

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

Г. А. Шароглазова  
Г. М. Двоенко

## ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов 1 курса  
специальности 1-56 02 01 «Геодезия»

Новополоцк  
ПГУ  
2014

УДК 528(075.8)  
ББК 26.12я73  
Ш25

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией  
геодезического факультета  
в качестве учебно-методического комплекса  
(протокол № 8 от 02.07.2014)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

канд. техн. наук, доц. каф. инженерной геодезии  
УО «БНТУ» В. В. МКРТЫЧЯН;  
канд. техн. наук, доц. каф. прикладной геодезии и фотограмметрии  
УО «ПГУ» В. В. ЯЛТЫХОВ

**Шароглазова, Г. А.**

Ш25      Геодезия : учеб.-метод. комплекс для студентов 1 курса специальности  
1-56 02 01 «Геодезия» / Г. А. Шароглазова, Г. М. Двоенко. – Новополоцк :  
ПГУ, 2014. – 256 с.  
ISBN 978-985-531-470-8.

Материал изложен с учетом стандарта специальности и учебного плана.  
Приведены темы изучаемого курса, их объем в часах лекционных и лаборатор-  
ных занятий, лекционный курс, лабораторный практикум, список рекомендуе-  
мой литературы.

Предназначен для студентов геодезических специальностей.

**УДК 528(075.8)**  
**ББК 26.12я73**

**ISBN 978-985-531-470-8**

© Шароглазова Г. А., Двоенко Г. М., 2014  
© УО «ПГУ», 2014

## Содержание

Введение .....	6
Рабочая программа .....	8
<b>Лекционный курс</b>	
<b>1. Предмет, цели и задачи геодезии. Основные понятия и определения .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Основы изображения земной поверхности на топографических картах и планах .....</b>	<b>18</b>
2.1. Понятие о фигуре Земли .....	18
2.2. Метод проекций. Горизонтальная проекция .....	22
2.3. Расчет искажений при замене участка сферы плоскостью .....	24
2.3.1. Искажение расстояний .....	24
2.3.2. Искажение высот точек .....	26
<b>3. Системы координат применяемые в геодезии .....</b>	<b>26</b>
3.1. Общие сведения об основных системах координат, применяемых в геодезии .....	27
3.2. Система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера .....	32
<b>4. Ориентирование линий .....</b>	<b>35</b>
<b>5. Топографические планы и карты .....</b>	<b>43</b>
5.1. Общие понятия о плане и карте .....	43
5.2. Масштабы карт и планов, их точность .....	44
5.3. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов .....	48
5.4. Содержание планов и карт .....	54
5.5. Координатная сетка на карте .....	56
5.6. Изображение рельефа на планах и картах .....	57
5.7. Использование планов и карт. Решение задач на топографических планах и картах. Определение площадей .....	62
<b>6. Геодезические измерения на местности .....</b>	<b>64</b>
6.1. Общие понятия об измерениях .....	64
6.2. Классификация погрешностей измерений и их свойства .....	66
6.2.1. Оценка точности результатов измерений. Техника геодезических вычислений .....	69
6.3. Угловые измерения .....	72
6.3.1. Общие сведения об угловых измерениях. Принцип измерения горизонтального угла .....	72
6.3.2. Устройство теодолита и порядок взятия отсчетов по угломерным кругам .....	74
6.3.3. Основы поверочных испытаний теодолита .....	77
6.3.4. Способы измерения горизонтальных и вертикальных углов техническими теодолитами .....	84
6.3.4.1. Общие сведения об измерении горизонтальных углов .....	84
6.3.4.2. Способы измерения горизонтальных углов техническими теодолитами .....	85
6.3.4.3. Измерение вертикальных углов .....	89
6.3.4.4. Погрешности угловых измерений .....	92
6.3.4.5. Измерение магнитного азимута .....	94

6.4. Нивелирование .....	95
6.4.1. Назначение и виды нивелирования, их точность .....	95
6.4.2. Нивелиры: классификация, устройство, поверки, исследования .....	99
6.4.3. Нивелирные рейки .....	105
6.4.4. Источники ошибок при геометрическом нивелировании .....	107
6.4.5. Техническое нивелирование. Полевые и камеральные работы .....	108
6.4.6. Тригонометрическое нивелирование .....	112
6.4.7. Понятие о гидростатическом нивелировании .....	115
6.4.8. Понятие о барометрическом нивелировании .....	115
<b>7. Создание планово-высотного обоснования съемок .....</b>	<b>117</b>
7.1. Понятие об опорных геодезических сетях как координатной основе при создании съемочного обоснования .....	117
7.2. Общие сведения о съемочном обосновании и методах его создания .....	121
7.3. Создание планового съемочного обоснования .....	122
7.3.1. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости .....	122
7.3.2. Геодезические засечки .....	124
7.3.3. Проложение теодолитных ходов на местности .....	124
7.3.3.1. Определение и элементы теодолитного хода .....	124
7.3.3.2. Геодезические работы при создании теодолитных ходов ....	126
7.3.4. Математическая обработка теодолитных ходов .....	133
7.4. Создание высотного съемочного обоснования .....	139
<b>8. Топографические съемки .....</b>	<b>145</b>
8.1. Общие сведения и принцип топографической съемки .....	145
8.2. Выбор масштаба топографических съемок и высоты сечения рельефа .....	146
8.3. Наземная съемка .....	149
8.3.1. Теодолитная съемка .....	149
8.3.1.1. Способы теодолитной съемки .....	150
8.3.1.2. Производство измерений в теодолитной съемке и составление абриса .....	153
8.3.2. Тахеометрическая съемка местности .....	156
8.3.2.1. Создание планово-высотного съемочного обоснования для тахеометрической съемки .....	157
8.3.2.2. Методика выполнения тахеометрической съемки .....	158
8.3.3. Мензуральная съемка местности .....	164
8.3.3.1. Сущность и приборы для производства мензуральной съемки .....	164
8.3.3.2. Устройство и поверки мензулы .....	167
8.3.3.3. Устройство и поверки кипрегеля .....	167
8.3.3.4. Кипрегель-автомат .....	168
8.3.3.5. Создание съемочного обоснования для мензуральной съемки .....	170
8.3.3.6. Подготовка планшета и мензулы к работе .....	172
8.3.3.7. Производство мензуральной съемки .....	173
8.3.4. Высотная съемка, ее сущность и виды. Нивелирование поверхности .....	174
8.3.4.1. Нивелирование поверхности по квадратам .....	174
8.3.4.2. Способы параллельных линий, магистралей с поперечниками, полигонов .....	178

## Лабораторный практикум

Лабораторная работа № 1	
<b>Изучение топографических планов и карт</b> .....	180
Лабораторная работа № 2	
<b>Устройство и поверки теодолитов технической точности</b> .....	200
Лабораторная работа № 3	
<b>Измерение горизонтальных углов техническими теодолитами различными способами</b> .....	209
Лабораторная работа № 4	
<b>Измерение вертикальных углов. Определение отметки точки из тригонометрического нивелирования</b> .....	213
Лабораторная работа № 5	
<b>Устройство, поверки и работа с нивелиром</b> .....	215
Лабораторная работа № 6	
<b>Обработка теодолитного хода и материалов теодолитной съемки</b> .....	223
Лабораторная работа № 7	
<b>Знакомство с планиметром. Измерение площадей планиметром</b> .....	231
Лабораторная работа № 8	
<b>Математическая обработка высотного съемочного хода</b> .....	237
Лабораторная работа № 9	
<b>Нивелирование поверхности по квадратам</b> .....	243
Лабораторная работа № 10	
<b>Поверки мензулы и кипрегеля</b> .....	248
Литература .....	255

## Введение

Геодезия – обширная область знаний, тесно связанная с практической деятельностью человека. Она появилась в глубокой древности, развиваясь вместе с совершенствованием интеллекта людей, помогая им оптимально приспособиться к природным условиям и создать более комфортную среду обитания. Логично, что математика, геометрия и геодезия развивались параллельно, т.к. оказалось жизненно необходимым научиться решать математические и геометрические задачи на поверхности Земли.

Слово «геодезия» в переводе с греческого означает «землеразделение». Геодезическая наука возникла в силу того, что у человека появилась потребность в умении ориентироваться на Земле, а также измерять расстояния между точками земной поверхности, оценивать площади земных участков, проводить между ними границы, прокладывать дороги и морские пути, строить каналы и другие сооружения, создавать общегеографические карты и определять, наконец, размеры и форму нашей планеты.

Для решения геометрических задач по определению расстояний, высот, площадей необходимо было выполнить измерения на поверхности Земли. В связи с этим появилось еще одно смысловое значение геодезии – «землеизмерение», т.е. измерение углов, линий, превышений между точками земной поверхности. Параллельно стали развиваться и средства измерений этих величин, получившие в дальнейшем названия теодолит, дальномер и нивелир.

По мере развития человеческого общества и уровня цивилизации геодезия, конечно, менялась. Изменились представления о плоской Земле, пришлось учитывать кривизну, а также неоднородность гравитационного поля Земли и изменчивость нашей планеты во времени. Современная геодезия – это, прежде всего, сфера высоких технологий, связанная со спутниковыми средствами измерений, электронными геодезическими приборами, компьютерными программами по математической обработке результатов геодезических измерений, сканерными снимками, геоинформационными системами и т.д.

Чтобы не заблудиться на Земле и во всей Вселенной, геодезия устанавливает системы координат и высот, распространяя их на поверхности Земли с помощью опорных геодезических сетей, закрепленных в ней специальными долговременными центрами. Координаты этих центров используют затем для выполнения топографических съемок с целью составления географических и топографических карт и планов, при строительстве различных сооружений, в навигации, геологии, при решении различных

транспортных задач, в сельском хозяйстве и еще в большом числе различных научных и народнохозяйственных аспектов.

Сложная и многогранная дисциплина геодезия требует времени и терпения в своем постижении. Поэтому мы попытались построить освоение геодезии по поступательному принципу перехода от простых понятий к более сложным. Так, первый курс геодезии максимально базируется на школьных знаниях математики и географии. Студенты-геодезисты увидят как «оживут» сухие геометрические задачи по решению треугольников, параллелограммов и других геометрических фигур после выполнения ими измерений на земной поверхности с помощью теодолитов, нивелиров, дальномеров, которыми они научатся пользоваться. По результатам вначале простейших измерений технического класса точности мы научимся вычислять координаты необходимых точек, определять с оптимальной точностью превышения между ними, научимся составлять карту местности путем выполнения наземных топографических съемок. Углубим также школьные знания по географическим картам и научимся решать различные практические задачи уже по картам более крупных масштабов, топографическим.

При освоении геодезии на последующих курсах придется столкнуться с более сложными понятиями, необходимостью повышения точности геодезических измерений и определения координат геодезических пунктов, а значит с более сложными измерительными приборами, методиками измерений и технологиями математической обработки, требующими знаний высшей математики, теории вероятности и математической статистики. Но к этому времени мы уже будем готовы освоить требуемый более высокий уровень геодезических знаний.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### Цель и задачи дисциплины. Ее место в учебном процессе

Цель преподавания настоящего раздела геодезии заключается в получении теоретических и практических знаний по основам геодезии, используемым в топографии и инженерном деле.

Задачи курса предполагают теоретическое и практическое освоение пяти основных тем:

- Введение в геодезию.
- Топографические карты и планы.
- Геодезические измерения на местности.
- Создание планово-высотного обоснования съемок.
- Топографические съемки.

### Виды занятий и формы контроля знаний

Наименование занятий и форм контроля знаний	Курс, семестр
Курс	1
Семестр	1, 2
Экзамен (семестр)	1, 2
Лекции (часов по семестрам)	36, 28
Лабораторные занятия (часов по семестрам)	36, 28
Контрольные работы, тесты (по семестрам)	1, 2
Самостоятельная работа (часов по семестрам)	36, 28



**Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий  
с распределением по семестрам**

Наименование темы	Содержание	Кол-во часов
1	2	3
<b>Семестр 1</b>		
<b>Введение в геодезию</b>	<p>Предмет, цели и задачи геодезии. Основные понятия и определения. Основы изображения земной поверхности на топографических планах и картах. Понятие о фигуре Земли. Метод проекций в геодезии. Горизонтальная проекция. Расчет искажений при замене участка сферы плоскостью. Системы координат, применяемые в геодезии. Понятие о системе плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера. Ориентирование линий</p>	6
<b>Топографические планы и карты</b>	<p>Общие понятия о плане и карте. Масштабы карт и планов, их точность. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов. Содержание планов и карт. Координатная сетка на карте. Изображение рельефа на планах и картах. Использование планов и карт. Решение задач на топографических планах и картах. Определение площадей</p>	8
<b>Геодезические измерения на местности</b>	<p>Общие понятия об измерениях:                      – Классификация погрешностей измерений и их свойства.                      – Оценка точности результатов измерений. Техника геодезических вычислений</p>	16

1	2	3
	<p>Угловые измерения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Общие сведения об угловых измерениях. Принцип измерения горизонтального угла.</li> <li>– Устройство теодолита и порядок взятия отсчетов по угломерным кругам.</li> <li>– Основы поверочных испытаний теодолита.</li> <li>– Способы измерения горизонтальных и вертикальных углов техническими теодолитами.</li> <li>– Погрешности угловых измерений.</li> </ul> <p>Нивелирование:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Назначение и виды нивелирования, их точность.</li> <li>– Нивелиры: классификация, устройство, поверки, исследования.</li> <li>– Нивелирные рейки.</li> <li>– Источники ошибок при геометрическом нивелировании.</li> <li>– Техническое нивелирование. Полевые и камеральные работы.</li> <li>– Тригонометрическое нивелирование.</li> <li>– Понятие о гидростатическом нивелировании.</li> </ul> <p>Понятие о барометрическом нивелировании</p>	6
<b>Семестр 2</b>		
<b>Плано-высотное обоснование съемок</b>	<p>Понятие об опорных геодезических сетях как координатной основе при создании съемочного обоснования.</p> <p>Общие сведения о съемочном обосновании и методах его создания.</p> <p>Создание планового съемочного обоснования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости.</li> <li>– Геодезические засечки.</li> <li>– Проложение теодолитных ходов на местности.</li> <li>– Математическая обработка теодолитных ходов.</li> </ul> <p>Создание высотного съемочного обоснования</p>	14

1	2	3
<b>Топографические съемки</b>	<p>Общие сведения и принцип топографической съемки.            Выбор масштаба топографических съемок и высоты сечения рельефа.            Наземная съемка местности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Теодолитная съемка.</li> <li>– Тахеометрическая съемка.</li> <li>– Мензуральная съемка.</li> <li>– Высотная съемка</li> </ul>	14
	Всего	64

### Наименование тем, их содержание, объем в часах лабораторных занятий

Наименование темы	Содержание	Кол-во часов
1	2	3
<b>Семестр 1</b>		
<b>Изучение топографических планов и карт</b>	<p>Масштабы планов и карт. Определение длины линии по плану или карте:            Изображение ситуации и рельефа на топографических картах и планах. Условные знаки.            Ориентирование линий. Определение географических и прямоугольных координат точек, заданных на топографической карте</p>	10
<b>Устройство и поверки теодолитов</b>	<p>Знакомство с теодолитом технической точности.            Поверки и юстировки теодолита</p>	8

1	2	3
<b>Способы измерения горизонтальных углов</b>	Способ измерения отдельного угла. Способ измерения отдельного угла со сбитаем отсчета по лимбу между кругами. Способ повторений	8
<b>Измерение вертикальных углов. Тригонометрическое нивелирование</b>	Взятие отсчета по вертикальному кругу. Проверка места нуля. Измерение угла наклона. Определение отметки стеной марки методом тригонометрического нивелирования	4
<b>Устройство и поверки нивелира</b>	Знакомство с нивелиром. Проверка главного условия нивелира. Проложение нивелирного хода в камеральных условиях	6
<b>Семестр 2</b>		
<b>Обработка теодолитного хода и материалов теодолитной съемки</b>	Обработка журнала теодолитного хода. Вычисление угловой и координатной невязок теодолитного хода. Уравнивание теодолитного хода. Составление плана теодолитной съемки	8
<b>Знакомство с планиметром. Измерение площадей планиметром</b>	Изучение устройства планиметра. Определение цены деления планиметра. Определение площади участка на плане теодолитной съемке с помощью планиметра	4
<b>Обработка высотного хода</b>	Обработка нивелирного журнала. Вычисление невязки нивелирного хода. Уравнивание нивелирного хода	6
<b>Нивелирование поверхности по квадратам</b>	Математическая обработка схемы нивелирования по квадратам. Вычерчивание плана	4
<b>Поверки мензулы и кипрегеля</b>	Знакомство с кипрегелем и мензулой. Поверки мензулы и кипрегеля. Приведение в рабочее положение	6
	Всего	64

## ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

### **1. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Геодезия – очень древняя наука. Она возникла, прежде всего, из практических соображений. Слово «геодезия» в переводе с греческого обозначает «землеразделение». Это название соответствовало содержанию геодезии во времена ее зарождения и начального развития. Так, в Египте еще в XVIII в. до н.э. существовало руководство по решению геометрических и арифметических задач, связанных с землеизмерением и определением площадей земельных участков; геодезисты определяли размеры земельных участков и участвовали в строительстве оросительных систем. В Китае уже в XX в. до н.э. существовало особое учреждение для топографических съемок страны. В VII в. до н.э. в Вавилоне и Ассирии на глиняных дощечках составлялись общегеографические карты. К VI в. до н.э. относится возведение таких сложных инженерных сооружений, как канал между Нилом и Красным морем, а также оросительных систем в долине Нила, что не могло быть осуществлено без геодезических измерений, явившихся началом инженерной геодезии.

По мере развития человеческого общества и уровня цивилизации геодезия, конечно, менялась. Изменились представления о плоской Земле, пришлось учитывать кривизну Земли, а также неоднородность гравитационного поля Земли и изменчивость нашей планеты во времени. Современная геодезия – это, прежде всего, сфера высоких технологий, связанная со спутниковыми средствами измерений, электронными геодезическими приборами, компьютерными программами по математической обработке результатов геодезических измерений, сканерными снимками, геоинформационными системами и т.д. Примером применения этих технологий в стенах нашего университета с участием преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов могут служить следующие работы: выполнение высокоточного нивелирования электронным нивелиром Dini 03 со штрихкодowymi рейками (рис. 1.1) и высокоточных спутниковых наблюдений (рис. 1.2) на Полоцком геодинамическом профиле; производство геодезического обеспечения строительства национальной библиотеки Беларуси с помощью электронных тахеометров (рис. 1.3), наблюдение за деформациями промышленных и инженерных сооружений.

Примеров использования современных технологий в геодезии можно привести еще много, и со временем вы столкнетесь с ними. Но начнем ос-

ваивать геодезию поэтапно, т.е. начиная с простых понятий, причем активно вспоминая знания, полученные вами в школе по связанным с геодезией предметам: географии, математике, геометрии и физике. Дадим определение геодезии.

**Геодезия – это наука о методах и технике производства измерений на земной поверхности, выполняемых с целью изучения фигуры и гравитационного поля Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения различных прикладных задач.**



Рис. 1.1. Комплект высокоточного электронного нивелира DiNi03 со штриховыми рейками при работе на Полоцком геодинамическом профиле



Рис. 1.2. Выполнение спутниковых измерений GPS приемниками фирмы TRIMBLE на Полоцком профиле ст. преподавателем С.К. Товбасом



Рис. 1.3. Вынос разбивочных осей на монтажный горизонт при строительстве национальной библиотеки с помощью электронного тахеометра доц. В.В. Ялтыховым

Она подразделяется на **высшую геодезию**, изучающую фигуру, т.е. форму и размеры, и гравитационное поле Земли, а также теорию и методы построения опорной геодезической сети, и **собственно геодезию**, разрабатывающую способы измерений, применяемые в топографии и инженерном деле. После построения опорной геодезической сети пункты этой сети получают координаты  $x$ ,  $y$ ,  $H$ , которые являются исходными для различных видов геодезических работ, проводимых во многих отраслях народного хозяйства.

Исходя из определения, сформулируем **задачи геодезии**, которые следует разделить на **долговременные**, т.е. практически постоянные, и **текущие**, т.е. особенно актуальные в современное время (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Задачи геодезии**

№	Долговременные	Текущие (на ближайшие годы)
1	Определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли	Создание и внедрение ГИС – геоинформационных систем
2	Распространение единой системы координат и высот на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом	Создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т.д.
3	Изображение участков поверхности Земли на топографических картах и планах	Создание цифровых и электронных карт и их банков данных
4	Инженерно-геодезическое обеспечение отраслей народного хозяйства	Создание государственной геодезической сети спутниковыми методами и осуществление в дальнейшем повсеместного перехода на спутниковые методы автономного определения координат
5	Изучение современных движений земной коры (СДЗК)	

По мере развития геодезия превратилась в сложную и многогранную науку, что привело к ее разделению на несколько научных дисциплин, основные из которых перечислены в табл. 1.2.

