не более допустимой величины угла i (для точных нивелиров $i \leq 20''$).

Для поверки угла i существует более шести способов. Рассмотрим один из них, обеспечивающий необходимую точность определения угла i при минимальных затратах труда и простоте обработки результатов. При этом способе поверку выполняют двойным нивелированием одной и той же линии.

Размечают на ровном участке местности линию длиной 50–70 м, которая закрепляется на концах кольями. В точку A (рис. 6.17) и в точку B ставят нивелирные рейки. На расстоянии 3–5 м от точки A (ст. 1) ставят нивелир по створу между точками и производят отсчёт по средней нити чёрной шкалы рейки в точке A , а затем производят отсчёт по средней нити чёрной шкалы рейки в точке B . Так получили отсчёт $З_A$ и $П_B$. Затем переносят прибор к точке B (ст. 2) на расстояние также 3–5 м от рейки B . Теперь ближнюю рейку в точке B считают задней и производят отсчёт $З_B$, а на рейку в точке A (дальнюю рейку) производят отсчёт как на переднюю $П_A$.

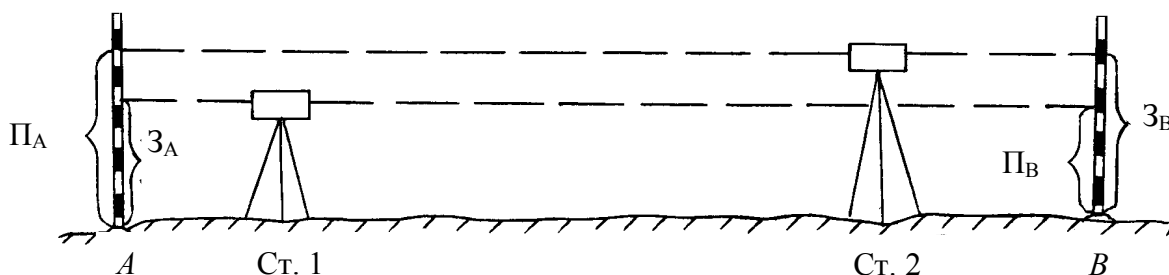


Рис. 6.17. Поверка главного условия нивелира

Ошибку за несоблюдение главного условия можно выразить не только через угол i , но и через величину x (рис. 6.18).

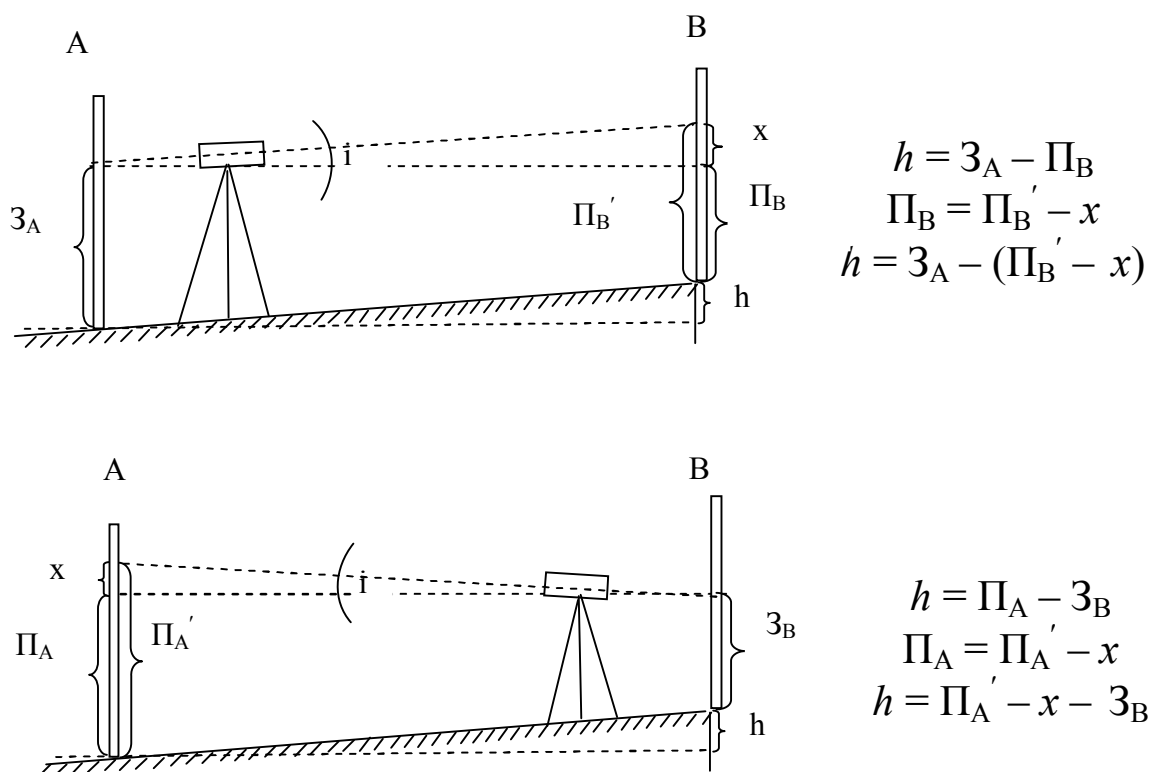


Рис. 6.18. Определение величины x

Так как от перестановки нивелира (ст. 1 и ст. 2) превышение h между точками A и B не изменилось, то можно записать

$$Z_A - (\Pi_B' - x) = \Pi_A' - x - Z_B.$$

Откуда следует

$$2x = (\Pi_A' + \Pi_B') - (Z_A + Z_B).$$

где x – ошибка за несоблюдение условия параллельности визирной оси зрительной трубы оси цилиндрического уровня.

Зная x , можно определить истинный отсчёт соответствующий горизонтальному положению визирной оси:

$$\Pi_{A \text{ исп.}} = \Pi_A - x.$$

Если $x \geq \pm 4$ мм, необходимо выполнить исправление.

Исправление производят, устанавливая визирную ось по рейке в точке A на безошибочный отсчёт $\Pi_{A \text{ исп.}}$, наклоняя зрительную трубу элевационным винтом. При этом расходятся изо-

бражения концов пузырька контактного уровня, которое совмещают вновь вертикально расположенными исправительными винтами цилиндрического уровня с помощью шпильки. Доступ к винтам получают, сместив в сторону защитную крышку на коробке цилиндрического уровня со стороны окуляра (рис. 6.19) После исправления поверку повторяют. Записи табл. 6.3.

1 – окуляр зрительной трубы;
2 – откидная крышка на корпусе нивелира;
3 – исправительные винты цилиндрического уровня

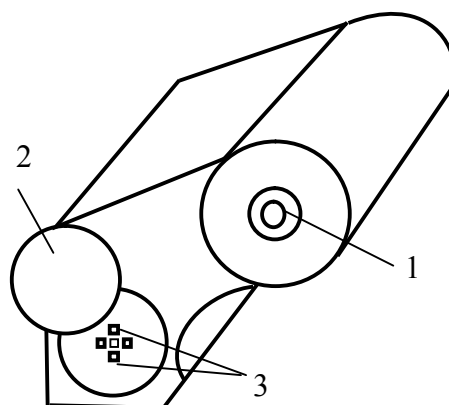


Рис. 6.19. Положение исправительных винтов

Таблица 6.3

Определение главного условия нивелира

Станция	Отсчет по рейке		Превыше- ние	Среднее превышение	x, мм
	Задний	передний			
до исправления					
1	(З _А) 1425	(П _В) 1271	154	161	7,0
2	(З _В) 1466	(П _А) 1634	-168		
после исправления					
1	(З _А) 1513	(П _В) 1354	159	160	1,0
2	(З _В) 1466	(П _А) 1627	-161		

$$П_{А \text{ исп.}} = П_{А} - x = 1634 - 7 = 1627$$

6.8. Нивелирование на станции по программе технического нивелирования

6.8.1. Необходимое оборудование

Для нивелирования необходимы: нивелир, нивелирные рейки, нивелирные башмаки, штатив, журнал для записи наблюдения, карандаш или ручка. Нивелир должен быть внешне осмотрен, все винты проверены. Рейки должны быть ярко оцифрованы, прямые, без выбоин, трещин, царапин и пятен.

6.8.2. Порядок работы

1. Шагами намечается середина между точками теодолитного хода, где устанавливается нивелир. На точки хода ставят рейки. Расстояние между нивелиром и рейкой называется плечом (неравенство плеч не должно превышать 5 м, а длина плеча – 100 м).

Место постановки нивелира (станцию) выбирают так, чтобы обеспечить хорошую видимость реек и прохождение визирного луча над нивелируемой поверхностью.

2. Устанавливают нивелир в рабочее положение при помощи круглого, а затем цилиндрического уровня и берут отсчёты (все по средней нити) и записывают их в журнал (табл. 6.4): (1) по красной стороне задней рейки; (2) по красной стороне передней нити; (3) по чёрной стороне передней нити; (4) по чёрной стороне задней рейки.

3. Вычисляют пяточные разности (5), (6): отсчёт по красной стороне минус отсчёт по чёрной стороне рейки:

$$(5) = (1) - (4);$$

$$(6) = (2) - (3).$$

4. Вычисляют превышения по красной и чёрной стороне рейки (7), (8): задний отсчёт минус передний:

$$(7) = (1) - (2);$$

$$(8) = (4) - (3).$$

Расхождение не должно превышать ± 5 мм, если рейки с одинаковой пяткой, и $(\pm 5 \pm 100)$, мм, если пятки разные.

5. Если расхождения в допуске, то вычисляют средние превышения h_{cp} . (9):

$$(9) = \frac{(7) + (8)}{2}, \text{ если у реек одинаковые пятки};$$

$$(9) = \frac{(7) + (8) \pm 100}{2}, \text{ если пятки разные.}$$

6. Если все допуски выдержаны, то наблюдатель переходит на вторую станцию и все действия повторяются.

Таблица 6.4

Журнал технического нивелирования

№ станции	№ точек	Отсчёты по рейке		Превышение, $\pm h$, мм	Среднее превышение, $\pm h_{cp}$, мм	Отметки Н, м
		задняя	передняя			
I	1	5630 (1)	6894 (2)	-1264 (7)	-1365(9)	
	2	0844 (4)	2210 (3)	-1366 (8)		
		4786 (5)	4684 (6)			
		$\Sigma 3$	$\Sigma \Pi$	Σh	Σh_{cp}	

6.8.3. Камеральная обработка результатов измерений

Математическая обработка результатов технического нивелирования выполняется в следующем порядке:

1. Постраничный контроль на каждой странице журнала.
2. Определение высотной невязки хода f_h и сравнение её с допустимой $f_{h \text{ доп.}}$.
3. Вычисление поправок в превышения h .
4. Исправление превышений.
5. Вычисление высотных отметок точек хода.

Постраничный контроль выполняют на каждой странице журнала с целью выявления возможных погрешностей в вычислениях. При этом должно соблюдаться равенство

$$\frac{\Sigma 3 - \Sigma \Pi}{2} = \frac{\Sigma \Delta h}{2} = \Sigma \Delta h_{cp}.$$

(± 50 мм при использовании реек с разной пяточной разностью и нечётным числом станций),

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

Высотная невязка f_h для замкнутого хода определяется по формуле:

$$f_h = \sum h_{\text{ср.}}$$

Допустимая невязка для технического нивелирования рассчитывается по формуле:

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

где L – длина хода, км.

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

$$\delta_h = \frac{f_h}{n}$$

где n – число станций в ходе.

$$\text{Контроль: } \sum \delta_h = -f_h.$$

Исправление превышения вычисляют по формуле:

$$h_{\text{испр.}i} = h_i - \delta_h$$

$$\text{Контроль: } \sum h_{\text{испр.}i} = 0 \text{ для замкнутого хода.}$$

Высотные отметки точек хода вычисляют по формулам:

$$H_i = H_{i-1} + \Delta h_{\text{испр.}i},$$

то есть высота последующей точки равна высоте предыдущей точки плюс исправленное превышение.

6.9. Правила обращения с приборами для нивелирования

Правила получения инструментов

При получении приборы должны быть уложены в укладочные футляры. При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие нивелира требованиям пункта 6.7. При опробовании должно быть установлено, что подвижные узлы нивелира вращаются плавно, без заеданий, скачков; юстировочные винты

уровней должны надёжно крепить уровни в оправках при любых положениях.

Правила эксплуатации приборов

Полученный нивелир перед началом работы устанавливают на штатив, не подвергая его резким толчкам. Если на прибор попали капли влаги, дают им высохнуть и только после этого протирают. Нельзя подвергать нивелир резким перепадам температуры.

Нивелир имеет просветлённую оптику, поэтому чистку оптических деталей при их загрязнении следует производить осторожно, чистой салфеткой, во избежание повреждения просветляющего покрытия.

Нельзя вести работу, если подвижные части или винты нивелира туго вращаются. Выясните и устраните причины этого.

Имеющийся в комплекте чехол служит для накрывания нивелира при пыльной и дождливой погоде, если работа не производится, а убрать нивелир со станции нельзя. На большие расстояния нивелир переносят в специальном ящике (футляре)

Нивелирные рейки переносят в сложенном виде. Рейки должны иметь ручки. Неперпендикулярность пяток рейки к оси шкалы не должна изменять положение рейки по высоте более чем на 0,3 мм для реек типа РН-3. Нивелирные рейки должны быть устойчивыми к механическим воздействиям и выдерживать сотрясения при их транспортировке на любых видах транспорта.

Хранение приборов

Нивелиры и нивелирные рейки должны храниться в помещениях при температуре от 8 до 30°С и относительной влажности не более 50%. Нивелиры должны быть упакованы в футляры. Воздух в помещении не должен содержать примеси, вызывающих коррозию и порчу прибора.