Понятно, что четко обозначенных границ между перечисленными дисциплинами нет. Так, топография включает в себя элементы высшей геодезии и картографии, инженерная геодезия использует разделы практически всех остальных геодезических дисциплин и т.д.

**Практическая значимость геодезии.** Из приведенного перечня геодезических дисциплин видно, какие разнообразные задачи теоретического и практического характера приходится решать геодезистам, чтобы удовлетворить требования государственных и частных институтов, учреждений, компаний и фирм. Топографические карты и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по Земле: геологам, морякам, летчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, тури-



стам, школьникам. Трудно представить без геодезии армию и освоение космоса, т.к. строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям, использование ракетной техники, планирование военных операций, запуск космических летательных аппаратов без карт и других геодезических материалов и техники просто невозможно.

Таблица 1.2

**Дисциплины геодезии**

№ п/п	Название дисциплин	Содержание дисциплин
1	Высшая геодезия	Изучает фигуру (размеры и форму) Земли и ее гравитационное поле, обеспечивает распространение принятых систем координат в пределах государства, континента или всей поверхности Земли, занимается исследованием древних и современных движений земной коры, а также изучает фигуру, размеры и гравитационное поле других планет Солнечной системы
2	Топография («топос» – место, «графо» – пишу; дословно – описание местности)	Изучает методы топографической съемки местности с целью изображения ее на планах и картах
3	Картография	Изучает методы и процессы создания и использования карт, планов, атласов и другой картографической продукции
4	Фотограмметрия (фототопография и аэрофототопография)	Изучает методы создания карт и планов по фото-, аэрофото- и космофотоснимкам
5	Инженерная геодезия	Изучает методы и средства проведения геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений
6	Маркшейдерия (подземная геодезия)	Изучает методы проведения геодезических работ в подземных горных выработках

**Связь геодезии с другими науками.** Геодезия занимается изучением Земли в комплексе с другими науками о Земле. Физические свойства Земли в целом изучает наука «физика Земли», строение верхней оболочки нашей планеты изучают геология и геофизика, строение и характеристики океанов и морей – гидрология, океанография. Атмосфера – воздушная оболочка Земли – и процессы, происходящие в ней, являются предметом изучения метеорологии и климатологии. Растительный мир изучает геоботаника, животный мир – зоология. Кроме этого, есть еще география, геоморфология и другие. Среди всех наук о Земле геодезия занимает свое место:

она изучает геометрию Земли в целом и отдельных участков ее поверхности, а также геометрию любых объектов естественного и искусственного происхождения на поверхности Земли и вблизи нее. Геодезия обслуживает все другие науки о Земле, обеспечивая их координатной основой и координатной привязкой для наглядного представления результатов работ по этим наукам в виде планов и карт.

Мы видим, какой большой путь развития прошла геодезия с древних времен. Это развитие было бы невозможно без активного использования в геодезии достижений математики, физики, астрономии, радиоэлектроники, автоматики и других фундаментальных и прикладных наук. Без фундаментальных знаний математической физики и астрономии оказалось бы невозможным решение основной научной задачи высшей геодезии по определению фигуры и гравитационного поля Земли. В приборостроении с изобретением лазера были сконструированы лазерные геодезические приборы – лазерные нивелиры и светодальномеры; кодовые измерительные приборы с автоматической фиксацией отсчетов могли появиться только на определенном уровне развития микроэлектроники и автоматики. Что же касается информатики, то ее достижения вызвали в геодезии подлинную революцию, которая происходит сейчас на наших глазах.

В последние годы строительство так называемых уникальных инженерных сооружений потребовало от геодезии резкого повышения точности измерений. Так, при монтаже оборудования мощных ускорителей приходится учитывать десятые и даже сотые доли миллиметра. По результатам геодезических измерений изучают деформации и осадки действующего промышленного оборудования, обнаруживают движение земной коры в сейсмоактивных зонах, наблюдают за уровнями воды в реках, морях и океанах и уровнем грунтовых вод.

Возможность использования искусственных спутников Земли для решения геодезических задач привела к появлению новых разделов геодезии – космической геодезии и геодезии планет.

## **2. ОСНОВЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНАХ И КАРТАХ**

### **2.1. Понятие о фигуре Земли**

Фигура Земли как планеты издавна интересовала ученых; для геодезистов же установление ее формы и размеров является одной из основных задач. Древние считали, что Земля плоская (рис. 2.1 – 2.3).



Рис. 2.1. Представления о мире древних египтян: Земля – плоская, небо – громадный купол над ней. Небесный свод опирается на четыре высокие горы, расположенные где-то на краю света. Небесные светила как бы подвешены на своде



Рис. 2.2. Вселенная по представлению древних греков



Рис. 2.3. Представление о вселенной в древней Индии: плоская Земля с громадной горой в центре поддерживается четырьмя слонами, которые стоят на огромной черепахе, плавающей в океане

В связи с тем, что Земля принималась за плоскость, геодезия в древности тоже развивалась в направлении выполнения измерений на плоскости и решения геометрических задач на плоскости. Однако древние быстро отошли от этого представления. Так, уже в VI в. до н.э. Пифагор считал, что Земля имеет круглую форму. Спустя 200 лет Аристотель доказал это, ссылаясь на то, что во время лунных затмений тень Земли всегда круглая. Спустя еще 100 лет Эратосфен сумел измерить длину земного меридиана (250 000 стадий) и вычислить радиус Земли (40 000 стадий). Поскольку неизвестно, какими стадиями пользовался Эратосфен, невозможно установить это значение в современных единицах длины.

То, что форма Земли должна отличаться от шара, впервые показал Исаак Ньютон. Дальнейшее развитие теории фигуры Земли пошло благодаря работам Гюйгенса, Клеро, Маклорена, Д'Аламбера, Лагранжа, Лапласа, Лежандра, Якоби, Дирихле, Пуанкаре и др.

По современным представлениям Земля по форме близка к поверхности эллипсоида вращения с малым полярным сжатием (рис. 2.4).

Размеры земного эллипсоида должны быть близки к размерам реальной Земли. Он характеризуется следующими параметрами:

$a = OE'$  (большая полуось);  $b = OP$  (малая полуось);

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \text{ (сжатие); } e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \text{ (эксцентриситет).}$$

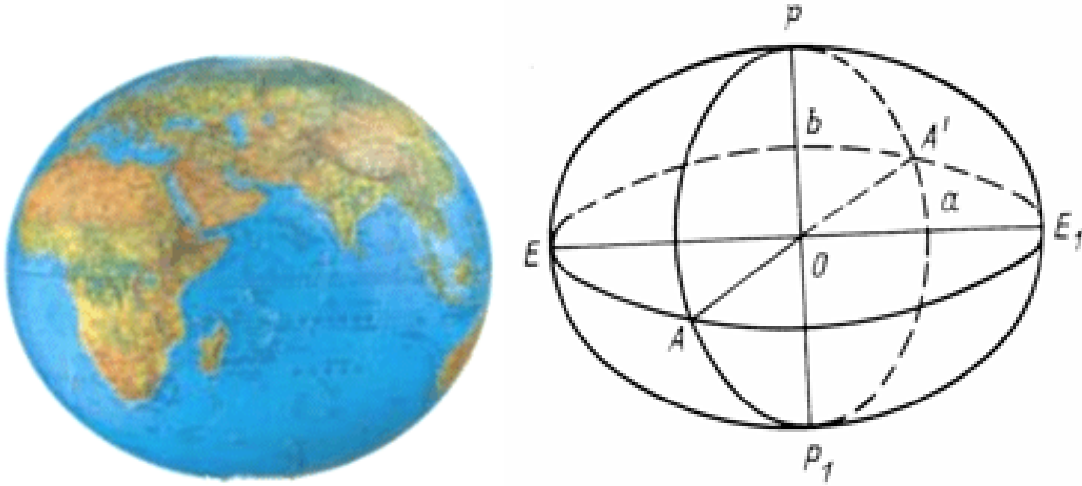


Рис. 2.4. Земной эллипсоид – современная геометрическая модель Земли:

$PP_1$  – ось вращения Земли, проходящая через центр планеты (т.  $O$ ) и полюса Земли (северный – т.  $P$  и южный – т.  $P_1$ );  $EAE_1A'$  – плоскость экватора, полученная как экваториальное сечение эллипсоида;  $PAP_1A'$  – плоскость центрального меридиана (меридиональное сечение земного эллипсоида)

В нашей стране при математической обработке результатов геодезических измерений принят рабочий эллипсоид Красовского с параметрами:

$$a = 6\,378\,245 \text{ м; } \alpha = 1:298,3.$$

Для сравнения дадим параметры общего земного эллипсоида, максимально близкого к фигуре реальной Земли в целом:

$$a = 6\,378\,137 \text{ м; } \alpha = 1:298,257.$$

Фигура реальной Земли, конечно же, значительно сложнее эллипсоида (геометрической модели Земли). В настоящее время под **фигурой Земли понимают поверхность, совпадающую с невозмущенной поверхностью морей и океанов, а на материках – с ее твердой оболочкой.**

В первом приближении фигуру Земли можно принять за **геоид**, который следует рассматривать уже как **физическую модель Земли**. Геоид совпадает с невозмущенной поверхностью морей и океанов, а под материками проходит таким образом, что направления силы тяжести всюду перпендикулярны к ней. В геоиде учитываются массы Земли, поэтому он является физической моделью, но имеет принципиальное отличие от фигуры реальной Земли, т.к. в геоиде все массы материков отбрасываются (рис. 2.5).

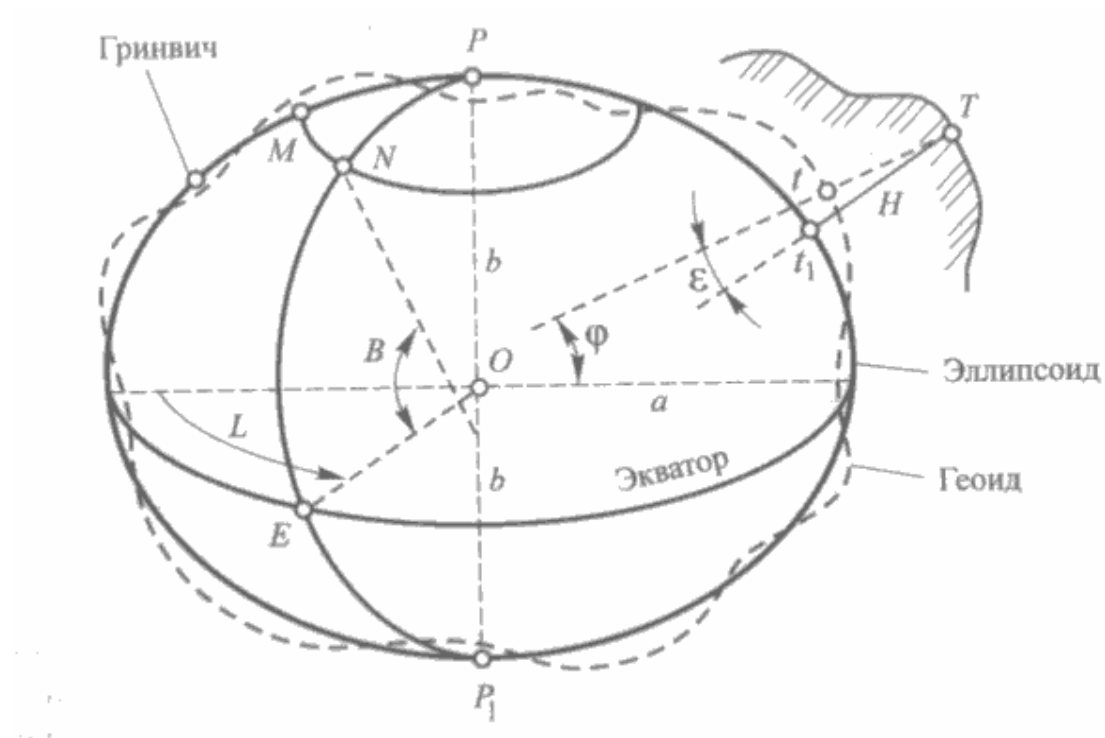


Рис. 2.5. Современные представления о фигуре Земли.  
 Геоид – физическая модель Земли; эллипсоид – геометрическая модель Земли;  
 T – реальная поверхность Земли

Таким образом, по современным представлениям Земля в геометрическом плане имеет сложную форму, близкую к эллипсоиду. При решении геодезических задач поверхность эллипсоида принимают за основную **поверхность относимости, т.е. поверхность, на которую проектируются результаты геодезических измерений с поверхности реальной Земли.** Однако при решении некоторых задач геодезии поверхностью относимости может служить сфера, которая в математическом отношении проще, чем поверхность эллипсоида вращения, а при выполнении геодезических работ на небольших по размеру площадях Земли участок сферы или эллипсоида можно считать плоским. Последнее значительно упрощает решение геодезических задач на поверхности Земли. Важно только понимать, в каких случаях можно отвлечься от факта кривизны Земли, а в каких нельзя.

## 2.2. Метод проекций. Горизонтальная проекция

Чтобы изобразить на бумаге участок земной поверхности, нужно выполнить две операции: сначала спроектировать все точки участка на поверхность относимости (на поверхность эллипсоида вращения или на поверхность сферы) и затем изобразить поверхность относимости на плоско-

сти. Если участок местности небольшой, то соответствующий ему участок сферы или поверхности эллипсоида можно заменить плоскостью и считать, что проектирование выполняется сразу на плоскость.

При проектировании отдельных точек и целых участков земной поверхности на поверхность относимости применяются различные проекции: горизонтальная, ортогональная, центральная и т.д. При этом под проекцией понимают математически выраженный способ отображения поверхности Земли или других небесных тел, принимаемых за эллипсоид, сферу или другие регулярные поверхности, на плоскости.

В **горизонтальной проекции** проектирование выполняют отвесными линиями, под которыми в данном случае будем понимать перпендикуляры к поверхности относимости.

Пусть точки  $A, B, C$  находятся на поверхности Земли (рис. 2.6).

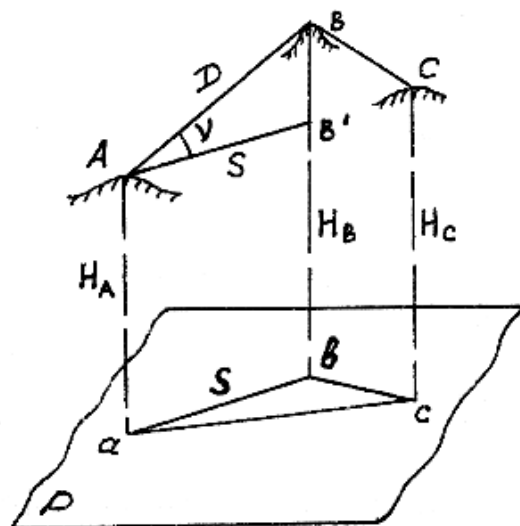


Рис. 2.6. К понятию горизонтальной проекции:

$ABC$  – участок земной поверхности;  $P$  – поверхность относимости, расположенная горизонтально по отношению к наклонному участку местности;  $D$  – длина линии  $AB$  на местности (наклонное расстояние в соответствии с рельефом местности);  $S$  – горизонтальное проложение линии  $AB$ ;  $abc$  – изображение участка земной поверхности  $ABC$  на поверхности относимости  $P$  в горизонтальной проекции;  $v$  – угол наклона линии  $AB$  на местности к горизонту

Спроектируем эти точки на поверхность относимости  $P$  по перпендикулярам (отвесным линиям) и получим их горизонтальные проекции – точки  $a, b, c$ . Линия  $ab$  называется горизонтальной проекцией, или **горизонтальным проложением** линии местности  $AB$ , и обозначается буквой  $S$ . Угол между линией  $AB$  и ее горизонтальной проекцией  $AB'$  называется углом наклона линии и обозначается буквой  $v$ .

Расстояния  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$  от точек местности до их горизонтальных проекций на поверхности относимости называются **высотами**, или альтитудами точек, и обозначаются буквой  $H$  ( $H_A$ ,  $H_B$ ,  $H_C$ ); **отметка точки** – это численное значение ее высоты. Разность отметок двух точек называется **превышением** одной точки относительно другой и обозначается буквой  $h$ :

$$h_{AB} = H_B - H_A, \quad (2.1)$$

где  $h_{AB}$  – превышение на местности точки  $B$  над точкой  $A$ .

### 2.3. Расчет искажений при замене участка сферы плоскостью

#### 2.3.1. Искажение расстояний

Как говорилось выше, участок сферической поверхности при определенных условиях можно принять за плоскость. Применение модели плоской поверхности при решении геодезических задач допустимо лишь для небольших участков поверхности Земли, когда искажения, вызванные заменой поверхности сферы или эллипсоида плоскостью, невелики и могут быть вычислены по простым формулам. Это тем более оправдано, если учесть, что измерения на местности и чертежные работы всегда выполняются с ошибками, а потому небольшую часть сферы (эллипсоида), отличающуюся от плоскости на величину, меньшую ошибок измерений, можно считать плоской.

Рассчитаем, какое искажение получит дуга окружности, если заменить ее отрезком касательной к этой дуге. На рис. 2.7 точка  $O$  – центр окружности, дуга  $ABC$  радиусом  $R$  стягивает центральный угол  $\varepsilon$ . Проведем касательную через середину дуги в точке  $B$  и, продолжив радиусы  $OA$  и  $OC$  до пересечения с касательной, получим точки  $A'$  и  $C'$ .

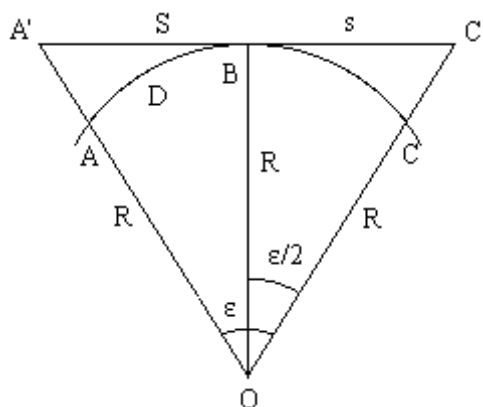


Рис. 2.7. Расчет искажений при замене сферического участка земной поверхности плоскостью:

$R$  – радиус Земли;  $O$  – центр Земли;  $\varepsilon$  – центральный угол дуги  $ABC$



Пусть дуга  $ABC$  имеет длину  $D$ , а отрезок касательной  $A'C'$  – длину  $S$ . Для расчета найдем выражение для разности между длиной дуги и длиной касательной, т.е.  $\Delta D = (S - D)$ .

Известно, что длина дуги окружности радиусом  $R$  выражается формулой

$$D = R \varepsilon, \quad (2.2)$$

где  $\varepsilon$  – центральный угол, выраженный в радианах.

Из прямоугольного  $\Delta OBC'$  имеем:

$$\frac{S}{2} = R \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) \quad \text{или} \quad S = 2R \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right). \quad (2.3)$$

Тогда

$$\Delta D = 2R \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) - R\varepsilon = R \left[ 2\operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) - \varepsilon \right]. \quad (2.4)$$

Разложим  $\operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)$  в ряд по правилу разложения тригонометрической функции, ограничившись ввиду малости угла  $\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)$  двумя членами разложения:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) = \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^3}{3} = \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon^3}{24}. \quad (2.5)$$

Подставим выражение (2.5) в формулу (2.4) и, выполнив простейшие преобразования, получим:

$$\Delta D = R \left[ 2\left(\frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon^3}{24}\right) - \varepsilon \right] = R\varepsilon + \frac{R\varepsilon^3}{12} - R\varepsilon = \frac{R\varepsilon^3}{12}. \quad (2.6)$$

С учетом того, что  $\varepsilon = D/R$ , можно записать

$$\Delta D = \frac{D^3}{12R^2}. \quad (2.7)$$

Точность линейных измерений (измерения расстояния) в геодезии принято выразить в относительной мере. Поэтому для сравнения с ней также выразим  $\Delta D$  в относительном виде, т.е. через отношение  $\frac{\Delta D}{D}$ , кото-

рое называется относительным искажением длины дуги при замене ее отрезком касательной:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^3}{12R^2}. \quad (2.8)$$

Пользуясь (2.8), подсчитаем конкретные значения относительного искажения расстояния для разных длин дуг  $D$ , принимая радиус Земли  $R = 6\,400$  км:

$$\begin{aligned} D = 20 \text{ км, } \frac{\Delta D}{D} &= \frac{1}{1\,218\,000}; \\ D = 30 \text{ км, } \frac{\Delta D}{D} &= \frac{1}{541\,000} \end{aligned} \quad (2.9)$$

и т.д.

Достигнутая точность измерения расстояний геодезическими методами пока не превышает  $\frac{1}{1\,000\,000}$ , поэтому при геодезических работах любой точности, выполняемых с целью определения планового положения точек, участок сферы размером  $(20 \times 20)$  км<sup>2</sup> можно считать плоским. При работах пониженной точности размеры участка сферы, принимаемого за плоскость, для этого случая можно увеличить.