6.10. Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить среднее превышение между точками нивелирного хода, если отсчеты на ЧКЗ – 1569 и 6254 мм, а на ЧКП – 1290 и 6072 мм.
2. Вычислить невязку разомкнутого хода технического нивелирования, если сумма средних превышений – 3928 мм. Высота начального репера 601,225 м., конечного 597,325 м.
3. Определить отметку точки через горизонт инструмента, если отсчет на нее 0556 мм, а отсчет на исходную точку 1012 мм. Отметка исходной точки 659,983 м.
4. Допустима ли невязка хода технического нивелирования, если $\Sigma\Delta h_{\text{ср}}=+4040$ мм, $H_{\text{нач}}=195,768$, $H_{\text{кон}}=199,868$. Длина хода 4 км.
5. Допустима ли невязка хода технического нивелирования, если $\Sigma\Delta h_{\text{ср}}=+4040$ мм, $H_{\text{нач}}=195,768$ м, $H_{\text{кон}}=99,868$ м. Длина хода 1 км.
6. Допустима ли невязка 9 километрового хода технического нивелирования, если $\Sigma\Delta h_{\text{ср}}=+5060$ мм., $H_{\text{нач}}=200,750$ м., $H_{\text{кон}}=205,850$ м.
7. Определить превышение между двумя точками методом из середины по рейкам, закреплённым на стенах (аудитории 1412, 1418).
8. Определить превышение между двумя точками методом вперёд (в аудитории 1412, 1418).
9. Определить превышение между двумя точками физической поверхности земли методом из середины во дворе института.
10. Определить превышение между двумя точками физической поверхности земли методом вперед во дворе института.
11. Определить расстояние между двумя точками физической поверхности земли во дворе института.
12. Определить расстояние между двумя рейками, закреплёнными на стенах (аудитории 1412, 1418).
13. Вычислить расстояние между точками, если отсчёт по верхней дальномерной нити 2822 мм, средней – 2850 мм, нижней – 2878 мм.

6.11. Контрольные вопросы

1. Для каких целей служит нивелир?
2. История создания нивелиров.
3. Классификация нивелиров по точности и назначению.
4. Область применения нивелиров.
5. Каково назначение подъёмных винтов?
6. Какова роль сетки нитей в поле зрения трубы?
7. Каково назначение элевационного винта?
8. Каково назначение цилиндрического уровня?
9. Что называется осью цилиндрического уровня?
10. При каком положении можно брать правильный отсчёт?
11. Назовите основные части нивелира.
12. Геометрическое соотношение осей нивелира.
13. В чём сущность поверки установочного (круглого) уровня?
14. Как производить юстировку первой и второй поверок?
15. В чём сущность геометрического нивелирования?
16. Способы геометрического нивелирования (из середины и вперед).
17. В чём преимущество нивелирования из середины?
18. Каковы источники погрешности при геометрическом нивелировании?
19. Порядок работы на станции при техническом нивелировании (полевой этап).
20. Постраничный контроль в полевом журнале.
13. Порядок вычисления и обработки данных на станции при техническом нивелировании.
14. Как осуществляется контроль результатов нивелирования?
15. Классификация нивелирных реек.
16. Назовите формулу для вычисления невязки замкнутого (разомкнутого) нивелирного хода.
17. Особенности нивелирования IV класса точности.
18. Допустимая невязка замкнутого нивелирного хода IV класса точности.
19. Допустимая невязка замкнутого хода технического нивелирования.
20. Правила хранения приборов.
21. Состав бригады. Необходимое оборудование на бригаду.

Тема 7. Анализ точности геодезических измерений (лабораторная работа №7)

7.1. Знакомство с теорией погрешности геодезических измерений

Все используемые в геодезии величины получают из измерений или из вычислений функций измеренных величин.

Результаты измерений являются приближенными оценками истинных значений, и точность этих оценок зависит от многих факторов (от метода измерений, от используемых технических средств, от индивидуальных особенностей наблюдателя).

Разница между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины называется **погрешностью измерения**.

Для приближенной оценки погрешности вместо истинных значений используют действительные значения измеряемых величин.

Действительное значение физической величины находится экспериментально, но оно настолько приближается к истинному значению, что его можно использовать как истинное.

По форме числового выражения погрешности измерений подразделяют на абсолютные и относительные.

Абсолютные погрешности выражают в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность определяется отношением абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Например, длина линии в 100 м измерена с абсолютной погрешностью ± 5 см, относительная погрешность составляет 1:2000.

По источникам возникновения погрешности подразделяют на **инструментальные** (обусловлены свойствами средств измерений), **методические** (возникают вследствие неправильного выбора методов измерений) и **субъективные** (погрешности наблюдателя).

Инструментальные погрешности закономерно влияют на результаты измерений, их называют **систематическими погрешностями**. Погрешности наблюдателя называют **случайными**.

Уровень случайных погрешностей при проведении определенных измерений примерно одинаков, однако некоторые из них могут резко отличаться. Такие погрешности называются **грубыми**. К грубым погрешностям относятся и **промахи** - погрешности, зависящие от неправильного обращения со средствами измерений, ошибками записи результатов и т.п.

При обнаружении грубой ошибки результат измерения необходимо отбросить и, повторить само измерение.

В отличие от случайных систематические погрешности измерений остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины. При надлежащей постановке эксперимента такие погрешности обычно удается вычислить и исключить из результатов измерений.

Точность измерений - качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных.

Правильность измерений - качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей.

Сходимость измерений - качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях (одним и тем же средством измерений, одним и тем же оператором). Для методик выполнения измерений сходимость измерений является одной из важнейших характеристик.

Воспроизводимость измерений - качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений).

Требования к измерениям определены ст. 5 Федерального закона «Об обеспечении единства измерений».

Контроль работ позволяет выявить и устранить грубые ошибки из результатов измерений. Систематические ошибки могут быть выражены функциональной зависимостью между факторами и результатом измерения. Закономерности случайных ошибок проявляются в массе измерений. Их влияние можно ослабить соответствующей математической обработкой.

Истинная погрешность Δ^i – это разность между измеряемым значением l_i и её истинным значением L :

$$\Delta_i = l_i - L .$$

Для оценки точности отдельного измерения применяется средняя квадратическая погрешность измерения m :

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} , \text{ где } n \text{ – число измерений.}$$

Вычисление средней квадратической погрешности по данной формуле производится в том случае, если известно истинное значение измеряемой величины. Это может быть теоретическое значение функции, например, сумма внутренних углов в многоугольнике или результат измерения, полученный с более высокой точностью, чем точность оцениваемых измерений. Например, точность базиса, на котором компарируется мерный прибор, всегда значительно выше точности измерений рабочим прибором.

Как правило, когда истинное значение измеряемой величины неизвестно, то из многократных измерений этой величины получают наиболее надежный результат – арифметическую средину x :

$$x = \frac{[l_i]}{n} .$$

Тогда точность измерения оценивается вероятнейшей погрешностью v_i , которая вычисляется как разность между отдельным измеренным значением величины и её средним арифметическим

$$v_i = l_i - x .$$

В данном случае средняя квадратическая погрешность отдельного измерения оценивается по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}} .$$

Средняя квадратическая погрешность для арифметической середины M определяется из формулы:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Предельная погрешность Δ_{np} среднего арифметического определяется по формуле:

$$\Delta_{np} = t \cdot m,$$

где t – число, зависящее от доверительной вероятности и числа избыточных измерений.

Предельная погрешность используется при отбраковке результатов измерений.

При более ответственных измерениях все отклонения от среднего арифметического, которые больше $\pm 2m$ считают промахами и отбрасывают. При менее точных измерениях за предельную погрешность принимается $\Delta_{np} = \pm 3m$.

Точность измерения длин, площадей, объёмов и т.д. оценивается относительной погрешностью, за которую принято отношение погрешности измерения к значению измеряемой величины. Она представляется дробью, числитель которой равен единице. Например, допустимая погрешность измерения длины при топосъемке для благоприятных условий составляет 1:2000.

7.2. Правила округления и записи результатов измерения

В целях единообразия отражения результатов и погрешностей измерений необходимо применять однотипные показатели точности измерений и формы представления результатов измерений. Распространенной ошибкой при оценке результатов и погрешностей измерений является их вычисление и запись с большим числом значащих цифр. Этому способствует применение калькуляторов или компьютеров, дающих результаты расчета с четырьмя и более значащими цифрами. Однако погрешности гео-

дезических измерений зависят от точности прибора, с помощью которого выполняется измерение.