### 2.3.2. Искажение высот точек

Если заменить небольшой участок сферы касательной плоскостью, то будут искажены не только длины линий, но и отметки точек. Для расчета высотных искажений снова воспользуемся рис. 2.7. Согласно рисунку, искажения отметок симметричны относительно точки  $B$  и увеличиваются при удалении от нее. Обозначим отрезок  $BC'$ , равный половине отрезка  $A'C'$ , через  $s$ . Отметка точки  $C'$ , находящейся на касательной плоскости, отличается от отметки точки  $C$ , лежащей на сфере, на величину отрезка  $CC' = p$ .

Из треугольника  $OBC'$  следует:

$$R^2 + s^2 = (R + p)^2 = R^2 + 2Rp + p^2. \quad (2.10)$$

Откуда после преобразований получаем:

$$p = \frac{s^2}{2R + p}. \quad (2.11)$$

В знаменателе величина  $p$  намного меньше двойного радиуса Земли, т.е. величины  $2 \cdot R = 12\,800$  км. Поэтому, отбросив ее, мы допустим несущественную ошибку. Таким образом, можно записать

$$p = \frac{s^2}{2R}. \quad (2.12)$$

Пользуясь формулой (2.12), выполним расчеты искажения отметки при замене сферы касательной плоскостью для различных расстояний (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Расчет искажений отметок при замене сферы плоскостью**

Расстояние $s$ , м	Искажение отметки $p$
10 000	7,8 м
1 000	0,078 м = 7,8 см
100	0,00078 м = 0,8 мм

Приведенные в таблице расчеты показывают, что влияние кривизны Земли на отметки точек значительно больше, чем на расстояния. Кривизной Земли при высотных измерениях практически никогда нельзя пренебрегать.

### 3. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ

#### 3.1. Общие сведения об основных системах координат, применяемых в геодезии

Чтобы получить положение любой точки или объекта земной поверхности, надо задать систему координат, удобную для практического пользования. В геодезии используют различные системы координат. Приведем наиболее часто встречаемые на практике.

К основным системам координат, применяемым в геодезии, относятся следующие:

1. Система географических координат:
  - 1.1. Система геодезических координат.
  - 1.2. Система астрономических координат.
2. Система полярных координат.
3. Система пространственных прямоугольных координат.
4. Система плоских прямоугольных координат.

В географической системе координат плановое положение точки на местности характеризуется широтой и долготой, которые, в свою очередь, обозначаются с помощью меридианов и параллелей. Поэтому дадим понятие меридианов и параллелей (рис. 3.1).

**Меридиан** (от лат. *meridies* – полдень) – в географии, половина линии сечения поверхности земного шара плоскостью, проведенной через

какую-либо точку земной поверхности и ось вращения Земли. Каждый меридиан пересекается со всеми остальными меридианами в двух точках – на северном и южном полюсе. Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (вблизи Лондона, Великобритания), называется **нулевым**, или **Гринвичским**, меридианом.

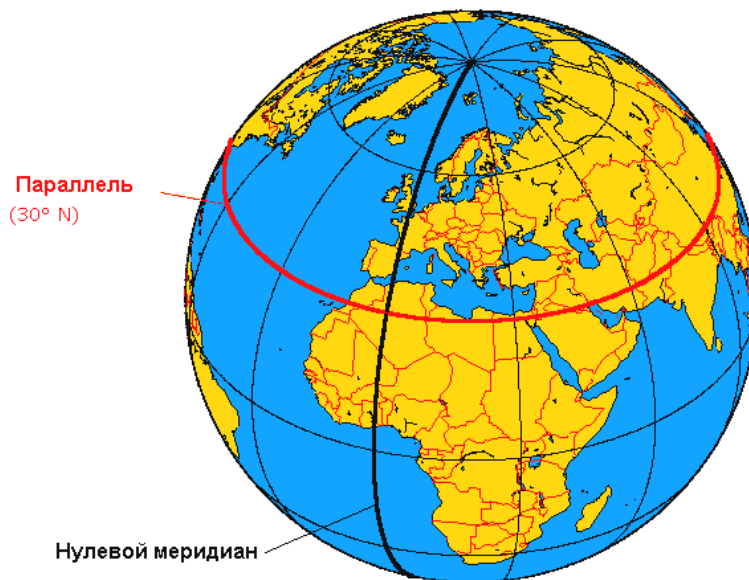


Рис. 3.1. Изображение меридианов и параллелей на земной поверхности

**Географический** (истинный) **меридиан** может быть геодезическим и астрономическим.

**Геодезический меридиан** образован плоскостью, проходящей через ось вращения Земли и нормаль к эллипсоиду, опущенную из точки  $M$  земной поверхности.

**Астрономический меридиан** образован плоскостью, проходящей через линию, параллельную оси вращения Земли, и отвесную линию, опущенную из точки  $M$  земной поверхности.

**Параллель** – это линия сечения Земли (земного шара, земного эллипсоида) плоскостью, параллельной плоскости экватора.

**Геодезическая система координат** характеризуется геодезической широтой  $B$ , геодезической долготой  $L$  и высотой  $H$  точки земной поверхности относительно земного эллипсоида (рис. 3.2).

**Геодезическая широта  $B$**  есть угол между плоскостью земного экватора и нормалью к эллипсоиду, опущенную из точки  $M$  местности. Она изменяется от  $0$  до  $\pm 90^0$ . В северном полушарии широта положительная, в южном – отрицательная.

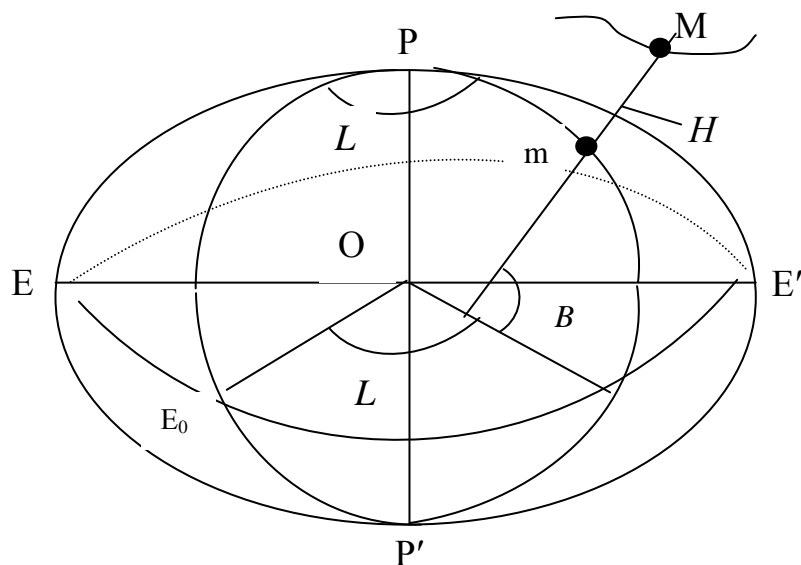


Рис. 3.2. Геодезические координаты  $B, L, H$  точки земной поверхности  $M$ .  
 $PE_0E'$  – плоскость Гринвичского, или нулевого, меридиана;  $PmP'$  – плоскость местного геодезического меридиана (проведенного через точку  $M$  местности).  
 $Mm$  – нормаль к эллипсоиду, опущенная из точки  $M$

**Геодезическая долгота  $L$**  точки  $M$  земной поверхности есть двугранный угол между плоскостью нулевого (Гринвичского) меридиана и плоскостью местного геодезического меридиана, проходящего через точку  $M$ . Долгота изменяется от  $0$  до  $360^0$  от Гринвичского меридиана с запада на восток или от  $0$  до  $180^0$  в обе стороны от Гринвичского меридиана с припиской соответственно слова «восточная», или знака «+», и «западная», или знака «-».

**Геодезическая высота  $H$**  – есть расстояние  $mM$  от поверхности земного эллипсоида до точки земной поверхности, отсчитанное по нормали (перпендикуляру) к эллипсоиду.

**Астрономические координаты** характеризуются астрономической широтой  $\varphi$  и астрономической долготой  $\lambda$ .

**Астрономическая широта  $\varphi$**  – угол между плоскостью экватора и направлением отвесной линии, проходящей через точку  $M$  местности. В отличие от геодезической широты здесь нормаль (перпендикуляр) к поверхности эллипсоида заменяется реальным направлением силы тяжести (отвесной линии) в данной точке. Астрономическая широта также отсчитывается от экватора к полюсам.

**Астрономическая долгота  $\lambda$**  – двугранный угол между плоскостью нулевого (Гринвичского) меридиана и плоскостью местного астрономиче-

ского меридиана, проходящего через точку  $M$  местности. Счет астрономических и геодезических долгот совпадает.

Различие геодезических и астрономических координат точки  $M$  зависит от угла между отвесной линией данной точки и нормалью к поверхности эллипсоида в этой же точке. Этот угол называется **уклонением отвесной линии**; он обычно не превышает  $5''$ . В некоторых районах Земли, называемых **аномальными**, уклонение отвесной линии достигает нескольких десятков дуговых секунд. При геодезических работах невысокой точности астрономические и геодезические координаты не различают; их общее название – **географические координаты** – используется довольно часто.

Две координаты – широта и долгота – определяют положение точки на поверхности относимости (сферы или эллипсоида). Для определения положения точки в трехмерном пространстве нужно задать ее третью координату, которой в геодезии является высота. В геодезической системе координат это геодезическая высота, которая отсчитывается от поверхности эллипсоида. В общем случае **счет высот** ведется от некоторой выбранной **уровенной поверхности**. В нашей стране и России за эту поверхность принята **уровенная поверхность, проходящая через ноль Крондштатского футштока**, которая соответствует **среднему уровню Балтийского моря**; эта система высот называется **Балтийской**.

**Система прямоугольных пространственных координат ( $OXYZ$ )** отнесена к центру земного эллипсоида (рис. 3.3).

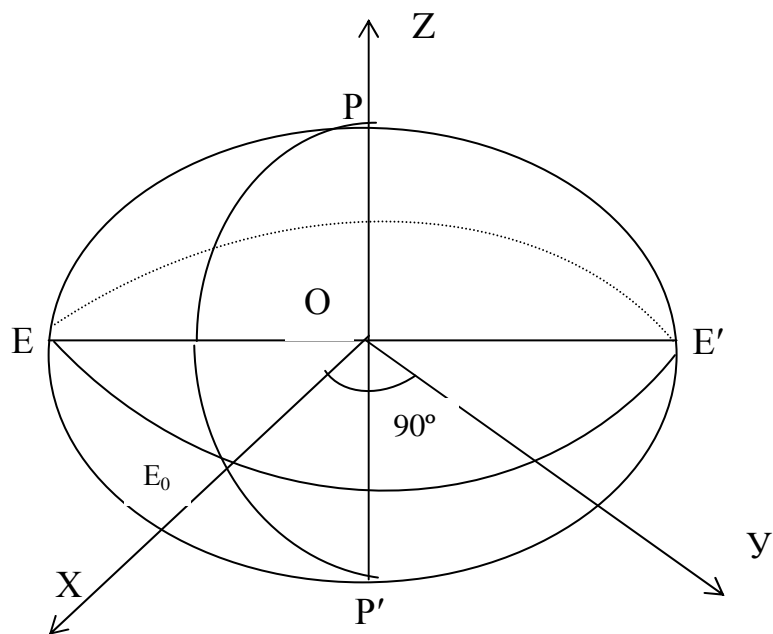


Рис. 3.3. Система прямоугольных пространственных координат  $OXYZ$ .  
 $E_0$  – точка пересечения Гринвичского меридиана с экватором

Ось  $Z$  совпадает с осью вращения Земли и направлена к полюсам; оси  $X$  и  $Y$  расположены в плоскости экватора: ось  $X$  направлена от центра в точку пересечения дуги нулевого (Гринвичского) меридиана с дугой экватора, ось  $Y$  – от центра в точку пересечения меридиана с долготой  $90^\circ$  с дугой экватора. Данная система координат широко применяется в настоящее время при определении положения точек земной поверхности спутниковыми методами.

Систему **плоских прямоугольных координат** образуют две взаимно перпендикулярные прямые линии, называемые осями координат; точка их пересечения называется началом или нулем системы координат. Ось абсцисс –  $ox$ , ось ординат –  $oy$ .

Существуют две системы прямоугольных координат: левая и правая. В геодезии чаще применяется левая система (рис. 3.4). Положение точки в прямоугольной системе однозначно определяется двумя координатами:  $x$  и  $y$ ; координата  $x$  выражает расстояние точки от оси  $oy$ , координата  $y$  – расстояние от оси  $ox$ .

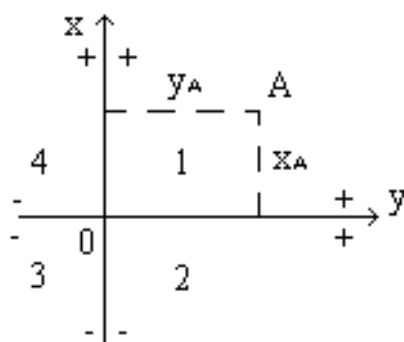


Рис. 3.4. Плоская прямоугольная система координат, применяемая в геодезии:

$x_A, y_A$  – координаты точки  $A$ ; 1, 2, 3, 4 – номер четверти;

знаками «+» и «-» показаны положительные и отрицательные значения координат по осям

Значения координат бывают положительные (со знаком «+») и отрицательные (со знаком «-») в зависимости от того, в какой четверти (квadrанте) находится искомая точка.

Систему **полярных координат** образует направленный прямой луч  $ox$ . Начало координат – точка  $o$  – называется полюсом системы, линия  $ox$  – полярной осью. Положение любой точки в полярной системе определяется двумя координатами: радиусом-вектором  $r$  (синоним – полярное расстояние  $S$ ) – расстоянием от полюса до точки, и полярным углом  $\beta$  при точке  $o$ , образованным осью  $ox$  и радиусом вектором точки  $A$ , отсчитываемым от оси  $ox$  по ходу часовой стрелки (рис. 3.5).

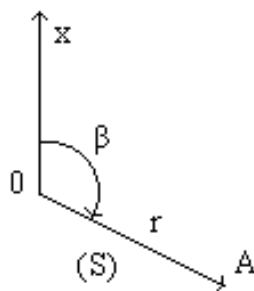


Рис. 3.5. Система полярных координат:  
 $\beta$ ,  $S$  – координаты точки  $A$  в полярной системе

Переход от прямоугольных координат к полярным и обратно для случая, когда начала обеих систем находятся в одной точке и оси  $ox$  у них совпадают (рис. 3.6), выполняется по следующим формулам:

$$x = S \cos \beta; \quad y = S \sin \beta; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{y}{x}; \quad S = oA = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (3.1)$$

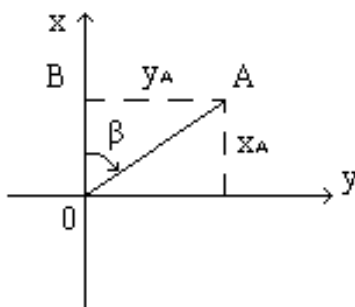


Рис. 3.6. Связь плоских прямоугольных и полярных координат

Эти формулы получаются из решения  $\triangle OBA$  по известным соотношениям между сторонами и углами прямоугольного треугольника.

Системы прямоугольных и полярных координат применяются в геодезии для определения положения точек на плоскости.

### 3.2. Система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера

В Республике Беларусь, России и некоторых других странах мира главной проекцией, используемой для топографического и тематического картографирования, привязки снимков с космических аппаратов, а также в качестве математической основы наиболее распространенных баз пространственных данных, служит **равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса – Крюгера**.



Система координат в равноугольной проекции была введена выдающимся немецким ученым Карлом Фридрихом Гауссом для обработки Ганноверской триангуляции (1821 – 1825), развитой при выполнении градусных измерений с целью определения размеров Земли. В 1912 и 1919 гг. ее доработал немецкий геодезист Л. Крюгер. С тех пор она называется проекцией Гаусса – Крюгера. Эта проекция определяется тремя условиями: она равноугольная, сохраняет длины на среднем (осевом) меридиане и симметрична относительно осевого меридиана и экватора.

Точки земной поверхности в этой системе сначала редуцируются на поверхность относимости (эллипсоид), затем последовательно по зонам проектируются на цилиндр (рис. 3.7).

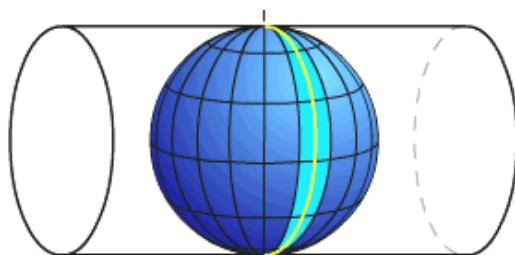


Рис. 3.7. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса – Крюгера, в которой изображение земной поверхности на эллипсоиде по зонам проектируется на цилиндр

Зона – это участок цилиндра, ограниченный меридианами через  $6^{\circ}$  или  $3^{\circ}$  (шести- или трехградусные зоны). Цилиндр после каждого проектирования вращают на величину зоны –  $6^{\circ}$  или  $3^{\circ}$ . В результате осевой меридиан каждой зоны касается цилиндра, поэтому после разворачивания зоны на плоскость искажения на осевых меридианах равны 0, а по мере удаления от осевого меридиана искажения возрастают (рис. 3.8).

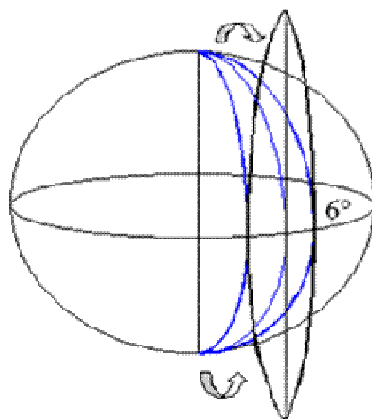


Рис. 3.8. Шестиградусная зона, развернутая на плоскость в проекции Гаусса – Крюгера

В результате вся поверхность Земли оказывается разделенной на 60 (если зона  $6^0$ ) или 120 (если зона  $3^0$ ) зон, протягивающиеся от северного полюса до южного, а с запада и востока ограниченные меридианами (рис. 3.9). **Центральный** меридиан каждой зоны называется **осевым** меридианом. Счет зон идет с запада на восток от Гринвичского меридиана.

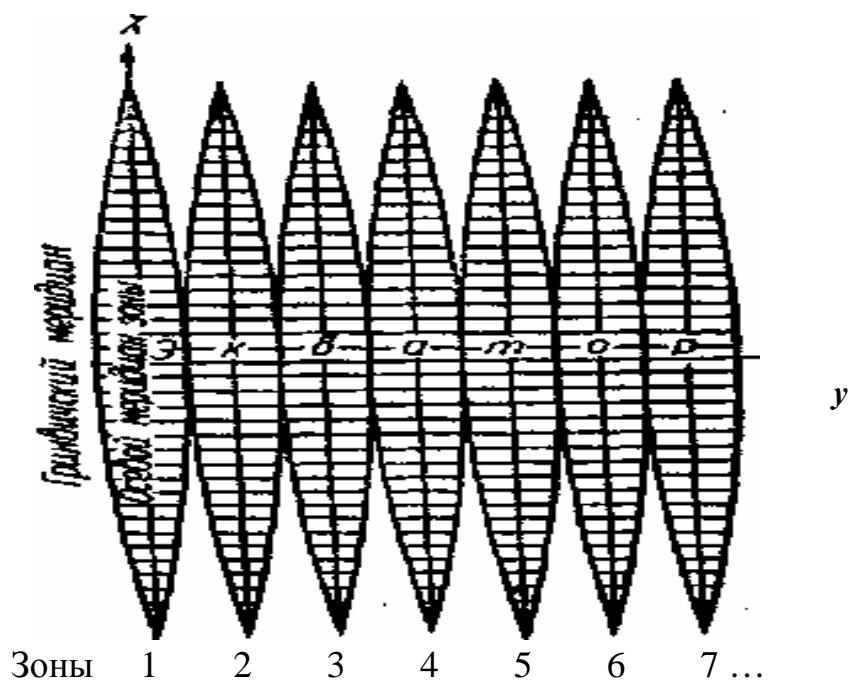
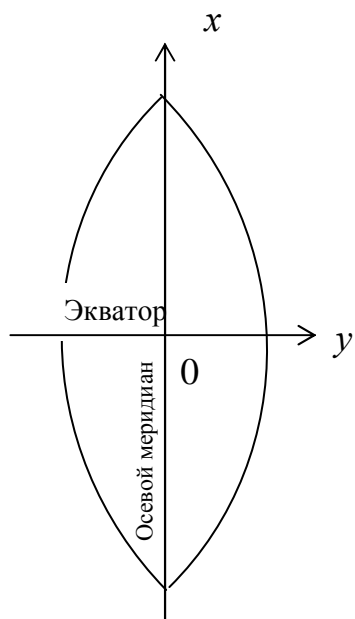


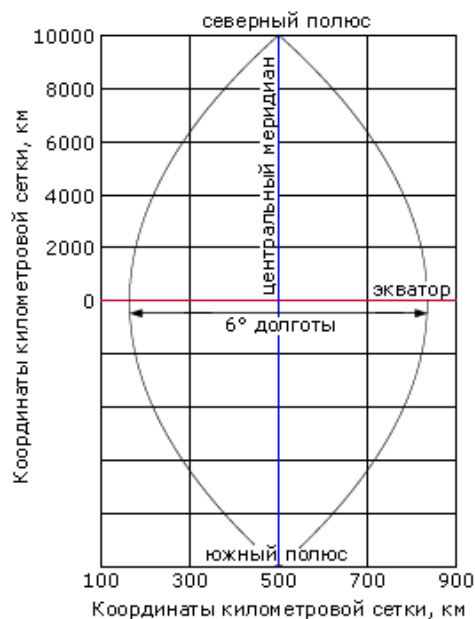
Рис. 3.9. Изображение координатных зон на плоскости

Под **плоскими прямоугольными координатами в проекции Гаусса – Крюгера** понимают систему прямоугольных координат, в которой за начало координат в 6- или 3-градусной зонах принята точка пересечения дуги осевого меридиана зоны с дугой экватора. За ось абсцисс  $x$  принято изображение дуги осевого меридиана, за ось ординат  $y$  – дуги экватора (рис. 3.10, а).

Абсцисса  $x$  отсчитывается от экватора к полюсам, в северном полушарии она положительная, в южном – отрицательная. Ордината  $y$  в каждой зоне отсчитывается от 0 на восток (положительные значения) и на запад (отрицательные значения). Для избегания отрицательных значений ординат для них вводят условную запись, сдвигая начало координат в каждой зоне по  $y$  на 500 км, т.е. начало координат в каждой зоне является следующим:  $x = 0, y = 500$  км (рис. 3.10, б). Поэтому возникает понятие действительных и условных ординат. Кроме того, для ординат в этой системе обязательно указывают номер зоны. Пример записи действительных и условных ординат дан ниже.



а



б

Рис. 3.10. Система плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера

Действительные значения ординат:	Условные записи ординат:
$y = +152833,5$ м (пятой зоны)	$y = 5\ 652833,5$
$y = -127893,6$ м (седьмой зоны)	$y = 7\ 372106,4$

На практике применяют условные записи ординат, первая цифра в них означает номер зоны.

На топографических картах приведены плоские прямоугольные координаты в проекции Гаусса – Крюгера. На них показаны линии километровой сетки, при этом горизонтальные линии этой сетки проходят параллельно линии экватора и удобны для определения абсциссы  $x$ , а вертикальные – параллельны линии осевого меридиана зоны, что удобно использовать при определении ординаты  $y$ , а также при ориентировании линий.

#### 4. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

Ориентировать линию – значит определить ее направление относительно исходного направления. Для ориентирования линий применяют азимуты, дирекционные углы и румбы. Исходными направлениями могут служить магнитный, географический (истинный) и осевой меридианы, которые не совпадают между собой (рис. 4.1).

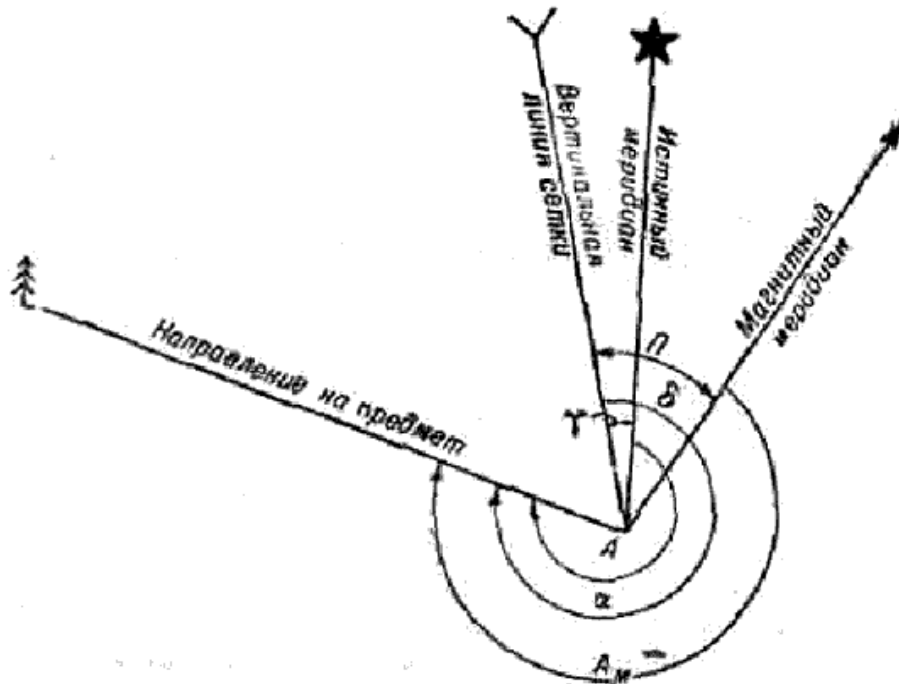


Рис. 4.1. Исходные направления (меридианы) для ориентирования линии из точки стояния на предмет местности: осевой меридиан (вертикальная линия сетки), истинный меридиан, магнитный меридиан:

$\alpha$  – дирекционный угол направления на предмет;  $A$  – истинный (географический) азимут направления;  $A_M$  – магнитный азимут этого же направления;  $\gamma$  – сближение меридианов;  $\delta$  – склонение магнитной стрелки;

$$\Pi = \gamma + \delta$$

**Географическим (истинным) азимутом** линии называется горизонтальный угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления **географического (истинного) меридиана** точки до направления линии; он обозначается буквой  $A$  (см. рис. 4.1). Пределы изменения географического азимута от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ .

**Дирекционным углом** линии называется горизонтальный угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления **осевого меридиана** точки до направления линии; он обозначается буквой  $\alpha$  (см. рис. 4.1). Пределы изменения дирекционного угла от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ . На карте осевой меридиан совпадает с вертикальной линией километровой сетки.

**Магнитным азимутом** линии называется горизонтальный угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления **магнитного меридиана** точки до направления линии; он обозначается буквой  $A_M$  (см. рис. 4.1). Пределы изменения магнитного азимута также от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ .

Угол между направлениями географического и осевого меридианов называется **сближением меридианов** и обозначается буквой  $\gamma$ . В разных точках земной поверхности осевые меридианы параллельны между собой,

а географические (истинные) – не параллельны. (Магнитные меридианы также не параллельны между собой) Поэтому под сближением меридианов часто также понимают угол между направлениями географического меридиана в разных точках, а угол между осевым и географическим меридианом в точке обозначают как Гауссово сближение меридианов (рис. 4.2).

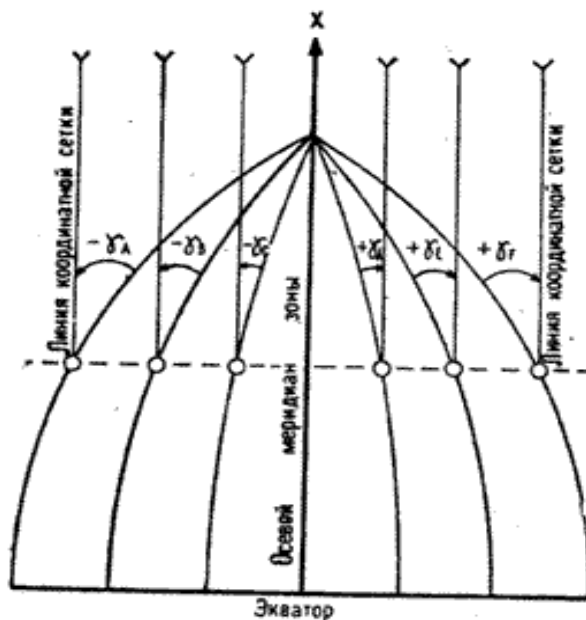


Рис. 4.2. Сближение меридианов, вызванное непараллельностью географических меридианов (на рисунке кривые линии, идущие от экватора к полюсу) на земной поверхности и их несовпадением с направлениями осевых меридианов (вертикальные линии координатной сетки на карте)

Из-за непараллельности географических меридианов в разных точках географический азимут различных отрезков одной линии будет отличаться на величину сближения меридианов в начальных точках (рис. 4.3):

$$A_{CD} = A_{BC} + \gamma. \quad (4.1)$$

Прямой и обратный истинные (географические) азимуты линии будут отличаться между собой на  $180^\circ \pm \gamma$

$$A_{CB} = A_{BC} + 180^\circ + \gamma. \quad (4.2)$$

Сближение меридианов может быть западным (отрицательным, если меридиан отклонился от исходного направления на запад) и восточным (положительным, если на восток).

Среднее численное значение сближения меридианов для отдельного листа топографической карты дается в ее левом нижнем углу. Сближение географических меридианов между точками *A* и *B* местности можно вычислить по формуле (4.3) согласно рис. 4.3.

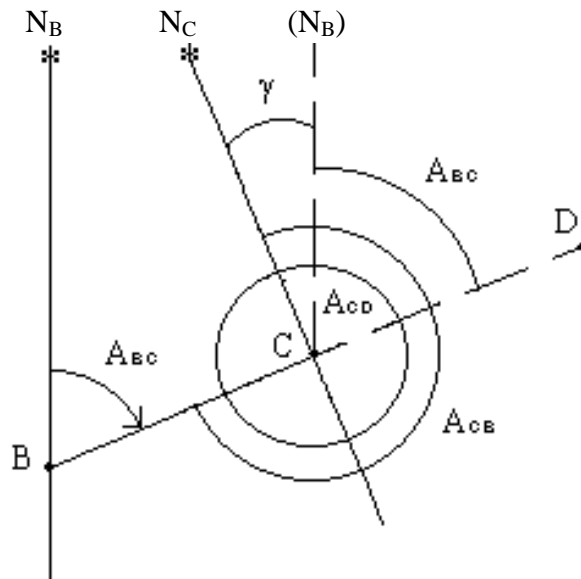


Рис. 4.3. Влияние непараллельности географических меридианов на географический азимут направления по линии:

$BD$  – линия на местности;  $A_{BC}$  – географический азимут отрезка  $BC$ ;  $A_{CD} = (A_{BC} + \gamma)$  – географический азимут отрезка  $CD$

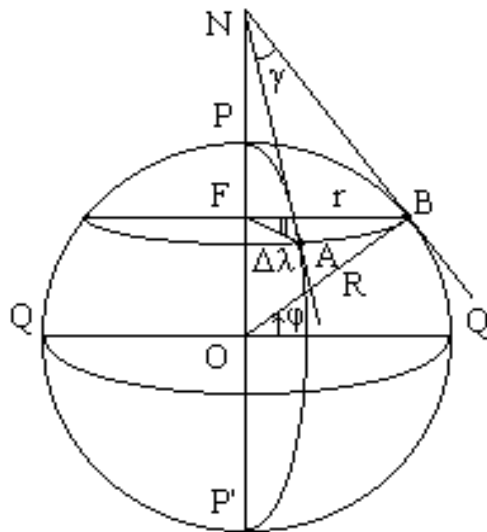


Рис. 4.4. Определение сближения меридианов  $\gamma$  между географическими меридианами  $AN$  и  $BN$ :

$PP'$  – ось вращения Земли;  $N$  – точка севера;  $\varphi$  – географическая широта точки  $B$ ;  $\Delta\lambda$  – разность долгот точек  $B$  и  $A$

$$\gamma = (\lambda_B - \lambda_A) \sin \varphi, \quad (4.3)$$

где  $\gamma$  – сближение меридианов;

$(\lambda_B - \lambda_A)$  – разность географических долгот между точками  $B$  и  $A$ ;

$\varphi$  – географическая широта точки  $B$ .

Гауссово сближение меридианов, т.е. угол между направлением осевого и истинного меридианов зоны вычисляется, по аналогичной формуле:

$$\gamma_G = (\lambda_B - \lambda_0) \sin \varphi, \quad (4.4)$$

где  $\gamma_G$  – Гауссово сближение меридианов;  
 $\lambda_0$  – долгота осевого меридиана зоны.

Направления осевых меридианов различных зон параллельны между собой. Поэтому в отличие от географических азимутов (см. рис. 4.3) **дирекционный угол будет одинаковым для всей линии, а прямой и обратный дирекционные углы будут отличаться ровно на  $180^\circ$**  (рис. 4.5).

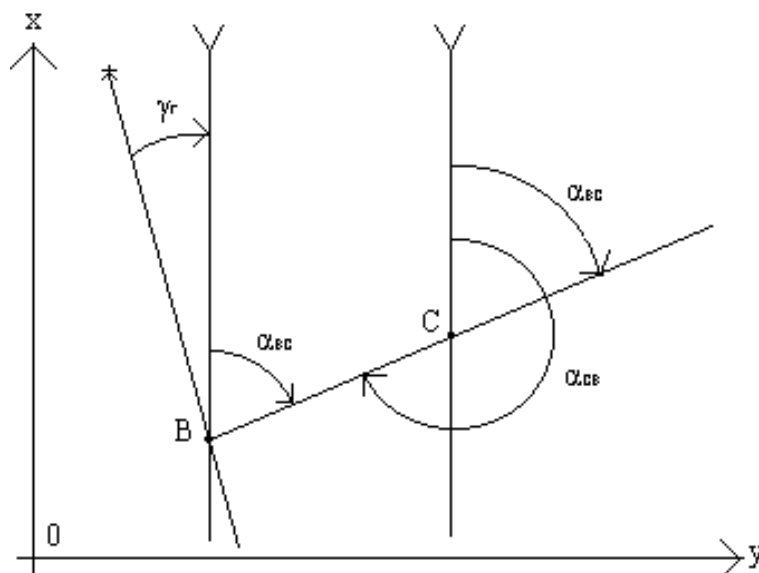


Рис. 4.5. Ориентирование по осевому меридиану зоны:

$\gamma_G$  – Гауссово сближение меридиана;  $\alpha_{BC}$  – дирекционный угол направления  $BC$ , одинаковый для всей линии;  $\alpha_{CB} = (\alpha_{BC} + 180^\circ)$  – обратный дирекционный угол

$$\alpha_{BC} = (\alpha_{CB} - 180^\circ), \quad (4.5)$$

где  $\alpha_{BC}$  и  $\alpha_{CB}$  – соответственно прямой и обратный дирекционные углы направления  $BC$ .

Дирекционные углы широко используются при вычислении плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера. Их значения для различных направлений местности можно легко вычислить через углы поворота (рис. 4.6).

**Сформулируем задачу по определению дирекционного угла направления от исходного через углы поворота.**

**Дано:**  $\alpha_{BC}$  – исходный дирекционный угол направления  $BC$ ;

$\beta_L$  и  $\beta_{Pr.}$  – левый и правый углы поворота между исходным направлением и определяемым направлением  $CD$ , измеренные в точке  $C$  геодезическим прибором.

**Требуется определить:**  $\alpha_{CD} = ?$

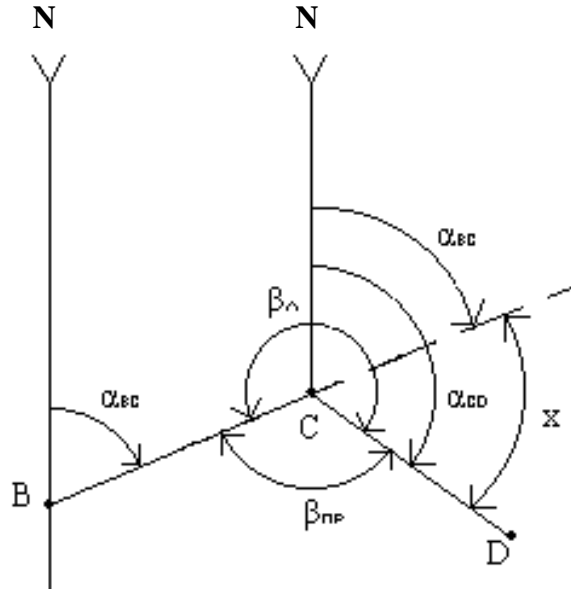


Рис. 4.6. Передача дирекционного угла  $\alpha$  через углы поворота:

$\alpha_{BC}, \alpha_{CD}$  – дирекционные углы направлений  $BC$  и  $CD$ ;  $\beta_L$  и  $\beta_{Pr.}$  – левый и правый углы поворота на направление  $CD$ , измеренные в точке  $C$

**Решение задачи** легко находится из рис. 4.6, согласно которому формулы для дирекционного угла определяемого направления имеют вид:

– для левого по ходу измеряемого угла поворота  $\beta_L$ :

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_L - 180^\circ; \quad (4.6)$$

– для правого по ходу измеряемого угла поворота  $\beta_{Pr.}$ :

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} - \beta_{Pr.} + 180^\circ. \quad (4.7)$$

Если при вычислении по формулам (4.6), (4.7) дирекционный угол получается отрицательным, к нему прибавляют  $360^\circ$ ; если он получается больше  $360^\circ$ , то из него вычитают  $360^\circ$ .

**Связь географического азимута и дирекционного угла** для одного и того же направления осуществляется по формуле

$$A = \alpha + \gamma_G, \quad (4.8)$$

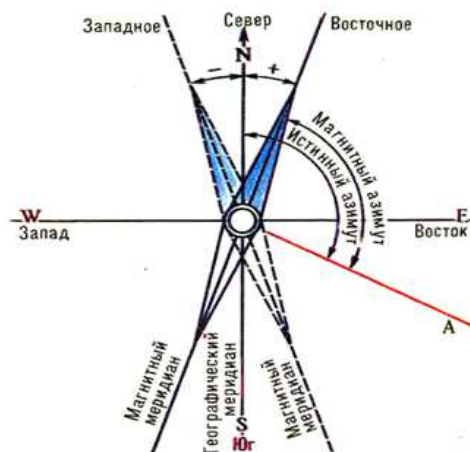


где  $A$  – географический (истинный) азимут;

$\alpha$  – дирекционный угол;

$\gamma_G$  – Гауссово сближение меридианов в точке начала линии; при восточном сближении меридиана  $\gamma_G$  – положительное, при западном – отрицательное.

**Магнитное склонение** – это угол между направлениями географического (истинного) и магнитного меридианов (см. рис. 4.1, 4.7). Магнитное склонение обозначается буквой  $\delta$ .



Склонение магнитной стрелки и азимуты.

Рис. 4.7. Склонение магнитной стрелки  $\delta$  и азимуты

В зависимости от положения магнитного меридиана (северного конца магнитной стрелки на компасе или буссоли) относительно истинного меридиана магнитное склонение  $\delta$  может быть положительным (если магнитная стрелка отклонилась к востоку от истинного меридиана) и отрицательным (если магнитная стрелка отклонилась к западу от истинного меридиана) (см. рис. 4.7).

**Связь между магнитным  $A_M$  и истинным  $A$  азимутами** одного направления осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} A &= A_M + \delta_{\text{вост}}, \\ A &= A_M - \delta_{\text{зап}}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

где  $\delta_{\text{вост}}$  и  $\delta_{\text{зап}}$  – восточное и западное склонения магнитной стрелки.

**Связь между дирекционным углом  $\alpha$  и магнитным азимутом  $A_M$**  осуществляется по формуле

$$A_M = \alpha - \Pi = \alpha - \gamma - \delta, \quad (4.10)$$

где  $\gamma$  и  $\delta$  соответственно Гауссово сближение меридиана и склонение магнитной стрелки.

## Румбы линий

Кроме географического и магнитного азимутов и дирекционного угла к ориентирным углам относятся также **румбы** (дирекционный, магнитный, истинный). **Румб** – это острый угол от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до направления линии; он обозначается буквой  $r$  (рис. 4.8).

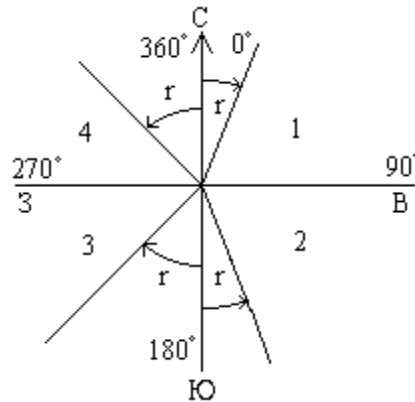


Рис. 4.8. Румбы  $r$  линий

Пределы изменения румба от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Название румба зависит от названия меридиана: географический, магнитный и дирекционный (или осевой).

Для однозначного определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти: 1 четверть – СВ (северо-восток), 2 четверть – ЮВ (юго-восток), 3 четверть – ЮЗ (юго-запад), 4 четверть – СЗ (северо-запад).