Например, среднее значение многократных измеренной на местности линии с помощью рулетки по результатам вычислений составляет 82,7224 м, а значение погрешности 0,014359 м. Имеет ли смысл запись результата с такой погрешностью?

Установлено, что в численных показателях точности измерений и их погрешностях должно быть не более двух значащих цифр. Так, при записи наименьшие разряды числовых значений результата измерения и численных показателей точности должны быть одинаковы. В приведенном примере оценка погрешности должна быть записана: $82,722 \pm 0,014$ или $82,72 \pm 0,01$.

В следующем примере результат измерения горизонтального угла способом приемов $235,732 \pm 0,15$ округляется до $235,73 \pm 0,15$, но не до $235,7 \pm 0,15$.

Правила округления

1. Погрешность измерения округляют до первой значащей цифры, всегда увеличивая ее на единицу.

Примеры:

$$\begin{aligned} 8,27 &\approx 9; & 0,237 &\approx 0.3; \\ 0,0862 &\approx 0,09; & 0,00035 &\approx 0,0004; \\ 857,3 &\approx 900; & 43,5 &\approx 50. \end{aligned}$$

2. Результаты измерения округляют с точностью «до погрешности», т.е. последняя значащая цифра в результате должна находиться в том же разряде, что и в погрешности.

Примеры:

$$\begin{aligned} 243,871 \pm 0,026 &\approx 243,87 \pm 0,03; \\ 243,871 \pm 2,6 &\approx 244 \pm 3. \end{aligned}$$

3. Округление результата измерения достигается простым отбрасыванием цифр, если первая из отбрасываемых цифр меньше 5.

Примеры:

$$\begin{aligned} 8,337 &(\text{округлить до десятых}) \approx 8,3; \\ 833,438 &(\text{округлить до целых}) \approx 833; \\ 0,27375 &(\text{округлить до сотых}) \approx 0,27. \end{aligned}$$

Варианты	Углы в отдельном приёме												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2 10	36	39	19	28	32	28	42	53	17	33	10	22
2	12 20	49	28	20	53	42	33	17	25	10	40	15	32
3	22 30	44	37	10	49	36	32	19	53	42	28	25	17
4	32 40	17	36	49	40	15	42	10	33	32	53	39	20
5	42 50	20	19	53	28	44	25	32	10	49	15	33	42
6	52 00	28	36	25	44	32	33	39	22	37	20	40	17
7	62 10	37	33	42	10	33	15	19	28	36	44	20	22
8	72 20	15	44	36	37	49	42	33	10	40	17	39	53
9	82 30	40	53	17	44	15	42	37	10	39	20	33	36
10	92 40	25	50	49	27	52	30	46	42	20	47	54	29
11	102 50	46	54	29	59	43	52	16	35	32	27	25	38
12	112 00	39	23	30	10	32	43	7	29	12	23	27	18
13	122 10	18	00	15	26	10	34	39	27	9	5	22	23
14	132 20	14	33	30	15	41	30	24	49	54	42	20	37
15	142 30	27	45	44	15	22	42	38	58	20	47	38	31
16	152 40	25	37	22	25	40	33	32	19	49	59	26	18
17	162 50	33	19	15	28	17	15	53	25	19	43	38	15
18	172 00	37	44	40	19	37	42	25	33	28	35	50	40
19	182 10	33	22	40	37	23	10	28	25	33	37	40	49
20	192 20	20	15	44	37	19	44	22	28	36	33	39	22
21	202 30	15	40	33	39	28	20	33	25	29	19	37	28
22	212 40	33	43	43	40	17	37	22	39	28	33	36	15

7.3. Оценка точности результатов по разностям двойных измерений

Сущности метода двойных измерений заключается в том, что одну и ту же величину измеряют дважды S_1 и S_2 и, сравнивая результаты, оценивают их точность. Среднее значение S_{cp} и абсолютная погрешность ΔS определяется по формулам:

$$S_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2}; \quad \Delta S = S_1 - S_2.$$

Относительная погрешность определяется из выражения

$$\frac{\Delta S}{S_{cp}} = \frac{1}{N}.$$

При измерении длин линий допустимая погрешность составляет: для I класса – 1:3000, II класса – 1:2000, III класса – 1 : 1000.

Задание 7.2. На местности с помощью мерной ленты измерена линия в прямом S_{np} и обратном $S_{обр}$ направлениях. Определить среднее значение длины линии, абсолютную и относительную погрешности и сравнить точность результата с допуском. Исходные данные приведены в табл. 7.2.

7.4 Вычисление угловой и допустимой невязок угловых измерений в многоугольнике

Для контроля правильности измерения углов в теодолитном ходе вычисляется угловая невязка f_β . Её величина при измерении внутренних углов замкнутого теодолитного хода, имеющего форму многоугольника, вычисляется из выражения:

$$f_\beta = \sum_{i=1}^n \beta_i - 180^\circ (n - 2)$$

где $180(n-2)$ – теоретическая сумма углов; n – число вершин хода.

Допустимое значение невязки определяется по формуле:

$$f_{\beta доп} \leq 1' \sqrt{n}$$

где $1'$ – предельная погрешность измерения угла.

Задание 7.3. С помощью теодолита измерены три угла замкнутого теодолитного хода, имеющего форму треугольника. Вычислить угловую невязку и сравнить её с допустимой.

Таблица 7.2

Исходные данные для заданий 7.2 и 7.3.

Варианты	Длины линий			Измеренные углы		
	S_{np} , м	$S_{обр}$, м	Класс точности	β_1	β_2	β_3
				о ' "	о ' "	о ' "
1	145.61	145.51	III	10 20 30	140 35 30	29 03 00
2	201.01	201.13	III	63 29 00	61 40 30	54 51 30
3	104.05	103.96	III	18 34 30	136 15 00	25 11 00
4	175.21	175.31	III	119 26 45	34 21 30	26 03 00

Варианты	Длины линий			Измеренные углы		
	S_{np} , м	$S_{обр}$, м	Класс точности	β_1	β_2	β_3
				о ' "	о ' "	о ' "
5	126.01	125.94	III	46 24 45	34 11 30	99 25 00
6	135.51	135.41	III	68 46 30	89 36 00	21 01 00
7	105.91	106.03	III	131 14 30	24 56 30	23 48 00
8	205.18	205.30	II	140 20 30	12 36 00	27 04 30
9	186.09	186.14	I	48 30 30	74 26 00	57 59 30
10	107.33	107.22	III	51 46 30	44 03 30	84 00 30
11	105.24	105.19	III	86 48 30	43 14 30	49 57 30
12	76.01	76.04	II	39 26 30	44 56 30	95 37 30
13	83.19	83.24	II	58 40 30	41 18 00	80 01 00
14	154.25	154.13	III	31 21 30	53 32 30	95 06 30
15	149.56	149.61	I	41 14 30	39 46 00	99 00 30
16	94.56	94.47	III	43 26 00	46 24 30	90 10 30
17	163.24	163.37	III	39 56 30	56 30 00	83 32 30
18	181.12	181.07	I	64 47 30	51 44 30	63 29 00
19	172.64	172.49	III	126 15 00	38 34 30	25 11 00
20	156.31	156.42	II	36 03 00	44 21 30	99 26 45
21	162.14	162.59	III	41 01 00	79 36 00	58 46 30
22	124.34	124.43	II	34 26 50	124 31 15	21 01 55
23	136.12	136.21	II	103 44 15	34 51 20	41 24 30
24	144.19	144.08	II	94 46 25	31 26 30	53 47 45
25	215.14	214.98	II	35 21 30	112 46 45	31 52 30

7.5. Вычисление высотной и допустимой невязки замкнутого нивелирного хода

Для определения высотных отметок точек производят продолжение ходов технического нивелирования, опирающихся на реперы высших классов.