Связь румба с соответствующим азимутом или дирекционным углом выявляется из рис. 4.8 и показана в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Соотношения между азимутами (дирекционными углами) и румбами**

Четверть	Вычисления		Численный пример	
	румба	азимута	румб	азимут
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
I – СВ	$r_1 = A_1$	$A_1 = r_1$	СВ $30^\circ$	$30^\circ$
II – ЮВ	$r_2 = 180^\circ - A_2$	$A_2 = 180^\circ - r_2$	ЮВ $30^\circ$	$150^\circ$
III – ЮЗ	$r_3 = A_3 - 180^\circ$	$A_3 = 180^\circ + r_3$	ЮЗ $30^\circ$	$210^\circ$
IV – СЗ	$r_4 = 360^\circ - A_4$	$A_4 = 360^\circ - r_4$	СЗ $30^\circ$	$330^\circ$

Определение ориентирных направлений по топографической карте подробно рассмотрено в лабораторной работе № 3.

## 5. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ

### 5.1. Общие понятия о плане и карте

Рассматривая содержание и задачи геодезии на предыдущих лекциях, мы с вами неоднократно упоминали задачу картографирования территории земной поверхности, т.е. ее изображения в виде планов и карт. Выясним, что следует понимать под картами и планами и есть ли между ними различия.

В общем случае под **топографическими картами и планами** следует понимать **чертеж земной поверхности, составленный по определенным правилам и отвечающий требованиям инструкции по топографическим съемкам.**

**План** – чертеж земной поверхности, дающий в уменьшенном и подобном виде изображение горизонтальной проекции небольшого участка местности, в пределах которой кривизна поверхности относимости не учитывается.

**Карта** – уменьшенное и по возможности минимально искаженное из-за кривизны Земли изображение значительных территорий земной поверхности на плоскости, построенное по определенному математическому закону (т.е. в картографической проекции, подобранной под условием минимального искажения).

Таким образом, при отображении земной поверхности на плане ее проектирование в горизонтальной проекции сразу производится на плоскость, а на карте – вначале земную поверхность проектируют на поверхность относимости, кривизной которой нельзя пренебречь, и которую уже на втором этапе отображают на плоскости в соответствии с картографической проекцией, приводящей к минимальному искажению.

Отметим еще и другие отличия карты и плана:

1. Масштаб в пределах **плана** есть величина постоянная; масштаб на **карте** сохраняется неизменным только по одному из направлений (меридиану или параллели; в проекции Гаусса – Крюгера – по осевому меридиану, который называется главным масштабом, в остальных же частях карты масштабы отличаются от главного и называются частными).

2. Карты выполняются в масштабах 1 : 10 000 и мельче, т.е. 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 ... 1 : 1 000 000. Планы – в крупных масштабах: 1 : 100, 1 : 500, 1 : 1 000, 1 : 5 000.

## 5.2. Масштабы карт и планов, их точность

**Масштаб карты и плана** – это степень уменьшения горизонтальных приложений линий местности при изображении их на плане или карте. Различают численный и графический (линейный и поперечный) масштабы.

**Численный масштаб** – это масштаб карты или плана, выраженный в виде простой дроби  $1:M$ .

$M$  – знаменатель численного масштаба (показывает, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения линий местности при изображении их на карте).

Например, в численных масштабах  $1 : 5\,000$ ,  $1 : 10\,000$  и  $1 : 25\,000$  горизонтальные проложения линий местности уменьшены соответственно в  $5\,000$ ,  $10\,000$  и  $25\,000$  раз.

$$S = dM, \quad (5.1)$$

где  $S$  – горизонтальное проложение;

$d$  – длина отрезка на карте.

В масштабе  $1 : 5\,000$  1 см карты (плана) соответствует 50 м на местности,  $1 : 10\,000$  1 см – 100 м,  $1 : 25\,000$  1 см – 250 м и т.д.

Чем больше знаменатель  $M$  численного масштаба, тем масштаб мельче, и, наоборот, чем меньше знаменатель  $M$ , тем крупнее масштаб.

Масштаб  $1 : 50\,000$  мельче масштаба  $1 : 25\,000$  (вдвое), а масштаб  $1 : 2\,000$  крупнее масштаба  $1 : 10\,000$  (в пять раз).

### Графический масштаб: линейный и поперечный

Кроме информации о масштабе в численном виде на топографической карте приводят изображение **линейного масштаба** (рис. 5.1).

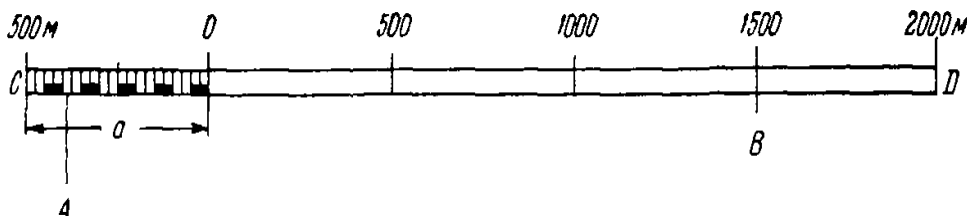


Рис. 5.1. Изображение линейного масштаба для карты  $1 : 25\,000$

$a = 2$  см – основание масштаба, соответствующее на местности 500 м; отсчетная шкала изображения линейного масштаба разделена на 20 делений,

цена наименьшего деления равна 25 м. На рис. 5.1 отмечена длина линии  $AB$   $S_{AB} = 1\ 887$  м ( $1\ 500$  м +  $25$  м \*  $15,5$  делений). Измерение расстояния по линейному масштабу производят с использованием измерителя (рис. 5.2).

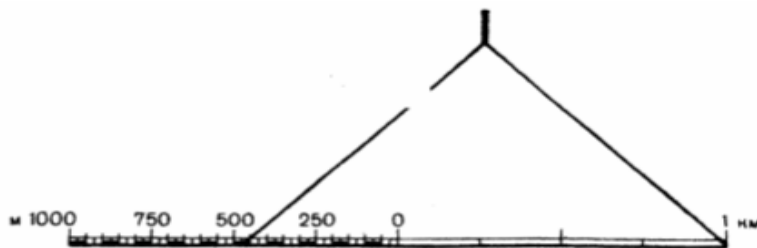


Рис. 5.2. Измерение расстояний по линейному масштабу с помощью измерителя ( $S = 1\ 500$  м)

**Поперечный масштаб** введен с целью повышения точности определения расстояния на местности по карте или, наоборот, отложения измеренного на местности расстояния на картматериале при съемке местности.

Изображение поперечного масштаба дано на рис. 5.3.

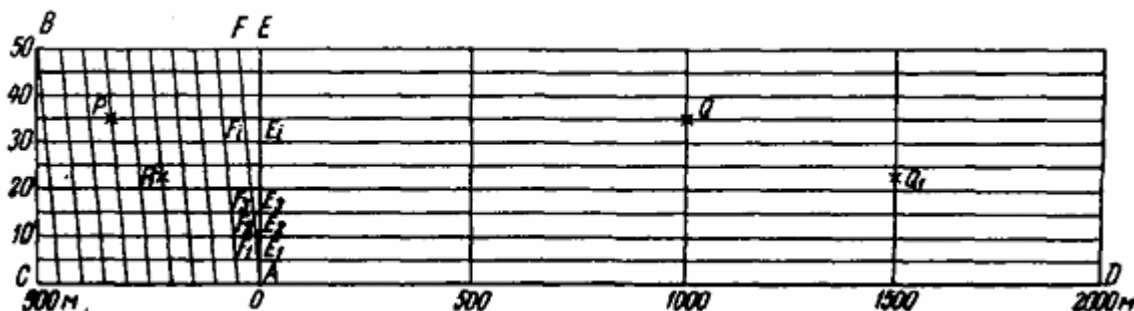


Рис. 5.3. Изображение поперечного масштаба для численного масштаба 1 : 25 000

Для построения изображенного на рис. 5.3 поперечного масштаба на отрезке прямой  $CD$  последовательно откладывают основание масштаба  $a$ , обычно равное 2 см. В полученных точках проводят перпендикуляры к линии  $CD$ . На двух крайних перпендикулярах откладывают  $n$  равных отрезков и проводят прямые, параллельные  $CD$ . Основания  $AC$  и  $BE$  делят на  $k$  равных частей. Затем проводят трансверсали, т.е. наклонные линии, соединяющие предыдущую точку нижнего основания с последующей точкой верхнего основания (0-ую точку  $A$  с 1-ой точкой  $F$ , 1-ую со 2-ой и т.д.).

Наименьшим делением в поперечном масштабе будет служить отрезок  $E_1F_1$ , равный расстоянию от ближайшего перпендикуляра до трансвер-

сали на первой от  $CD$  горизонтальной линии. Цена наименьшего деления поперечного масштаба вычисляется по формуле

$$E_1F_1 = \frac{a}{kn}. \quad (5.2)$$

Обычно принимают  $k = n = 10$ . Тогда цена наименьшего деления поперечного масштаба будет составлять сотую долю от основания, т.е.

$$E_1F_1 = \frac{a}{100}, \quad (5.3)$$

$$E_2F_2 = 2\frac{a}{100},$$

$$E_3F_3 = 3\frac{a}{100} \text{ и т.д.} \quad (5.4)$$

Такой масштаб называют **сотенным**, если  $a = 2$  см,  $k = n = 10$  – **нормальным сотенным масштабом**.

На рис. 5.3

отрезок  $PQ = 1\,000 \text{ м} + 50 \cdot 6 + 5 \cdot 7 = 1\,335 \text{ м}$ ;

отрезок  $P_1Q_1 = 1\,500 \text{ м} + 50 \cdot 4 + 5 \cdot 4,5 = 1\,722,5 \text{ м}$ .

**Точность поперечного масштаба равна половине цены наименьшего деления.**

Определение расстояния по поперечному масштабу выполняют с помощью измерителя и металлической линейки, на которой нанесен поперечный масштаб. Раствор измерителя с отложенным для определения расстояния отрезком поднимают вверх по параллелям до тех пор, пока его иголка в точности не попадет на линию трансверсали (рис. 5.4). Затем берут отсчет.

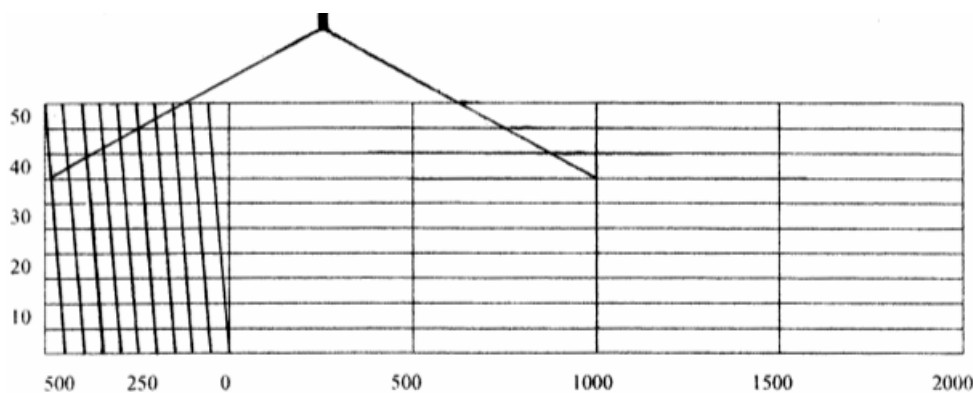


Рис. 5.4. Определение расстояния по поперечному масштабу.  
Расстояние по раствору измерителя =  $1\,485 \text{ м}$  ( $1\,000 \text{ м} + 50 \cdot 9 + 5 \cdot 7$ )

## Точность масштаба

Под точностью масштаба понимают наименьший размер объекта на местности, который можно изобразить на карте данного масштаба. Принято считать, что предельно различимое расстояние на карте составляет 0,1 мм. Поэтому можно дать следующее определение:

**Точность масштаба – это длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на карте данного масштаба отрезку в 0,1 мм.**

Точность масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 равна соответственно 1 м, 2,5 м, 5 м.

Зная точность масштаба, можно решить следующие две задачи: а) определить размер местных предметов и извилин контуров, меньше которых в масштабе карты изобразить невозможно; б) определить масштаб, в котором следует составлять карту, чтобы на ней изобразились подобными фигурами нужные нам предметы местности.

## Переходный масштаб

Если знаменатель численного масштаба карты выражен не круглым числом, то производить измерения на такой карте неудобно. Например, на карте масштаба 1 : 16 800 одному сантиметру соответствует горизонтальное проложение линии местности длиной 168 м. Основанию нормального сотенного масштаба в этом случае будет соответствовать линия длиной 336 м, а наименьшему делению – 3,36 м. Пользоваться таким масштабом неудобно. Чтобы избежать дробных величин, рассчитывают длину такого основания, которому соответствует круглое число метров. Рассчитаем длину основания  $a$ , которому соответствует, например, 400 м.

$$\frac{1 \text{ см}}{168 \text{ м}} = \frac{a}{400 \text{ м}}, \quad (5.5)$$

$$a = 2,38 \text{ см.}$$

Если построить сотенный поперечный масштаб с основанием  $a = 2,38$  см, то ему соответствует на местности горизонтальное проложение линии длиной 400 м; наименьшему делению такого масштаба соответствует 4 м. Построенный таким путем масштаб называется переходным. При работе с ним на карте, составленной не в метрической системе мер, не ощущается никаких неудобств, и притом результаты измерений выражены в единицах метрической системы мер.

### 5.3. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Для облегчения поиска листов карт и планов на определенную территорию они систематизируются путем введения специальной системы обозначений, которая именуется как **разграфка** и **номенклатура** топографических карт и планов.

**Номенклатурой** называется система нумерации отдельных листов топографических карт и планов разных масштабов.

**Разграфка** – схема взаимного расположения отдельных листов карт и планов.

В нашей стране принята **международная система разграфки и номенклатуры** топографических карт, **основой** которой является **лист карты масштаба 1 : 1 000 000**.

Номенклатура листа карты миллионного масштаба составляется из буквы ряда и номера колонны, например, *N-37*. Для получения листа карты миллионного масштаба земную поверхность делят параллелями через  $4^\circ$ , получая ряды, и меридианами через  $6^\circ$ , образуя колонны (рис. 5.5).

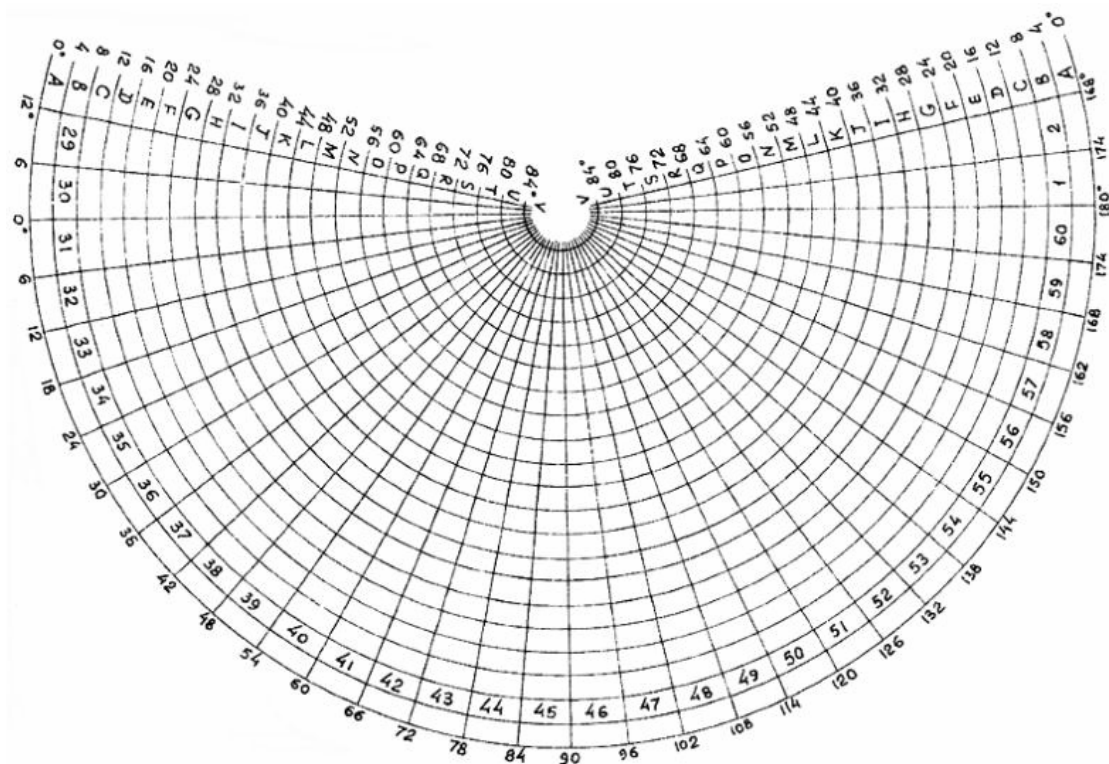


Рис. 5.5. Схема расположения листов карты масштаба 1 : 1 000 000  
Обозначение миллионного листа размером ( $\Delta\varphi = 4^\circ$ ,  $\Delta\lambda = 6^\circ$ )  
получают в виде пересечения ряда и колонны (A-29, N-37)



Ряды именуются заглавными буквами латинского алфавита, начиная от экватора к полюсу (*A(0-4°), B(5-8°), C, D, E, F, G... ..U, V*); нумерация колонн производится арабскими цифрами, начиная от меридиана  $180^{\circ}$  (1 колонна ( $180^{\circ} - 186^{\circ}$  или  $180^{\circ} - 174^{\circ}$  западной долготы)... .., 31 ( $0^{\circ} - 6^{\circ}$ ), 32 ( $7^{\circ} - 12^{\circ}$ ), 33 ( $13^{\circ} - 18^{\circ}$ )... ..60 колонна ( $174^{\circ} - 180^{\circ}$ )).

Из рис. 5.6 можно выбрать номенклатуру листа карты масштаба 1 : 1 000 000 для различных городов: Смоленск *N-36*, Москва *N-37*, Якутск *O-52*, Архангельск *Q-37* и т.д.

Каждый лист карты масштаба 1 : 1 000 000 делится на 4 листа карты 1 : 500 000, обозначаемых заглавными буквами русского алфавита (*А, Б, В, Г*); на 36 листов карты масштаба 1 : 200 000 с нумерацией римскими цифрами (*I, II, III, ... ..XXXVI*); на 144 листа карты масштаба 1 : 100 000 с нумерацией арабскими цифрами (*1, 2, 3... ..144*).



Рис. 5.6. Расположение городов на листах карты 1 : 1 000 000 масштаба

Номенклатура листов этих карт получается путем приписки справа к номенклатуре листа карты масштаба 1 : 1 000 000 номенклатуры данного листа в листе карты миллионного масштаба, например:

для исходного листа 1 : 1 000 000 масштаба *N-37* запись для 1 : 500 000 будет *N-37-A*, для 1 : 200 000 – *N-37-XX*, для 1 : 100 000 – *N-37-125*. Пример получения листа карты 1 : 500 000 и 100 000 из листа карты масштаба 1 : 1 000 000 дан на рис. 5.7 и 5.8.

Размеры листа карты масштаба 1 : 100 000 составляют 20' по широте ( $4^{\circ}/12$ ) и 30' по долготе ( $6^{\circ}/12$ ).

Исходным для **обозначения листов карт крупных масштабов** служит лист карты масштаба 1 : 100 000 (рис. 5.9, табл. 5.1).

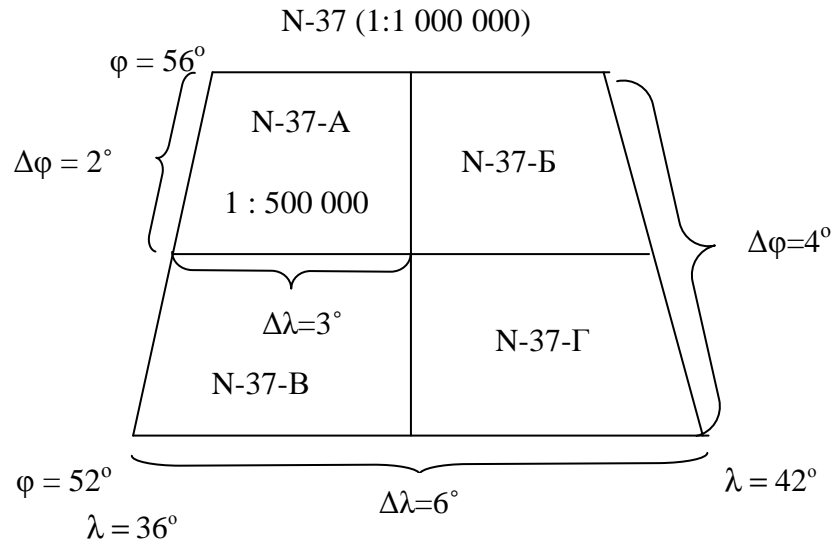


Рис. 5.7. Получение листа карты масштаба 1 : 500 000 (N-37-А,Б,В,Г)  
из 1 : 1 000 000

N-37

$56^\circ$													$56^\circ$
$36^\circ$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$42^\circ$
	13											24	
	25											36	
	37											48	
	49											60	
	61											72	
	73											84	
	85											96	
	97											108	
	109											120	
	121											132	
$52^\circ$	133											144	$52^\circ$
$36^\circ$													$42^\circ$

Рис. 5.8. Получение листа карты масштаба 1 : 100 000 (N-37-1,2...144)  
из 1 : 1 000 000

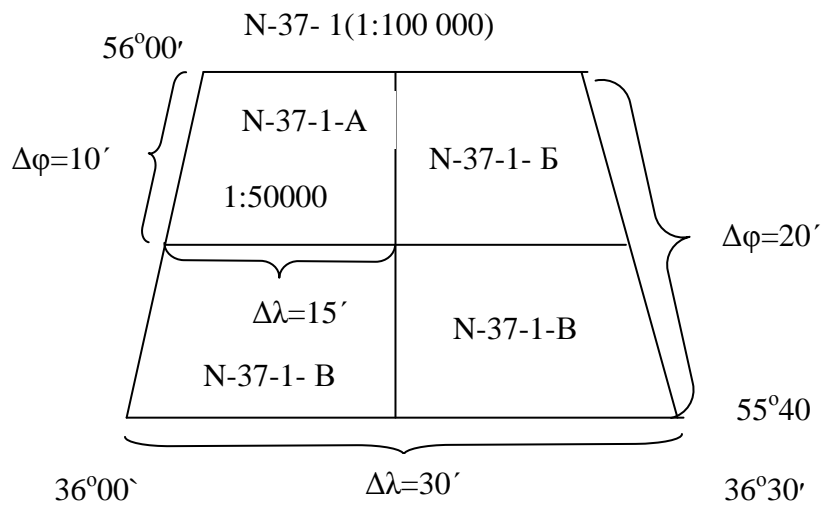


Рис. 5.9. Пример получения листа карты 1 : 50 000 (N-37-1-А, Б, В, Г)  
из 1 : 100 000.