Теоретическая сумма превышений замкнутого нивелирного хода согласно условию полигонов равна нулю. Практически же возникает высотная невязка f_h , которая вычисляется по формуле:

$$f_h = \sum h_i,$$

где h_i - превышение между соседними реперами.

Допустимая невязка при техническом нивелировании определяется из выражения

$$f_{hg\text{on}} = \pm 50\sqrt{L}, \text{ мм,}$$

где L – число километров в ходе.

Задание 7.4. Вычислить невязку замкнутого нивелирного хода и сравнить её с допустимой, если длина хода $L = 1$ км и ход состоит из пяти реперов.

Таблица 7.3

Исходные данные к заданию 7.4

Варианты	Превышения, мм				
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
1	3141	718	-1241	-1041	-1537
2	914	1856	-2120	-1121	329
3	2641	1891	-3010	-516	-966
4	1021	2032	-541	-3242	700
5	2418	-1101	-2141	914	-130
6	3141	-1846	-2940	1025	580
7	946	2941	-3056	-1920	1129
8	-811	3241	1026	-2210	-1206
9	1012	-3418	1814	-1112	1674
10	1814	1098	-3104	-216	368
11	-2851	-3412	1046	1926	3251
12	296	1815	-2021	-1086	1036
13	2804	1016	-218	-3021	-541
14	1214	2029	-2456	-1240	483
15	2296	1941	-3001	-1406	210
16	1926	214	-3046	1911	-965
17	846	-3026	2146	-1096	1170
18	1641	-1424	944	-1946	825
19	1326	-2511	1996	-1018	247
20	2835	994	-1506	-339	-1944
21	-1864	-3240	1909	1639	1516
22	-3246	2115	1094	-916	993
23	1100	926	-1816	-1204	954
24	2400	-1069	1506	244	-3211
25	1986	-3194	-1504	692	2060

7.6. Вычисление средней квадратической погрешности функции измеренных величин

При геодезических измерениях часто определяемая величина является функцией непосредственно измеряемых величин. В теории погрешностей установлено, что средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин определяется в общем виде из выражения

$$m_z^2 = \left(\frac{df}{dx}\right)^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 \cdot m_y^2 + \dots + \left(\frac{df}{dv}\right)^2 \cdot m_v^2$$

Квадрат средней квадратической погрешности функции равен сумме квадратов произведений частных производных по каждой переменной, умноженной на их средние квадратические погрешности.

Задание 7.5. Определить коэффициент R нитяного дальномера теодолита и погрешность коэффициента m_R , если известна длина базиса S , погрешность длины базиса m_S , разность отсчётов m_n по дальномерным нитям n и его погрешность :

$$R = \frac{S}{n} ; m_R = \sqrt{\frac{1}{n^2} \cdot m_S^2 + \left(-\frac{S}{n^2}\right)^2 \cdot m_n^2}$$

Таблица 7.4

Исходные данные к заданию 7.5

Вариант	S , м	n , м	m_S , м	m_n , м
1	270,0	2.68	± 0.052	± 0.031
2	290,0	2.88	± 0.055	± 0.035
3	245,0	2.43	± 0.048	± 0.028
4	255,0	2.53	± 0.053	± 0.031
5	285,0	2.83	± 0.054	± 0.034
6	260,0	2.59	± 0.050	± 0.030
7	250,0	2.48	± 0.050	± 0.026
8	280,0	2.78	± 0.052	± 0.030

Задание 7.6. Определить площадь F и среднюю квадратическую погрешность m_F площади прямоугольника, стороны которого a и b определены со средними квадратическими погрешностями m_a и m_b :

$$F = a \cdot b; \quad m_F = \sqrt{b^2 \cdot m_a^2 + a^2 m_b^2}.$$

Таблица 7.5

Исходные данные к заданию 7.6

Вариант	$a, \text{м}$	$b, \text{м}$	$m_a, \text{м}$	$m_b, \text{м}$
9	200,0	300,0	0,12	0,18
10	120,0	160,0	0,10	0,14
11	180,0	210,0	0,11	0,13
12	190,0	180,0	0,12	0,11
13	150,0	100,0	0,10	0,08
14	110,0	150,0	0,09	0,10
15	140,0	170,0	0,10	0,11
16	175,0	196,0	0,12	0,13

Задание 7.7. Определить превышение h и среднюю квадратическую погрешность m_h превышения, если известна наклонная длина S , угол наклона ν , погрешность измерения наклонной длины m_S , погрешность угла наклона m_ν :

$$h = \frac{1}{2} S \cdot \sin 2\nu; \quad m_h = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \sin 2\nu\right) \cdot m_S^2 + (S \cdot \cos 2\nu)^2 \cdot \frac{m_\nu^2}{\rho^2}};$$

$$\rho = 206265''.$$

Таблица 7.6

Исходные данные к заданию 7.7

Варианты	S , м	ν	m_S , м	m_ν
17	143,5	2 30	± 0.5	± 1.0
18	150,1	3 20	± 0.6	± 1.0
19	130,5	10 40	± 0.4	± 2.0
20	160,4	8 10	± 0.6	± 1.0
21	100,4	5 20	± 0.2	± 2.0
22	80,2	6 10	± 0.2	± 1.0
23	140,1	4 30	± 0.5	± 2.0
24	155,4	6 10	± 0.5	± 1.0
25	160,2	5 40	± 0.6	± 2.0

7.7. Статистическая обработка геодезических измерений

Задание 7.8. Выполнить статистическую обработку абсолютных погрешностей измерения базисных сторон:

- для случайной величины x составить вариационный ряд;
- вычислить выборочное среднее \bar{x} , выборочную дисперсию S_x^2 , среднюю квадратическую погрешность ряда измерений S_x ;
- построить гистограмму и полигон распределения погрешностей. Исходные данные по вариантам приведены в табл. 7.7.

Пример решения задачи приведен для исходных данных варианта № 1.

Таблица 7.7.

Исходные данные для задания 7.8.

Случайная выборка абсолютных погрешностей, мм.