Каждый лист карты масштаба 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 делится на 4 листа карты следующего крупного масштаба, т.е. соответственно масштабов 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Номенклатуры листов карт этих масштабов получаются путем приписки справа к номенклатуре листа, четвертью которой является лист данной карты, соответственно заглавной, строчной буквы и цифры (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Получение номенклатуры карт крупных масштабов из исходной карты масштаба 1 : 100 000 (N-37-144)**

Масштаб карты	Номенклатура последнего листа
1 : 50 000	N-37-144-Г
1 : 25 000	N-37-144-Г-г
1 : 10 000	N-37-144-Г-г-4

Севернее 60-й параллели листы карт издаются сдвоенными по длине, севернее 76-й параллели – счетверенными.

Сводная схема разграфки и номенклатуры топографических карт приведена на рис. 5.11 и в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Номенклатура и размеры листа для карт и планов**

Масштаб	Номенклатура	Размеры листа	
		по широте $\Delta\phi$	по долготе $\Delta\lambda$
1 : 1 000 000	N-37	4°	6°
1 : 100 000	N-37-1	20'	30'
1 : 50 000	N-37-1-A (Б,В,Г)	10'	15'
1 : 25 000	N-37-1-A-a (б, в, г)	5'	7'30"
1 : 10 000	N-37-1-A-a-1 (2, 3, 4)	2'30"	3'45"
1 : 5 000 (план)	N-37-1-((1)-(256))	1'15"	1'52",5
1 : 2 000 (план)	N-37-1-(256- а, б, в, г, д, е, ж, з, и)	0'25"	0'37",5

**Разграфка и номенклатура планов**

Различают **государственную** и **прямоугольную** разграфку и номенклатуру планов.

**Государственную** разграфку планов осуществляют для масштабов 1 : 5 000 и 1 : 2 000. Исходным при этом служит лист карты масштаба 1 : 100 000, который для получения номенклатуры листа плана 1 : 5 000 де-

лится на 256 частей с их нумерацией арабскими цифрами, указанными в скобках. Таким образом, номенклатура последнего листа плана 1 : 5 000 из листа карты масштаба 1 : 100 000, имеющего номенклатуру N-44-1, будет записана как N-44-1-(256) с размерами по широте  $\Delta\phi = 1'15''$  ( $20'/16$ ) и по долготе  $\Delta\lambda = 1'52'',5$  ( $30'/16$ ).

Для получения номенклатуры листа плана масштаба 1 : 2 000 лист плана 1 : 5 000 делится на 9 частей с обозначением каждой части строчными буквами русского алфавита (*а, б, в, г, д, е, ж, з, и*). Номенклатура листа плана масштаба 1 : 2 000 в государственной системе разграфки будет записана в виде N-37-1-(256- *а, б, в, г, д, е, ж, з, и*). Размеры листа плана масштаба 1 : 2 000 по широте  $\Delta\phi = 0'25''$  ( $1'15''/3$ ) и по долготе  $\Delta\lambda = 0'37'',5$  ( $1'52'',5/3$ ) (см. табл. 5.2).

**Прямоугольную** разграфку и номенклатуру применяют для топографических планов, создаваемых на территории городов и на участки незастроенной территории площадью менее 20 км<sup>2</sup>. За ее основу принимается лист плана масштаба 1 : 5 000; листы плана масштаба 1 : 5 000 нумеруются на участке съемки порядковыми номерами от 1 и далее. Порядок нумерации планшетов 1 : 5 000 устанавливают организации, дающие разрешение на производство топографо-геодезических работ.

Пример прямоугольной разграфки и номенклатуры листов плана 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500 показан на рис. 5.10.

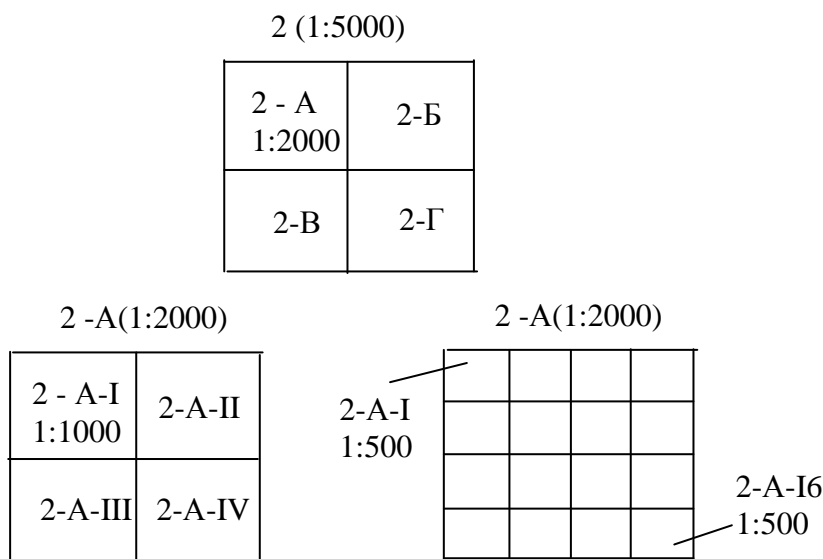


Рис. 5.10. Пример прямоугольной разграфки планов

Сводные схемы государственной и прямоугольной разграфки планов приведены на рис. 5.11, 5.12.

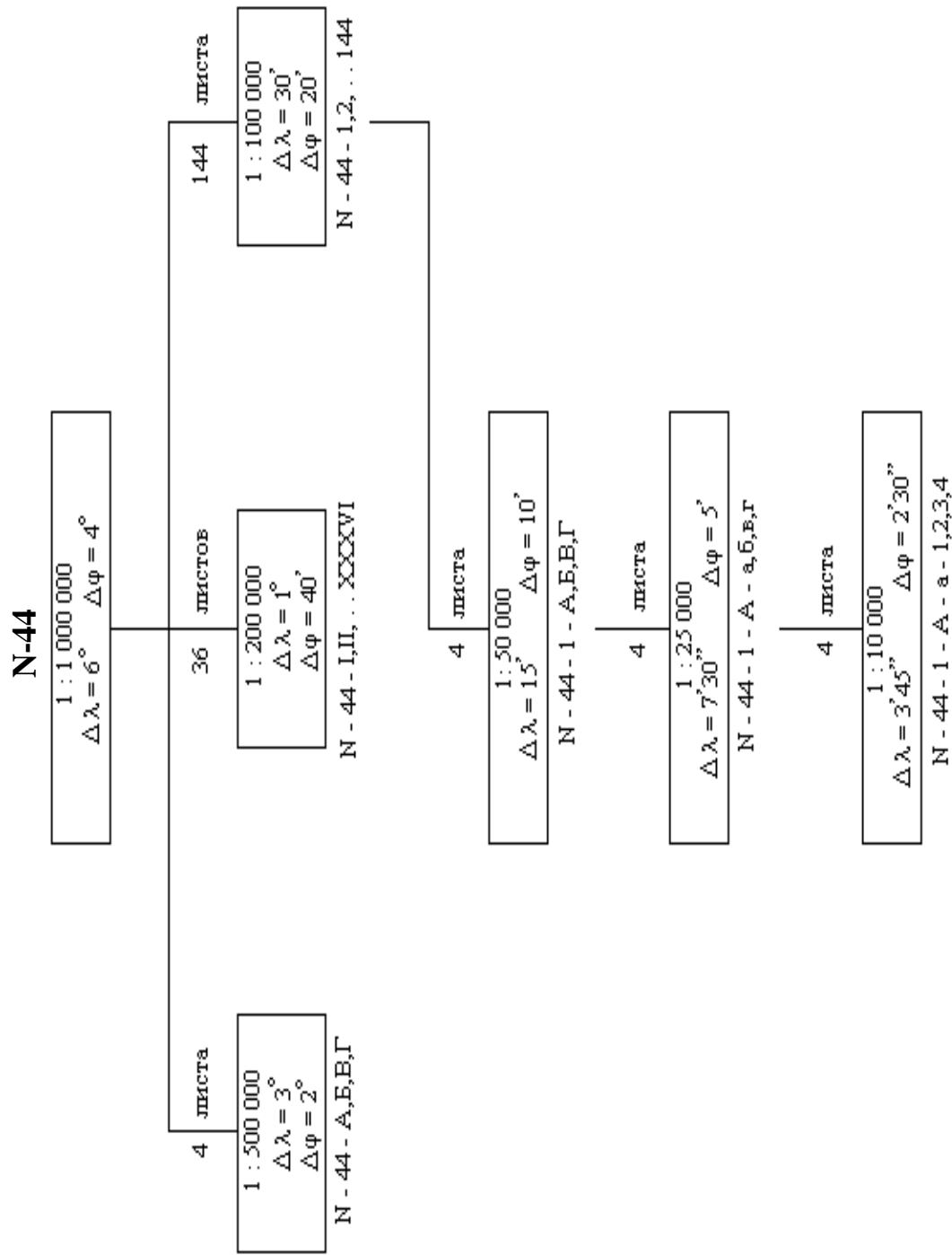


Рис. 5.11. Сводная схема разграфки и номенклатуры топографических карт

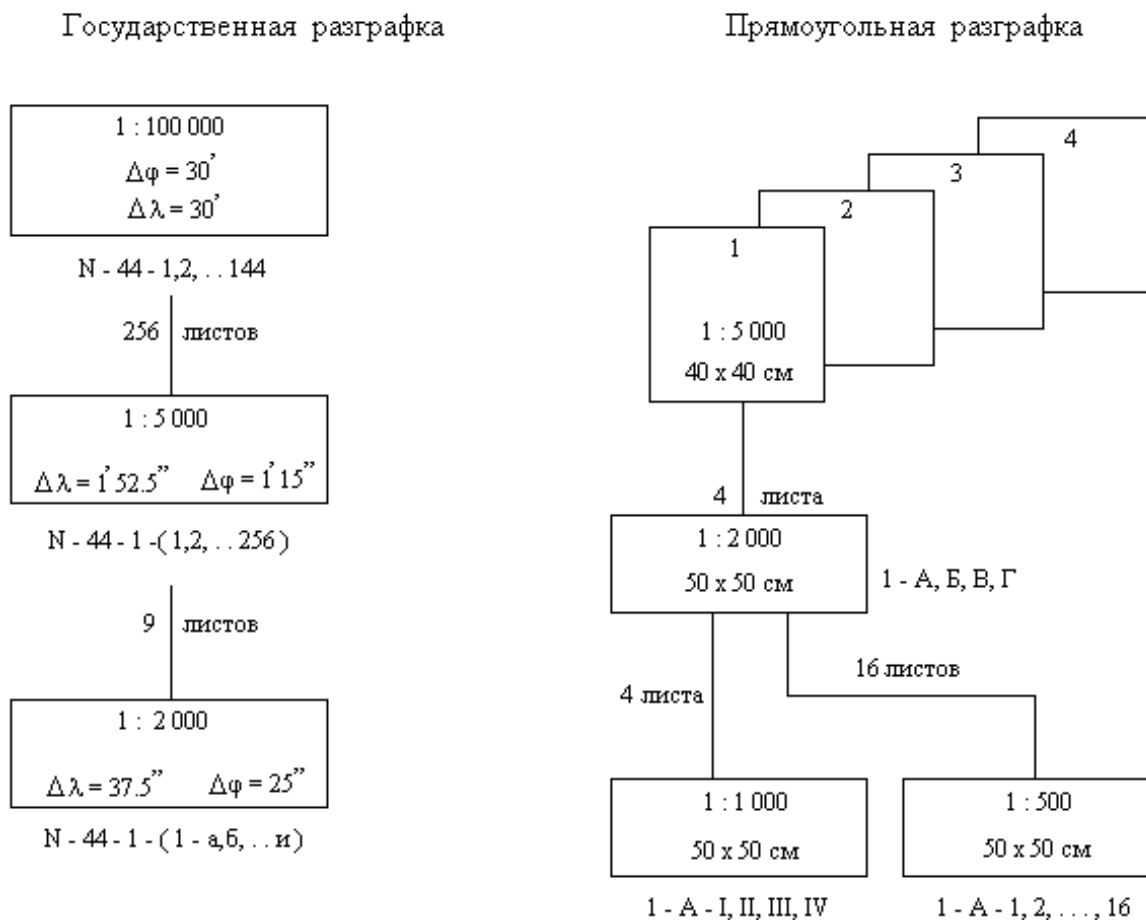


Рис. 5.12. Сводная схема разграфки и номенклатуры планов

## 5.4. Содержание планов и карт

Топографические планы и карты являются отображением земной поверхности на плоскости в удобном для практического использования виде. Поэтому они несут информацию о ситуации, т.е. взаимном расположении объектов местности, и о рельефе. Упорядочить взаимное расположение множества различных предметов и объектов местности невозможно без координатной основы. Поэтому карты и планы составляются в выбранной системе координат, и они позволяют определить координаты любой точки местности, о чем мы подробнее поговорим ниже.

Объекты земной поверхности, которые отображаются на топографических картах, следующие:

- Пункты геодезической сети и отдельные отметки высот (например, отметка центра геодезического пункта, урезы воды и глубины на реках и озерах, высоты террас и глубины оврагов, высоты насыпей и других искусственных сооружений).

- Рельеф местности в целом и отдельные формы рельефа.
- Элементы гидрографии (озера, реки, моря, океаны, искусственные водоемы и т.д.) и их характеристики.
- Растительный покров и грунты.
- Населенные пункты.
- Промышленные и сельскохозяйственные объекты.
- Пути сообщения и транспортировок.

Совокупность всех перечисленных объектов, кроме рельефа местности, называется **местными предметами**, или **ситуацией**. Местные предметы изображаются на топографических картах и планах условными знаками.

**Условные топографические знаки** являются едиными для всех карт одного масштаба. В топографии используют до 600 условных знаков, представляющие собой:

- графические символы (различные значки, иногда имитирующие вид самого объекта);
- цветовые различия (синие – воды, зеленые – леса и кустарники, желтые и красные – дороги, коричневый – рельеф естественный, черный – рельеф антропогенный: насыпи, выемки, карьеры);
- шрифты и цифры, указывающие, например, тип дороги, названия населенных пунктов и их категорию, характеристики лесов, мостов и др.

По видам условные знаки делятся:

- на **масштабные** (площадные и контурные), изображающие объекты местности в масштабе карты или плана (состоят из обозначения контуров лесов, лугов, болот и соответствующих значков, заполняющих контуры);
- **внемасштабные** условные знаки, изображающие предметы местности, не выражающиеся в масштабе карта или плана, но важные по назначению или как ориентирные объекты (колодцы, отдельные сооружения, деревья, камни, указатели на дорогах и т.д.);
- **линейные** знаки, которые точно передают местоположение объекта по оси их наибольшего протяжения, но чаще всего преувеличивают их ширину (шоссейные и железные дороги, каналы и каналы, линии связи, энергосети, трубопроводы и т.д.);
- **пояснительные обозначения** буквенные, цифровые и др. (направление и скорость течения реки, глубина болота, характеристики мостов, бродов, дорог, населенных пунктов и др.).

В традиционной картографии принято деление всех объектов местности на восемь больших групп:

- математическая основа;
- рельеф;
- гидрография;
- населенные пункты;
- предприятия;
- дорожная сеть;
- растительность и грунты;
- границы и подписи.

**Таблицы условных знаков** для карт разных масштабов составляются в соответствии с этим делением объектов; они утверждаются государственными органами и издаются в форме обязательных для исполнения документов.

### 5.5. Координатная сетка на карте

Одним из элементов топографической карты является сетка координатных линий, которая по сути представляет собой математическую основу карты. Существуют два вида координатной сетки: **картографическая**, образуемая линиями меридианов и параллелей, и **сетка прямоугольных координат**, образуемая линиями, параллельными осям координат  $ox$  и  $oy$ .

На топографических картах меридианы и параллели являются границами листа карты; в углах карты подписываются их долгота и широта. Внутри листа вычерчивается сетка прямоугольных координат в виде квадратов, называемая иногда километровой сеткой, так как на картах масштаба 1:10 000 и мельче линии сетки проводятся через километр (рис. 5.13).

Вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану зоны (оси  $ox$ ) и имеют уравнение  $y = \text{const}$ ; значение координаты  $y$  подписывается у каждой линии. Горизонтальные линии сетки параллельны оси  $oy$  и имеют уравнение  $x = \text{const}$ ; значение координаты  $x$  подписывается у каждой линии.

Для удобства пользования листами карт, на которых изображены граничные участки зоны, на них показывается сетка прямоугольных координат соседней зоны. Ширина граничной полосы с сеткой соседней зоны составляет  $2^\circ$  по долготе с обеих сторон зоны. Выходы линий координатной сетки соседней зоны наносятся на внешнюю сторону рамки листа карты.



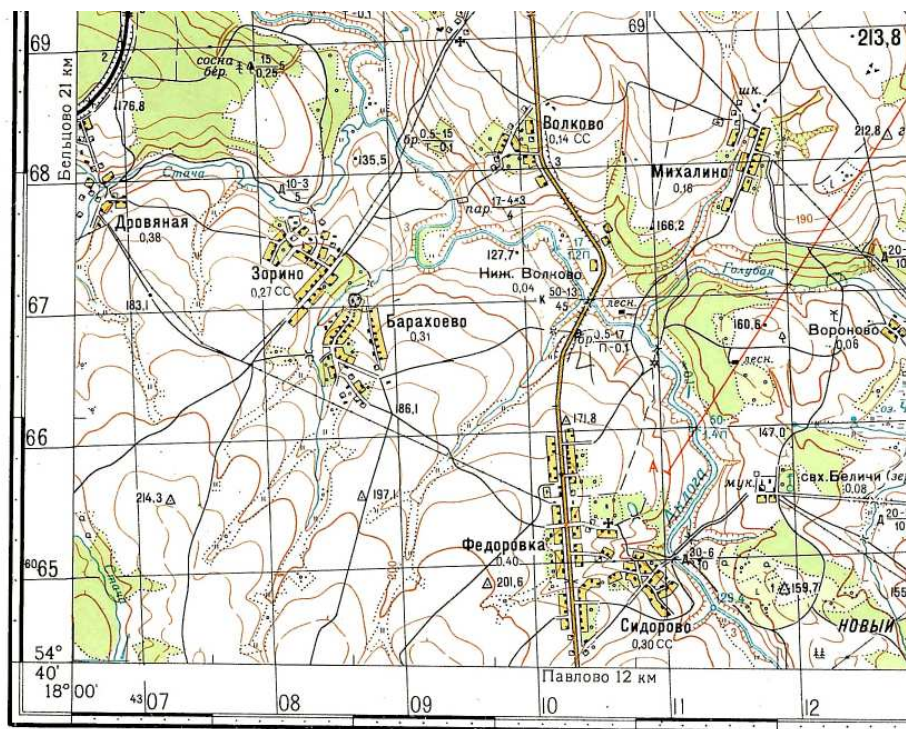


Рис. 5.13. Фрагмент топографической карты с изображением координатных линий:

- истинный меридиан с долготой  $18^{\circ}00'$  – боковая вертикальная граница карты;
- параллель с широтой  $54^{\circ}40'$  – нижняя горизонтальная граница карты;
- на параллели и меридиане дана заливка через  $1'$ , минута разделена через  $10''$  с обозначением точками;
- обозначение километровой сетки на карте:
- ось  $x$  – 6 065 км, 6 066 км, 6 067 км....; ось  $y$  – 4 307 км, 4 308 км ...

## 5.6. Изображение рельефа на планах и картах

**Совокупность неровностей на поверхности Земли называется рельефом местности.** Рельеф оказывает большое влияние на жизнедеятельность человека, т.к. его необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации всех народно-хозяйственных объектов, а также в сельском хозяйстве. Решение задач по учету рельефа местности в народном хозяйстве выполняется по топографическим картам и планам, поэтому его изображению на картматериалах уделяется большое внимание.

Существует пять основных форм рельефа (рис. 5.14):

1. **Гора, холм** – это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется **вершиной**. Боковая поверхность горы (холма) состоит из **скатов**, линия слияния которых с окружающей местностью называется **подошвой**, или **основанием** горы. Иногда на скате горы имеется площадка, называемая **уступом**.

2. **Котловина (впадина)** – форма рельефа, противоположная горе и представляющая собой замкнутое углубление. Самая низкая точка ее – **дно**.

Боковая поверхность котловины также состоит из скатов; линия их слияния с окружающей местностью называется **бровкой**.

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

4. **Лощина** – форма рельефа, противоположная хребту и представляющая вытянутое в каком-либо направлении и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. Два ската лощины, сливаясь между собой в самой низкой ее части, образуют **водосливную линию**, или **тальвег**, по которой стекает вода, попадающая на скаты. Разновидностями лощины являются **долина** (широкая лощина с пологими задернованными скатами) и **овраг** (узкая лощина с крутыми обнаженными скатами). Долины часто бывают ложем реки или ручья. Скат долины иногда имеет площадку, называемую **террасой**. Начальной стадией оврага является **промоина** (узкое углубление, образующееся под действием стекающей с возвышенности воды). Овраг, заросший травой и кустарником, называется **балкой**.

5. **Седловина** – место слияния скатов двух соседних гор. Иногда седловина является местом слияния водоразделов двух хребтов. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях. В горной местности через седловины обычно пролегают дороги или пешеходные тропы; поэтому седловины в горах называют **перевалами**.

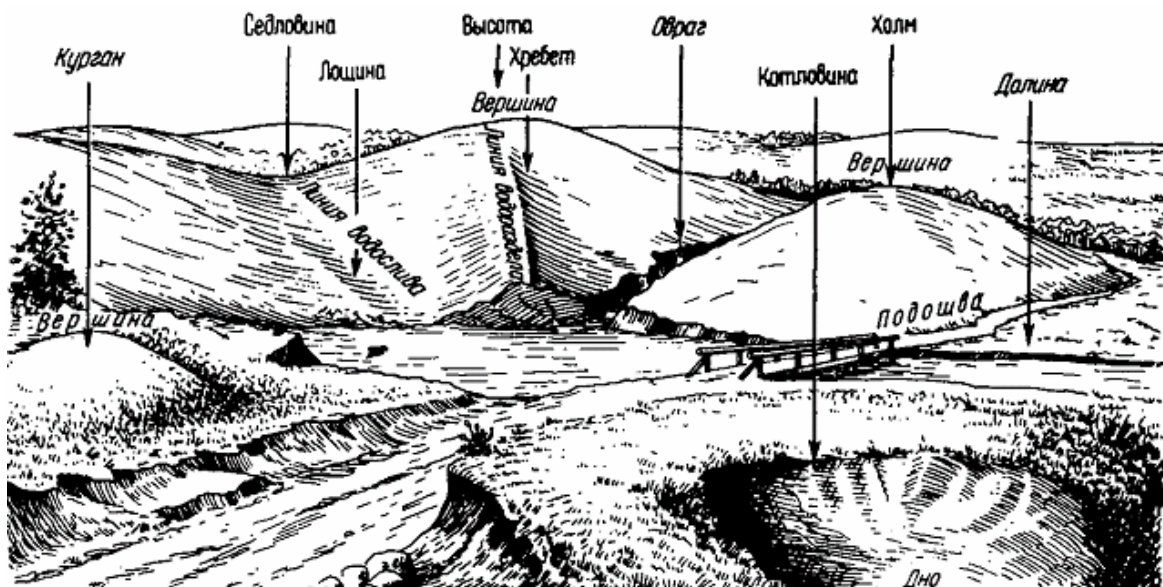


Рис. 5.14. Основные формы рельефа

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины являются **характерными точками** рельефа, а водораздел хребта и водослив лоцины – **характерными линиями** рельефа.

Требования к изображению рельефа на картматериала:

1. Возможность быстрого определения абсолютных высот точек местности.
2. Возможность определения по карте направлений скатов и их крутизны.
3. Возможность получения по карте хорошего пространственного представления об изображенном на ней рельефе местности и о взаимном расположении отдельных форм.

Рельеф стали изображать на картах примерно с XV в. до н.э. С тех пор известно несколько способов его изображения (перспективный, или картинный, отметками точек, штриховкой, отмывкой, точечным пунктиром, цветной пластикой, **горизонталями**). Перечисленным выше требованиям лучше всего удовлетворяет **способ горизонталей в сочетании с отметками характерных точек местности**. Этим способом в настоящее время изображают рельеф местности на топографических картах.

Чтобы получить понятие о горизонтали, представим себе сечение физической поверхности Земли уровнями поверхностями, т.е. поверхностями равных высот через интервал  $h$  (рис. 5.15). Образованные в результате этих сечений замкнутые кривые и будут являться горизонталями (кривая  $DEF$  на уровне поверхности с высотой  $H_1$ ).

Таким образом, **горизонталь** – это кривая на карте, все точки которой имеют одинаковую высоту, т.е. кривая линия равных отметок.

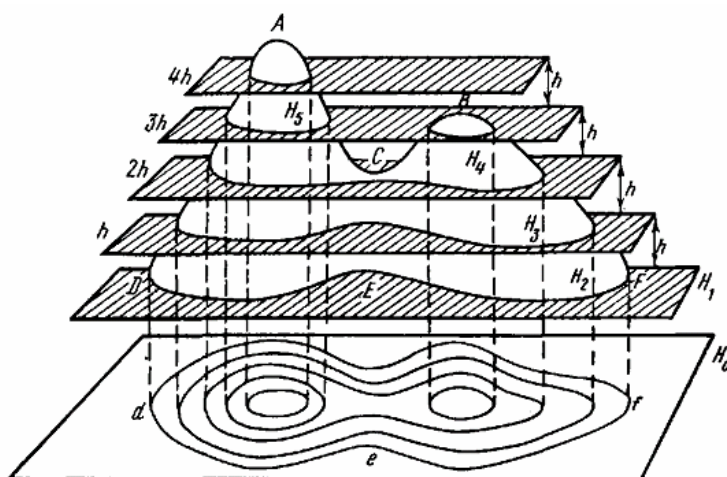


Рис. 5.15. Изображение рельефа на топографической карте горизонталями:  
 $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  – высоты уровневых сечений;  $DEF$  – горизонталь с отметкой  $H_1$ ;  $def$  – изображение (проекция) пространственной горизонтали  $DEF$  – на плоскости (карте, плане);  $h$  – сечение рельефа или разность отметок соседних горизонталей

Горизонтали не могут пересекаться. По расстояниям между горизонталями на карте можно судить о крутизне ската: **чем меньше расстояние, тем больше крутизна ската, и наоборот.**

Пример изображения горизонталями на карте основных форм рельефа приведен на рис. 5.16.

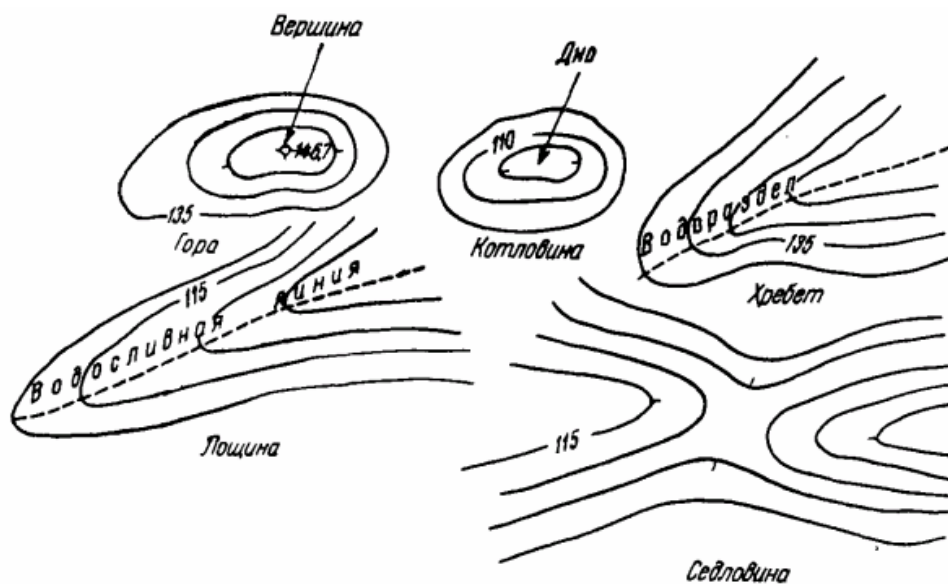


Рис. 5.16. Изображение горизонталями на карте основных форм рельефа  
146,7 – отметка вершины, м

Из рис. 5.16 видно, что изображения горы и котловины, так же как хребта и лощины, сходны между собой. Чтобы отличить их друг от друга, у некоторых горизонталей ставят **бергштрихи** – черточки, перпендикулярные горизонталям, указывающие направление ската. Отметки некоторых горизонталей на карте подписывают, при этом цифры направляют в сторону повышения ската. **Высота сечения рельефа** – это разность отметок двух соседних горизонталей. По отметке одной горизонтали и известной высоте сечения рельефа можно определить отметки других горизонталей.

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

### **Крутизна и направление ската. Заложение ската**

Под крутизной ската следует понимать угол наклона линии ската к горизонту, т.е. вертикальный угол, образуемый поверхностью ската с горизонтальной поверхностью (плоскостью) (рис. 5.17).

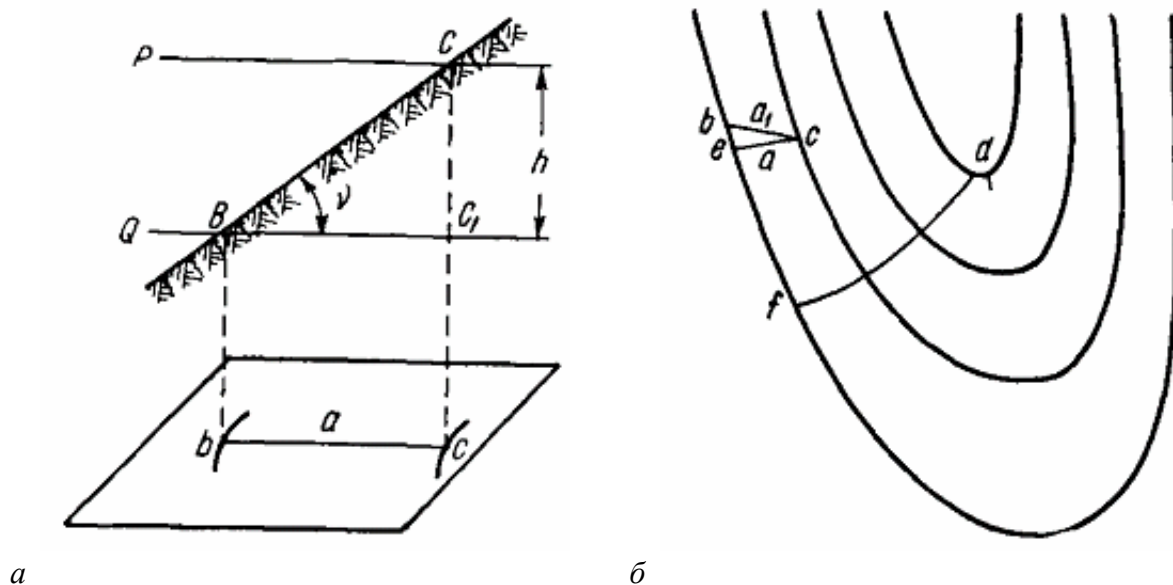


Рис. 5.17. Определение крутизны ската  $v$  между соседними горизонталями:  
 $h$  – высота сечения рельефа;  $a$  – заложение горизонталей  
 (проекция на плоскость кратчайшего расстояния между соседними горизонталями)

Из прямоугольного  $\Delta BCC'$  (рис. 5.17,  $a$ ) следует

$$\operatorname{tg} v = \frac{CC_1}{BC_1} = \frac{h}{a}, \quad (5.6)$$

где  $h$  – высота сечения рельефа;

$a$  – горизонтальное проложение линии  $BC$  (в нашем случае – заложение горизонталей).

Величину заложения  $BC_1$  можно определить, измерив на карте расстояние между соответствующими точками  $b$  и  $c$  и переведя его по масштабу на местность.

При малых углах наклона местности в геодезии часто пользуются следующей приближенной формулой, используя правило разложения тригонометрической функции в ряд и ограничиваясь первым членом разложения:

$$\operatorname{tg} v \approx \frac{v}{\rho}. \quad (5.7)$$

Тогда подставляя (5.7) в (5.6), получим

$$v = \frac{h}{a} \rho = 57,3^\circ * \frac{h}{a}, \quad (5.8)$$

где  $57,3^\circ$  – число градусов в одном радиане.

Если на рис. 5.17,  $b h = 2,5$  м, а заложение  $a = 89$  м, то крутизна ската  $v$  будет равна

$$v = 57,3^\circ * \frac{2,5 \text{ м}}{89 \text{ м}} = 1,6^\circ. \quad (5.9)$$

Из формул (5.8), (5.9) следует, что крутизна линии тем больше, чем меньше ее заложение  $a$ .

Заложение  $ce = a$  на рис. 5.16, б, нормальное к горизонталям, является кратчайшим; оно называется **заложением ската**, или **заложением горизонталей**. Заложению ската  $ce = a$  соответствует линия местности  $CE$  наибольшей крутизны, называемая **линией ската**. Она принимается за **направление ската в данной точке С**. **Направление ската нормально к горизонталям.**

### 5.7. Использование планов и карт.

#### Решение задач на топографических планах и картах.

#### Определение площадей

Топографические планы и карты содержат различную информацию об объектах местности и ее рельефе. Эта информация позволяет решать многие геодезические задачи, основными из которых являются следующие:

- 1) определение прямоугольных координат  $x$  и  $y$  точки;
- 2) определение географических координат  $\varphi$  и  $\lambda$  точки;
- 3) определение отметки  $H$  точки;
- 4) нанесение точки на план или карту по ее прямоугольным ( $x$  и  $y$ ) или географическим ( $\varphi$  и  $\lambda$ ) координатам;
- 5) определение длины горизонтальной проекции линии с помощью линейного и поперечного масштабов;
- 6) определение дирекционного угла или географического азимута линии;
- 7) измерение горизонтального угла между двумя линиями;
- 8) определение направления и крутизны ската;
- 9) построение профиля местности по заданной линии;
- 10) построение на плане или карте границ зон невидимости с данной точки местности;
- 11) проведение на плане или карте линии с уклоном, не превышающим заданное значение;
- 12) измерение площади участка;
- 13) определение границ водосбора реки и ее притоков;
- 14) проектирование береговой линии будущего водохранилища;
- 15) определение площади зеркала и объема водохранилища;

16) определение объемов земляных работ при строительстве различных инженерных сооружений.

Описание решения задач 1 – 10 дано в лабораторной работе № 1, посвященной топографическим картам. Кроме того, методика решения практически всех задач приведена в Практикумах по геодезии; некоторые задачи подробно рассматриваются в курсе «Инженерная геодезия». Остановимся на измерении площади участка по топографической карте.

**Определение площади участка** можно выполнить несколькими способами:

- аналитическим;
- геометрическим;
- графическим;
- механическим;
- по цифровой модели местности.

В аналитическом способе площадь участка определяют по координатам точек поворота:

$$P = \frac{\sum x_i(y_{i+1} - y_{i-1})}{2} = \frac{\sum y_i(x_{i+1} - x_{i-1})}{2}, \quad (5.10)$$

где  $P$  – площадь участка;

$x, y$  – абсциссы и ординаты точек поворота;

$i, i - 1, i + 1$  – номера точек поворота по ходу, соответственно, текущей, предыдущей и последующей.

В **графическом** методе участок, имеющий вид многоугольника (например, *abvгдезжи* на рис. 5.18, *а*), разбивают на треугольники (или другие простейшие геометрические фигуры), затем вычисляют площадь каждого треугольника по известной формуле Герона (5.11) и суммируют все площади элементарных геометрических фигур, входящих в определяемый участок.

$$P = \sqrt{S(S - a)(S - b)(S - c)}, \quad (5.11)$$

где  $P$  – площадь отдельного треугольника;

$S$  – полупериметр треугольника;

$a, b, c$  – длины сторон треугольника.

Графический **способ определения площади участка по палетке** ясен из рис. 5.18, *б*.

Механический способ определения площадей основан на использовании полярного планиметра (рис. 5.19).

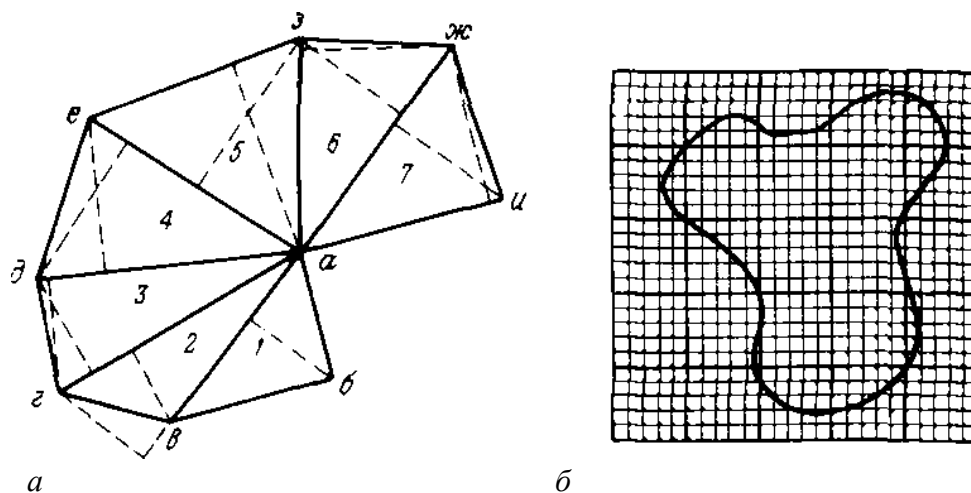


Рис. 5.18. Определение площади участка геометрическим (а) и графическим (б) способами

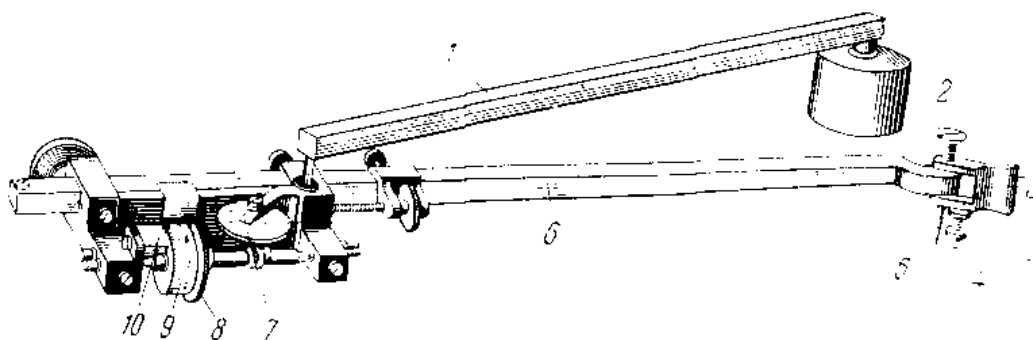


Рис. 5.19. Общий вид полярного планиметра для механического способа определения площади участка

Определение площади участка по цифровой модели местности осуществляется на персональном компьютере с помощью специального программного обеспечения.

Точность определения площадей по карте зависит от ее масштаба: чем крупнее масштаб карты, тем выше точность.

## 6. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ

### 6.1. Общие понятия об измерениях

На первой лекции было дано определение геодезии как науки о методах и технике производства измерений на земной поверхности, выполняемых с целью изучения фигуры и гравитационного поля Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей, а также решения различных прикладных задач.



Исходя из этого определения, можно утверждать, что **основным содержанием геодезических работ является производство различных видов измерений, а также выполнение математической обработки результатов этих измерений.**

Для начала дадим общее понятие измерения величины. Измерить величину  $X$  – значит сравнить ее с однородной ей величиной  $q$ , принятой за единицу меры. Результатом измерения является число  $l$ , показывающее, сколько раз единица меры содержится в измеряемой величине; число  $l$  может быть целым и дробным.