X_i	Варианты заданий							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,1	14	5,1	143	4,88	4,00	26	81
2	3,2	10,5	7,02	200	3,95	2,57	27	78,4
3	2,2	15,1	5,48	152	3,64	2,38	29	71,2
4	2,6	13	5,44	154	4,16	2,70	30	76
5	2,5	14,25	4,46	131	3,96	3,00	30	79,3
6	2,4	14,52	4,44	120	3,88	2,53	28	77,6
7	2,2	14	5,61	156	3,78	2,47	29	76,8

X _i	Варианты заданий							
	1	2	3	4	5	6	7	8
8	3,1	13,6	5,31	148	4,28	2,90	25	84,6
9	1,8	16,14	5,68	165	4,18	2,71	37	75,4
10	2,3	14,79	5,48	153	4,10	2,66	36	71,2
11	3,1	12,63	5,2	141	3,62	2,10	32	74,4
12	2	15,6	5,81	162	4,22	2,73	28	77,6
13	2,5	14,25	6,39	171	4,07	2,64	45	64
14	2,1	17,5	5,62	140	3,91	4,20	31	75,2
15	2,3	14,79	6,02	175	3,75	2,70	30	76
16	2,1	15,33	5,31	148	3,25	2,15	32	74,4
17	2,6	18	4,8	120	3,50	2,30	38	83,4
18	2,8	13,44	5	148	3,80	2,48	30	79,4
19	2,3	14,79	5,05	151	4,71	3,03	26	80
20	2,6	14,7	5,89	164	3,61	2,37	36	67,4
21	2,4	14,52	5,91	163	4,58	2,50	40	68
22	2,2	16,3	5,17	144	3,86	2,52	31	77,2
23	1,3	17,49	4,78	145	3,55	2,33	28	70,5
24	2,5	14,25	5,51	168	3,12	2,00	27	78,4
25	2	13,1	5,01	151	3,19	2,11	50	65,2
26	2	15,6	5,82	162	3,81	2,48	28	77,6
27	1,8	16,14	6,32	184	3,92	2,70	29	78,1
28	2,7	13,71	4,62	129	3,95	2,57	35	72
29	2,3	16,4	4,35	138	3,98	2,90	33	70,4
30	2,6	13,98	5,28	158	4,28	2,77	33	74,3
31	2,1	17,4	4,53	127	3,61	1,80	39	65,2
32	2,4	14,52	5,08	132	4,03	2,30	34	74,6
33	2,7	13,71	4,85	147	3,86	2,52	30	76
34	1,8	19,5	6,73	187	3,79	2,47	29	72,1
35	2,1	15,33	4,76	133	3,43	2,26	29	78,3
36	2,2	16,8	6,11	182	3,98	2,59	27	84,7
37	2,7	13,71	5,82	156	4,14	2,68	29	79,2
38	2,5	14,25	5,29	139	4,16	2,69	31	70,7
39	2,3	14,79	6,26	174	3,91	2,80	41	60,7
40	2,7	13,71	4,6	124	3,74	2,45	28	77,6
41	2,4	14,52	5,53	154	4,25	2,75	25	80
42	2	14,5	5,59	168	4,08	2,65	43	68,6
43	2,6	13,98	5,13	143	4,41	2,85	36	71,2
44	3	11,4	6,09	179	4,33	2,80	34	72,8
45	2,3	14,79	6,67	203	3,93	2,56	30	76
46	2	15,6	5,22	146	3,58	2,35	33	73,6
47	2,2	15,06	5,77	161	3,87	2,52	35	72
48	2,2	15,06	5,61	160	3,68	2,60	26	79,2
49	2,7	13,71	5,23	146	4,23	3,10	34	72,8
50	2,2	15,06	6,15	171	3,66	2,39	35	74,2

Порядок вычислений

1. Для построения интервального вариационного ряда найдем по формуле Стерджеса оптимальную ширину интервала (шаг):

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,2 \lg n},$$

где x_{\max} , x_{\min} – соответственно наибольшее и наименьшее значения признака x ; n – объем выборки. Из прил. 1 находим $x_{\max} = 3,2$; $x_{\min} = 1,3$; $n = 50$. Тогда

$$h = \frac{3,2 - 1,3}{1 + 3,2 \lg 50} = \frac{1,9}{6,44} \approx 0,3.$$

2. Определим границы интервалов $[l_0, l_1), [l_1, l_2), \dots, [l_{k-1}, l_k]$, где $l_0 = x_{\min} = 1,3$; $l_1 = l_0 + h = 1,3 + 0,3 = 1,6$; ..., $l_k = l_{k-1} + h$ и так до тех пор, пока $x_{\max} = 3,2$ не попадет в последний интервал.

3. Составим интервальный вариационный ряд (табл. 7.8).

Таблица 7.8

Интервальный вариационный ряд

№	Интервалы	Частота m_i	Относительная частота p_i	Накопленная относительная частота F_i
1	2	3	4	5
1	1,3–1,6	1	0,02	0,02
2	1,6–1,9	3	0,06	0,08
3	1,9–2,2	10	0,20	0,28
4	2,2–2,5	17	0,34	0,62
5	2,5–2,8	14	0,28	0,90
6	2,8–3,1	2	0,04	0,94
7	3,1–3,4	3	0,06	1,00
		50		

Частота m_i – число значений признака x , попадающих в i – й

интервал $[l_{i-1}, l_i)$ (столбец 3). При этом сумма частот должна равняться объему выборки:

$$\sum_i m_i = n.$$

Относительная частота $p_i = \frac{m_i}{n}$ попадания в i -й интервал служит оценкой вероятности того, что признак x примет значение, принадлежащее i -му интервалу (столбец 4). Их сумма должна быть равна единице:

$$\sum_i p_i = 1.$$

Накопленная относительная частота F_i (столбец 5) определяется как сумма относительных частот i -го и всех предшествующих ему интервалов.

4. Вычисляем выборочные характеристики. Составим расчетную таблицу 7.9.

Таблица 7.9

Расчёт выборочных характеристик

№	x_i	m_i	$x_i m_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 m_i$
1	1,45	1	1,45	-0,94	0,8836	0,8836
2	1,75	3	5,25	-0,64	0,4096	1,2288
3	2,05	10	20,5	-0,34	0,1156	1,156
4	2,35	17	39,95	-0,04	0,0016	0,0272
5	2,65	14	37,1	0,26	0,0676	0,9464
6	2,95	2	5,9	0,56	0,3136	0,6272
7	3,25	3	9,75	0,86	0,7396	2,2188
			119,9			7,088

$$x_i = (l_{i-1} + l_i) / 2,$$

где x_i – середина интервала.

Выборочное среднее:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{n} = \frac{119,9}{50} = 2,40.$$

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 m_i}{n} = \frac{7,088}{50} \approx 0,1417$$

Выборочная дисперсия:

Средняя квадратическая погрешность ряда измерений:

$$S_x = \sqrt{S_x^2} = \sqrt{0,1417} \approx 0,3764$$

5. По данным интервального ряда (табл. 10) построим гистограмму распределения абсолютных погрешностей измерения базисных сторон (рис. 7.1). По горизонтальной оси откладываем границы интервалов величины X , по вертикальной оси – соответствующие интервалам частоты.

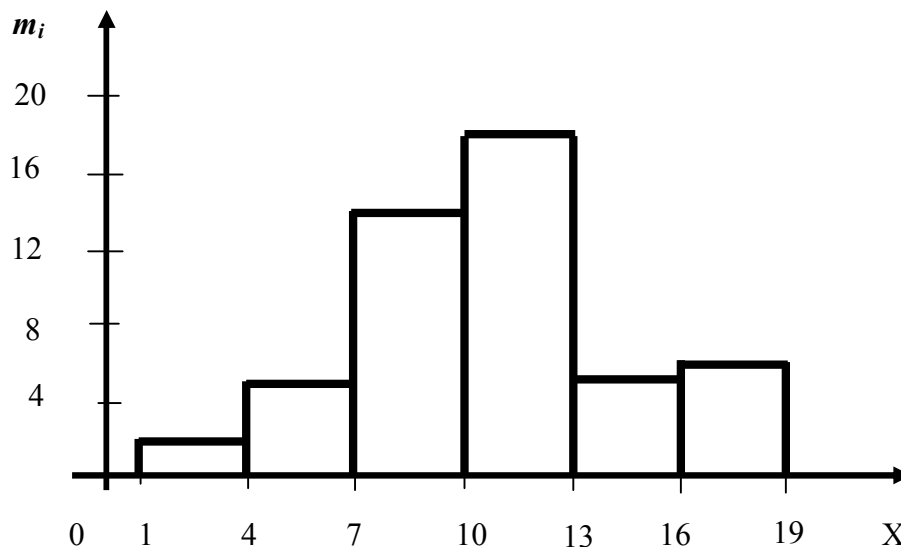


Рис.7.1. Гистограмма распределения абсолютных погрешностей.

7.8. Автоматизация процесса статистической обработки

7.8.1. Компьютерный вариант решения задания 7.8

Для выполнения статистической обработки результатов геодезических измерений рекомендуем использовать табличный процессор Microsoft Excel, который включает в себя программную надстройку *Пакет анализа* и библиотеку из 78 статистических функций. Такого набора инструментов вполне достаточно

для проведения полного и качественного статистического анализа информации. Познакомимся с технологией работы в режиме *Анализ данных* на примере ручного решения задания 7.8, приведенного выше. Чтобы воспользоваться инструментами анализа, выполните следующие действия:

1) В меню *Сервис* выберите команду *Анализ данных*.
 2) Выделите из списка название инструмента анализа *Описательная статистика* и нажмите ОК.

3) В открывшемся диалоговом окне нужно задать следующие параметры:

- *Поле Входной интервал* – вводится ссылка на ячейки, содержащие анализируемые данные, например A1: A10 (или мышью выделяются исходные данные, набранные на *Рабочем Листе 1*).

- Переключатель *Группирование* - устанавливается в положение *По столбцам или По строкам* в зависимости от расположения данных во входном диапазоне.

- Флажок *Метки* – устанавливается в активное состояние, если первая строка (столбец) во входном диапазоне содержит заголовки.

- Переключатель *Выходной интервал/Новый рабочий лист/Новая рабочая книга*. Здесь необходимо активизировать *Новый рабочий лист*, в который будут вставляться результаты анализа.

- *Итоговая статистика* – установите в активное состояние показатели описательной статистики: средняя арифметическая выборки, оценка стандартного отклонения, дисперсия и другие.

- *Уровень надежности* (введите 95%).

- Установите в активное состояние *K – наибольший* и *K-наименьший* для вывода максимума x_{max} и минимума x_{min} .

Значения параметров, рассчитанные в данном режиме, предлагаем представить в виде табл. 7.10.

Инструмент *Описательная статистика* формирует таблицу статистических данных, ускоряя и упрощая процесс вычислений по сравнению с ручным счётом.

Удобнее всего ряды распределения анализировать с помо-

щью их графического изображения, позволяющего судить о форме распределения. Наглядное представление о характере изменения частот вариационного ряда дают *полигон* и *гистограмма*.

Таблица 7.10

Компьютерный расчет статистических параметров

Статистические параметры	
Среднее	2,354
Стандартная ошибка	0,051919
Медиана	2,3
Мода	2,2
Стандартное отклонение	0,367123
Дисперсия выборки	0,13478
Эксцесс	0,689459
Асимметричность	0,033188
Интервал	1,9
Минимум	1,3
Максимум	3,2
Сумма	117,7
Счет	50

Удобнее всего ряды распределения анализировать с помощью их графического изображения, позволяющего судить о форме распределения. Наглядное представление о характере изменения частот вариационного ряда дают *полигон* и *гистограмма*.

Режим *Гистограмма* служит для вычисления частот попадания данных в указанные границы интервалов, а также для построения гистограммы интервального вариационного ряда распределения.

В диалоговом окне данного режима задаются следующие параметры:

- *Входной интервал* (ссылка на ячейки, содержащие исходный вариационный ряд).
- *Интервал карманов* (необязательный параметр). Если диапазон карманов не был введен, то набор интервалов, равномерно распределённых между min и max, создаётся автоматически.

- *Вывод графика* установить в активное состояние.

На рис. 7.2 приведена построенная с помощью *Мастера диаграмм* гистограмма интервального ряда распределения

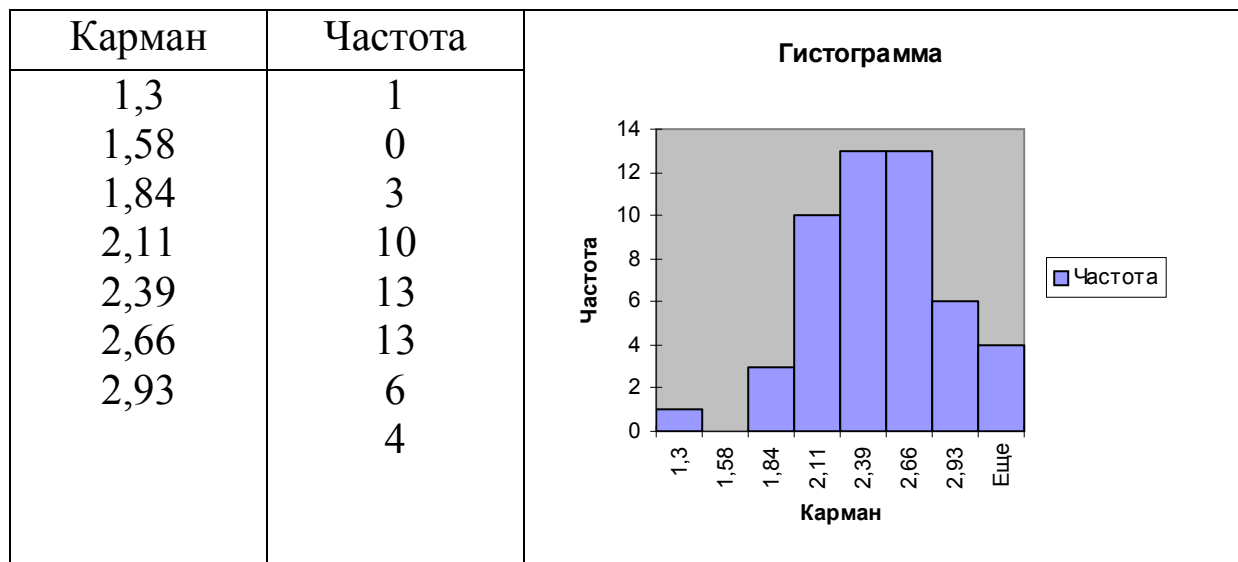


Рис. 7.2. Гистограмма распределения абсолютных погрешностей измерения базисных сторон.

Полигон используется для изображения дискретных вариационных рядов. Для построения полигона воспользуемся *Мастером диаграмм* Microsoft Excel – режим *График* (рис. 7.3).

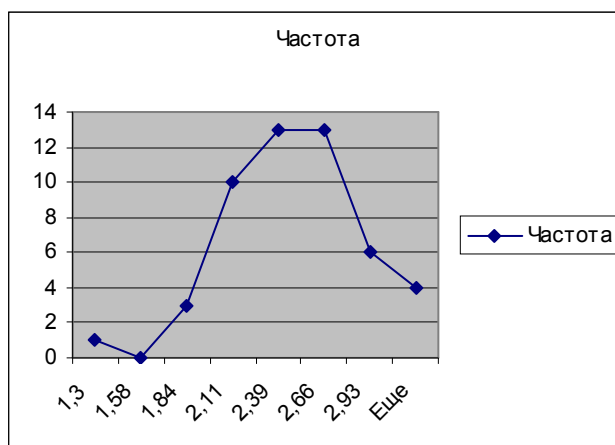


Рис. 7.3. Полигон распределения абсолютных погрешностей измерения базисных сторон.

Результаты материалов статистических наблюдений оформляются в виде таблиц и статистических рядов распределений, которые анализируются с помощью их графического изображения.

Гистограммы и полигоны позволяют судить об однородности совокупности, границах её изменения, закономерностях наблюдаемого объекта. Они являются составной частью сводной обработки статистической информации.

7.8.2. Компьютерный вариант решения задания 7.1

Для решения задания 7.1 на компьютере можно воспользоваться статистической функцией *Стандотклон* (число1; число2; ...), которая оценивает стандартное отклонение по выборке.

Число1, число2, ... – от 1 до 30 числовых аргументов, соответствующих выборке из генеральной совокупности. Вместо аргументов, разделенных точкой с запятой, можно также использовать массив или ссылку на массив. *Стандотклон* предполагает, что аргументы являются выборкой из генеральной совокупности.

Исходные данные к заданию 7.1, расчетные формулы и результаты вычислений приведены на рис. 7.4.

	A	<p><i>Стандартотклон</i> использует следующую формулы:</p> $S_x = \sqrt{S_x^2}; \quad S_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 m_i}{n},$ <p>где \bar{x} — выборочное среднее СРЗНАЧ(число1,число2,...), n — размер выборки.</p> <p style="text-align: center;">Формула</p> <p>=СТАНДОТКЛОН(A2:A12)</p> <p style="text-align: center;">Описание (результат)</p> <p>Стандартное отклонение отдельного измерения горизонтального угла (9,773467)</p>
	Угол в полуприёме	
1	25	
2	22	
3	32	
4	28	
5	33	
6	59	
7	43	
8	35	
9	32	
10	43	
11	33	
12	13	

Рис. 7.4. Исходные данные и решение задания 7.1 в Microsoft Excel

7.9. Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить среднее значение и среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения горизонтального угла, если известны его значения из 8 приемов: ($15^{\circ}20'30''$; $35''$; $45''$; $48''$; $32''$; $36''$; $40''$; $42''$).

2. На местности с помощью мерной ленты измерена линия в прямом ($S_{np}=146,14$ м) и обратном ($S_{обр} = 146,16$ м) направлениях. Определить среднее значение длины линии, абсолютную и относительную погрешности и сравнить точность результата с допуском.

3. С помощью теодолита измерены три угла замкнутого теодолитного хода, имеющего форму треугольника ($18^{\circ}34'30''$; $136^{\circ}15'00''$; $25^{\circ}11'00''$). Вычислить угловую невязку и сравнить её с допустимой.

4. Вычислить относительную невязку теодолитного хода, если $f_x=-0,42$ м., $f_y=-0,26$ м., периметр хода 1138 м.

5. Вычислить условную невязку замкнутого теодолитного хода, состоящую из 5 точек, если сумма измеренных углов $540^{\circ} 01'38''$.

7.10. Контрольные вопросы

1. Какие погрешности называются «грубыми»?
2. Какие действия необходимо выполнить при обнаружении «грубой» погрешности?
3. Что называется абсолютной и относительной погрешностью?
4. Перечислите источники возникновения погрешностей измерений.
5. Что называется случайной и систематической погрешностью?
6. Что понимают под правильностью, сходимостью и воспроизводимостью результатов измерений?
7. Как вычисляется высотная невязка замкнутого (разомкнутого) нивелирного хода?
8. Как вычисляется теоретическая сумма углов теодолитного хода?

9. Как вычисляется допустимая невязка углов теодолитного хода?
10. В каком законе определены требования к измерениям?
11. Какими правилами округления необходимо руководствоваться при записи результатов измерений и их погрешностей?

Список рекомендуемой литературы

1. Поклад, Г. Г. Геодезия: учеб. пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2008. – 592 с.
2. Куштин, И. Ф. Геодезия: учебно-практическое пособие / И. Ф. Куштин [и др.]. – Ростов н/Дону: Феникс, 2009. – 909 с.
3. Горбунова, В. А. Инженерная геодезия: учеб. пособие [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки бакалавров 270800 Строительство, профиль Автомобильные дороги / В. А. Горбунова. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 193 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90599&type=utchposob:common>
4. Геодезия и маркшейдерия [Электронный ресурс]: учебник для студентов вузов / под ред. В. Н. Попова, В. А. Букринского. – М.: Горная книга, 2010. – 452 с. <http://www.biblioclub.ru/book/79284>
5. Бузук, Р. В. Геодезия [Электронный ресурс]. ч.1: учебное пособие для студентов направления подготовки бакалавров 120700 «Землеустройство и кадастры», профиль «Городской кадастр» / Р. В. Бузук, В. А. Горбунова; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2012. – 161 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90743&type=utchposob:common>
6. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник / Г. А. Федотов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2007. – 463 с.
7. Попов, В. Н. Геодезия: учебник для вузов / В. Н. Попов [и др.]. – М.: Мир горной книги, 2007. – 722 с.
8. Перфилов, В. Ф. Геодезия: учебник для вузов / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2006. – 350 с.
9. Маслов, А. В. Геодезия / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М.: КолосС, 2006. – 598 с.

10. Визгин, А. А. Практикум по инженерной геодезии / А. А. Визгин [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 285 с.
11. Киселев, М. И. Основы геодезии / М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев. – М.: Высш. шк., 2003. – 368 с.
12. Захаров, А. И. Нивелиры. Конструкция, сервис, ремонт, эксплуатация: практич. пособие для вузов / А. И. Захаров [и др.]. – М.: Академический проспект, 1010. – 205 с.
13. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
14. Дементьев, В. Е. Современная геодезическая техника и её применение: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. / В. Е. Дементьев. – М.: Академический проспект, 2008. – 591 с.
15. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1 / К. М. Антонович. – М.: ФГУП «Картоцентр», 2005. – 344 с.
16. Хинкис, Г. Л. Словарь терминов, употребляемых в геодезической и картографической деятельности (термины и словосочетания) / Г. Л. Хинкис, В. Л. Зайченко. – М.: Проспект, 2009. – 172 с.
17. Чекалин, С. И. Основы картографии, топографии и инженерной геодезии: учеб. пособие для вузов Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. С. Орджоникидзе. – М.: Академический проект, 2009. – 393 с.
18. Попов, В. Н. Геодезия: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки «Горное дело» / В. Н. Попов, С. И. Чекалин. – М.: Горная книга, 2012. – 722 с.
19. Федотов, Г. А. Основы аэрогеодезии и геодезические работы: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» учебник / Г. А. Федотов. – М.: Академия, 2012. – 272 с.
20. Корецкая, Г. А. Спутниковые навигационные системы в маркшейдерии: учеб. пособие / Г. А. Корецкая; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 94 с.
21. Корецкая, Г. А. Современная электронно-оптическая геодезическая аппаратура и спутниковые навигационные системы: учебное пособие [Электронный ресурс]: для студентов спе-

циальности 130402 «Маркшейдерское дело» / сост. Г. А. Корецкая. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 91 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90594&type=utchposob:common>

22. Корецкая Г. А. Геодезия и маркшейдерия (раздел Геодезия): рабочая тетрадь для лабораторных работ [Электронный ресурс]: для студентов специальности 130400 «Горное дело» всех специализаций / Г. А. Корецкая. – Электрон. дан. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2012. – 30 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=2509>