Допустим, мы измеряем длину здания рулеткой, разделенной на метры, сантиметры и миллиметры. В этом случае за единицу меры следует принять 1 м, а длина здания будет являться результатом измерения, выраженного числом  $l$ , показывающим, сколько метров составляет длина ( $l = 40,256 \text{ м} = 40 \text{ м } 25 \text{ см } 6 \text{ мм}$ )

Геодезические измерения – это измерения, производимые в процессе топографо-геодезических работ. Объектами геодезических измерений являются предметы материального мира (местности, сооружения, строительной площадки, земельного участка, производственного помещения и т.д.), которые характеризуются одной или несколькими геодезическими величинами, подлежащими измерениям.

В зависимости от признака измеряемой геодезической величины различают следующие виды геодезических измерений:

- угловые (горизонтальные и вертикальные углы (зенитные расстояния));
- линейные (длины сторон геодезических построений, расстояния или их разности);
- высотные или измерение превышений (измерение разностей высот между пунктами геодезической сети или точками земной поверхности);
- гироскопическое ориентирование (азимуты направлений, определяемые с помощью гироскопических приборов);
- координатные измерения (определение координат точек земной поверхности относительно исходных пунктов в заданной системе отсчета).

Кроме того, геодезические измерения различают по методам их выполнения следующим образом:

1. Метод прямых геодезических измерений (Значение измеряемой геодезической величины определяется непосредственно: длина линии, угол, превышение).

2. Метод косвенных геодезических измерений (значение определяемой величины получают как функцию других величин, измеренных непосредственно: определение координат как функцию от расстояния и дирекционного угла; определение площади земельного участка как функцию от координат, вычисляемых по формулам, содержащим значения углов и исходных координат).

3. Метод измерения во всех комбинациях или комбинационный метод (когда измеряются не только величины между соседними пунктами, но и их различные сочетания друг с другом).

4. Метод круговых приемов (метод измерения углов путем последовательного наблюдения визирных целей с повторным наблюдением начального, т.е. замыканием горизонта).

5. Метод двойных измерений (измерения ряда однородных геодезических величин двумя сериями или программами; например, линии в геодезической сети измеряют 2 раза (двумя программами)).

6. Метод измерений «вперед» (наблюдение точки, передней по ходу).

7. Метод измерений из «середины» (заключается в последовательном наблюдении двух смежных точек с помощью прибора, расположенного посередине).

8. Метод измерений через точку (прибор ставится либо на нечетных, либо на четных станциях хода).

9. Многоштативный метод (используется с целью уменьшения ошибок центрирования путем установки на смежных пунктах сети штативов (чаще всего трех) с подставками для размещения на них визирных целей или прибора).

Результаты геодезических измерений также подразделяют на **необходимые** и **избыточные**. Так, если одна и та же величина (длина линии, угол треугольника и пр.) измерена  $n$  раз, то один из результатов измерения является необходимым, а остальные ( $n - 1$ ) – избыточными. Избыточные измерения имеют важное значение: их сходимостъ является средством контроля и позволяет судить о качестве результатов измерений; они позволяют получить более надежное значение искомой величины по сравнению с любым отдельно взятым результатом измерения.

## 6.2. Классификация погрешностей измерений и их свойства

Опыт показывает, что при самых тщательных многократных измерениях одной и той же величины отдельные результаты несколько разнятся между собой и отличаются в ту или другую сторону от действительного

значения этой величины. Это происходит вследствие того, что процесс измерения неизбежно сопровождается погрешностями. Если измерения производятся более совершенными инструментами и методами, весьма опытными наблюдателями, при благоприятных внешних условиях (хорошая погода, хорошее освещение, постоянное давление, температура, влажность и т. д.), то результаты измерений содержат меньшие по абсолютной величине погрешности. Тогда будет получено более точное значение искомой величины. Но избежать полностью влияния погрешностей (ошибок) измерений и в этом случае невозможно.

**Под ошибкой (или погрешностью) результата измерений  $l$  понимают разность между этим результатом и точным (истинным) значением  $X$  – измеренной величины, т.е.**

$$l - X = \Delta, \quad (6.1)$$

где  $l$  – измеренное значение величины;

$X$  – истинное значение величины;

$\Delta$  – погрешность измерения.

Погрешности измерений различают по двум видам: по характеру действия и по происхождению.

По **характеру действия** погрешности разделяются на **грубые, систематические** и **случайные**.

Грубые погрешности, или ошибки, – это погрешности в результатах измерений, значительно большие по своей величине, чем этого можно ожидать при данных условиях. Они являются следствием промахов, допущенных при измерении или вычислениях. (**Примеры:** просчет целого метра при измерении линии местности длиной 30 м; ошибка в отсчете по теодолиту в  $10^\circ$  при измерении горизонтальных углов; просчет, допущенный при вычислениях, например, вместо  $\sin$  взяли  $\cos$  и т.п.). В большинстве случаев грубые ошибки являются следствием невнимательного отношения к делу со стороны исполнителя или неправильной постановки работ. Теория ошибок измерений не занимается рассмотрением ошибок такого рода. Должны быть приняты все меры к тому, чтобы грубые ошибки не имели места. Для этого следует предусматривать контрольные измерения или вычисления, при помощи которых грубые ошибки своевременно могут быть обнаружены и устранены из результатов измерений.

Систематические погрешности происходят от известного источника. Поэтому в результатах измерений, подверженных влиянию систематических погрешностей, проявляется закономерность этого влияния. Характер указанной закономерности зависит от источника возникновения

систематической ошибки. Так, если длина меры, которой измеряют линии местности, определена с некоторой ошибкой, то результаты будут искажены систематической ошибкой, величина которой пропорциональна длине линии. Если известна длина меры при температуре  $t_0$ , а измерения производились при температуре  $t$ , то результаты будут содержать систематическую ошибку, пропорциональную разности температур  $(t - t_0)$  и длине линии. В некоторых случаях систематическая ошибка сохраняет величину и знак. Такие систематические ошибки называются постоянными. Иногда систематическая ошибка периодически меняет свою величину и знак.

Причины появления систематических ошибок в каждом отдельном случае должны быть изучены, а их влияние на результаты измерений по возможности уменьшено, если их не удастся исключить полностью.

Основными источниками систематических ошибок являются: инструмент (инструментальные), внешние условия (ошибками среды) и наблюдатель (личные). Влияние систематических погрешностей на результаты измерений ослабляются введением поправок или методическими приемами.

**Случайные ошибки** измерений появляются в результате взаимодействия в процессе измерений многих непрерывно изменяющихся по своей величине элементарных ошибок, источниками которых являются наблюдатель, инструмент и внешние условия. Поэтому борьба за уменьшение влияния случайных ошибок измерений сводится к повышению качества инструментов, совершенствованию способов измерений и выбору наиболее благоприятных условий для их проведения; эффективной мерой также является увеличение в определенных пределах числа избыточных измерений.

В теории ошибок измерений рассматриваются результаты, содержащие лишь случайные ошибки; систематических ошибок в них не должно быть или, по крайней мере, они должны быть пренебрегаемо малыми. Ряды измерений с преобладающим влиянием в них систематических ошибок в теории ошибок измерений рассматриваются лишь в отдельных частных случаях.

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

Анализируя большие ряды измерений, можно установить нижеследующие четыре свойства случайных ошибок:

- 1) при данных условиях измерений случайные ошибки по абсолютной величине не могут превосходить известного предела;
- 2) равные по абсолютной величине положительные и отрицательные случайные ошибки одинаково возможны, они одинаково часто встречаются в измерениях;
- 3) среднее арифметическое из случайных ошибок одинаково точных измерений стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений;
- 4) малые по абсолютной величине случайные ошибки встречаются чаще, чем большие.

### **6.2.1. Оценка точности результатов измерений.**

#### **Техника геодезических вычислений**

При выполнении геодезических, а также других видов измерений, всегда стремятся определить точность полученного результата. Поэтому в теории ошибок измерений устанавливаются различные критерии для оценки точности результатов измерений.

Поскольку результаты измерений вследствие влияния ошибок разнятся между собой, то возникает задача, как из ряда измерений одной и той же величины получить ее наиболее надежное окончательное значение и как оценить точность этого результата. Решение этой задачи производится на основе тщательного изучения свойств ошибок измерений.

Во многих случаях геодезической практики по результатам измерений вычисляют другие интересующие нас величины. Например, измерив сторону треугольника и два его угла, можно по известным формулам вычислить третий угол и две другие стороны. В таких случаях результаты вычислений являются функциями измеренных величин. По указанной причине, перед теорией ошибок возникает задача об оценке точности функций измеренных величин. Очевидно, что для решения этой задачи необходимо знать ошибки результатов измерений, с помощью которых производятся эти вычисления.

Перечисленные задачи, которые решаются теорией ошибок измерений, имеют большое значение для правильной организации, проведения и использования результатов геодезических работ. Теория ошибок измерений позволяет при правильном и тщательном учете всех условий, в которых будут производиться измерения, наметить надежную методику их проведения, правильно подобрать необходимые для этой цели инструменты, рассчитать ожидаемую точность измерений и окончательного результата, а после выполнения работы правильно обработать результаты и оценить их точность.

Так, в соответствии с 3-м свойством случайных ошибок при бесконечно большом числе измерений некоторой величины, отягощенных только случайными ошибками, среднее из этих измерений (арифметическая средина) будет равна истинному значению этой величины.

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}, \quad (6.2)$$

где  $L$  – вероятнейшее значение измеряемой величины, т.е. максимально близкое к ее истинному значению  $X$ ;

$l_i$  – результаты измерений величины;

$n$  – число измерений.

В геодезии вместо математического значка  $\sum$  часто используют Гауссово обозначение суммы в виде квадратных скобок, т.е.

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} = \frac{[l]}{n}. \quad (6.3)$$

Для оценки точности результатов измерений в геодезии наиболее часто находят так называемую **среднюю квадратическую ошибку (СКО)** по следующим формулам:

1. **Формула Гаусса** (когда известно истинное значение измеряемой величины):

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} = \sqrt{\frac{[(l_i - X)^2]}{n}}, \quad (6.4)$$

где  $m$  – СКО одного измерения;

$l_i$  – значение измеренной величины;

$i$  – номер измерения;

$n$  – число измерений;

$\Delta$  – истинная ошибка измерения.

2. **Формула Бесселя** (по отклонению от среднего):

$$m = \sqrt{\frac{[(l_i - L)^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \quad (6.5)$$

где  $L$  – среднее (арифметическая средина) или вероятнейшее значение многократно измеренной величины, определяемое по формуле (6.2, 6.3).

Точность арифметической середины будет выше точности отдельного измерения. Она определяется по формуле

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (6.6)$$

где  $M$  – средняя квадратическая ошибка определения арифметической середины.

3. Если измеряют значительное число однородных величин по одинаковой методике, а каждую отдельную величину 2 раза, то для оценки точности часто используют **формулу разностей двойных измерений**:

$$m = \sqrt{\frac{[d_i^2]}{2n}}, \quad (6.7)$$

где  $d_i$  – разности двойных измерений одной и той же величины;  
 $n$  – число разностей, равное количеству однородных величин в обрабатываемом ряде;

$m$  – средняя квадратическая ошибка измерения однородных величин.

**Предельную ошибку** (погрешность) измерения  $m_{пред}$  в теории ошибок принимают равной тройной средней квадратической ошибке  $m$ :

$$m_{пред} = 3m. \quad (6.8)$$

В геодезии вводят еще понятие относительной ошибки измеренной величины, т.е. отношение абсолютной погрешности, вычисленной по формулам (6.4) – (6.7), к значению самой измеренной величин ( $m/l$ ).

Относительная погрешность часто используется при оценке точности линейных измерений. Пусть длина линии  $d = 200$  м, а  $m_d = 1$  см, тогда

$$\frac{m_d}{d} = \frac{1 \text{ см}}{20\,000 \text{ см}} = \frac{1}{200\,000}. \quad (6.9)$$

### Техника вычислений

Все геодезические вычисления, т.е. математическая обработка результатов геодезических измерений, выполняется с обязательным контролем, оценкой точности и в две руки (независимо двумя вычислителями). Об этом вы узнаете более подробно в курсе «Теория математической обработки результатов геодезических измерений» (ТМОГИ). Сейчас вам полезно ознакомиться с правилами округления. В геодезических вычислениях принято округлять числа по Гауссу, т.е. в сторону четного:

53.545 с округлением до сотой равно 53.54;

53.535 с округлением до сотой равно 53.54.

Современные вычисления выполняют вручную на калькуляторах или на компьютерах по специальным геодезическим программам или программной среде EXEL, MATLAB, MACHCAD.

### 6.3 Угловые измерения

#### 6.3.1. Общие сведения об угловых измерениях.

##### Принцип измерения горизонтального угла

Плоский угол образуется двумя лучами, исходящими из одной точки, называемой вершиной угла. Угол обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже – в радианной ( $2\pi = 360^\circ$ ); за рубежом широко применяется градусная мера измерения углов ( $360^\circ = 400$  градам).

В геодезии имеют дело с углами, лежащими в горизонтальной или вертикальной плоскостях, причем горизонтальный угол обычно обозначают буквой  $\beta$ .

Угол на чертеже или карте измеряют транспортиром (рис. 6.1).

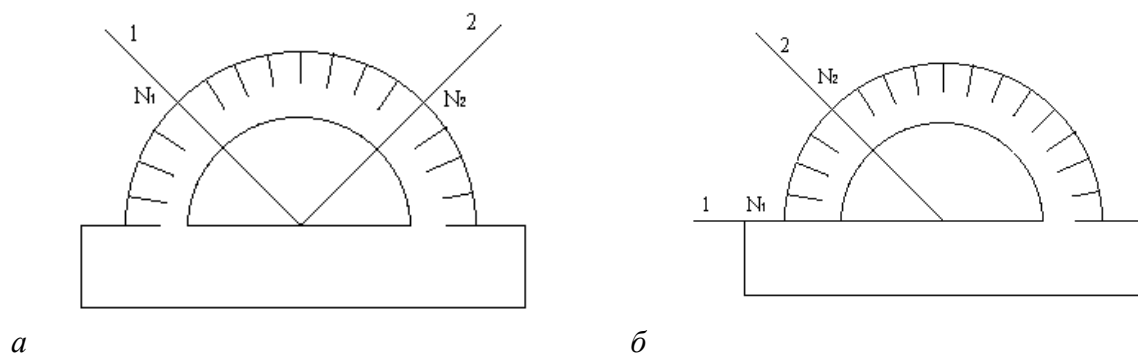


Рис. 6.1. Измерение горизонтального угла на плане или карте транспортиром

На рис. 6.1  $N_1$  и  $N_2$  – отсчеты по шкале транспортира в точках пересечения ее сторонами угла 1-2:

$$\beta_{1-2} = N_2 - N_1. \quad (6.10)$$

Если  $N_1 = 0$ , то  $\beta_{1-2} = N_2$  (см. рис. 6.1).

На местности угол фиксируется тремя точками: одна из них – точка  $A$  – является вершиной угла, две другие –  $B$  и  $C$  – фиксируют направления первой и второй сторон угла соответственно (рис. 6.2).

В геодезии обработка измерений выполняется на горизонтальной плоскости, поэтому угол  $BAC$  нужно спроектировать на горизонтальную плоскость  $H$  или  $H'$  ( $H \parallel H'$ ). Следовательно, на местности нам надо измерить двугранный угол между двумя вертикальными (отвесными) плоскостями, проходящими через стороны угла. В нашем случае это плоскости  $Q$  и  $T$ , а подлежащий измерению угол – это угол  $\beta$ .



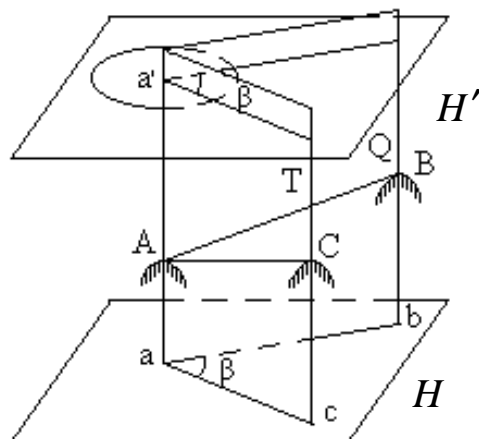


Рис. 6.2. Измерение горизонтального угла  $BAC$  на местности:

$A$  – вершина угла на местности (точка центрирования прибора для измерения угла);  $AB$  и  $BC$  – стороны угла;  $Q$ ,  $T$  – отвесные плоскости, проходящие через стороны угла  $AB$  и  $BC$ .

Угол  $bac$  – проекция на горизонтальную плоскость  $H$  угла  $BAC$  (двугранный угол между плоскостями  $Q$  и  $T$ );  $H'$  – горизонтальная плоскость, проходящая через горизонтальный круг теодолита

Горизонтальные углы в геодезии измеряют теодолитом, который должен обеспечивать возможность измерения двугранного угла между отвесными плоскостями, проходящими через стороны измеряемого угла. Данное условие накладывает определенные требования к конструкции теодолита:

- угломерный прибор должен иметь возможность приведения его оси вращения в вертикальное положение, а угломерный круг в момент отсчитывания должен быть строго отгоризонтирован;
- ось вращения зрительной трубы также должна быть параллельна горизонтальному кругу, а значит, перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита;
- визирная ось трубы должна быть перпендикулярна оси ее вращения.

Таким образом, **принцип измерения горизонтального угла в геодезии заключается в настройке угломерного прибора таким образом, чтобы по нему можно было измерить двугранный угол, образованный двумя отвесными (вертикальными) плоскостями, проходящими через стороны угла на местности.** Поэтому при измерении горизонтального угла  $BAC$  на рис. 6.2 приведенную строго в вертикальное положение ось вращения теодолита центрируют (совмещают) с точкой  $A$  (вершиной угла) местности, горизонтируют горизонтальный круг, на котором нанесены уг-

ловые деления, наводят зрительную трубу вначале на левое направление  $AB$  угла, затем на правое  $AC$ , сопровождая каждое наведение отсчитыванием по кругу с помощью специального отсчетного устройства. Разность отсчетов даст искомый угол  $\beta$ .

Под **вертикальным углом в геодезии** понимают угол наклона линии к плоскости горизонта. Этот угол измеряется в вертикальной (отвесной) плоскости, проходящей через направление линии, как угол между этим направлением и линией пересечения отвесной и горизонтальной плоскостей. Измерение вертикальных углов – углов наклона – производят с помощью вертикального круга угломерного прибора, ось которого жестко скреплена с осью вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней. Отсчетное устройство расположено на оси вращения трубы, но не скреплено с ней и при вращении зрительной трубы остается неподвижным. Таким образом, вертикальный круг должен занимать строго отвесное положение, а ось вращения трубы – строго горизонтальное.

### **6.3.2. Устройство теодолита и порядок взятия отсчетов по угломерным кругам**

Прибор для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов называется **теодолитом**.

У первых теодолитов в центре угломерного круга на острие иголки помещалась линейка, которая могла свободно вращаться на этом острие (как стрелка у компаса); в линейке были сделаны вырезы и в них натянуты нити, играющие роль отсчетных индексов. Центр угломерного круга помещали в вершину измеряемого угла и надежно его закрепляли. Поворачивая линейку, совмещали ее с первой стороной угла и брали отсчет  $N_1$  по шкале угломерного круга. Затем совмещали линейку со второй стороной угла и брали отсчет  $N_2$ . Разность отсчетов  $N_2$  и  $N_1$  равна значению угла. Подвижная линейка называлась **алидадой**, а сам угломерный круг – **лимбом**. Для совмещения линейки-алидады со сторонами угла применялись примитивные визирь.

Современные теодолиты, сохранив идею измерения угла, конструктивно значительно отличаются от старинных теодолитов. Во-первых, для совмещения алидады со сторонами угла используется **зрительная труба**, которую можно вращать по высоте и по азимуту; во-вторых, для отсчета по шкале лимба имеется **отсчетное приспособление**, в-третьих, вся конструкция теодолита закрыта прочным металлическим кожухом, и т.д. Для плавного вращения алидады и лимба имеется **система осей**, а сами вращения регулируются **зажимными и наводящими винтами**. Для установки теодолита на земле применяется специальный **штатив**, а совмещение центра лимба с отвесной

линией, проходящей через вершину измеряемого угла, осуществляется с помощью **оптического центрира** или **нитяного отвеса**.

Стороны измеряемого угла проектируются на плоскость лимба подвижной вертикальной плоскостью, которая называется **коллимационной плоскостью**. Коллимационная плоскость образуется визирной осью зрительной трубы при вращении трубы вокруг своей оси.

**Визирная ось трубы** (или **визирная линия**) – это воображаемая линия, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива трубы.

Перечислим основные части теодолита (рис. 6.3).

**Лимб** – угломерный круг с делениями от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ; при измерении углов лимб является рабочей мерой (на рис. 6.3 не показан).

**Алидада** – подвижная часть теодолита, несущая систему отсчитывания по лимбу и визирное устройство – зрительную трубу. Обычно всю вращающуюся часть теодолита называют алидадной частью, или просто алидадой (2 на рис. 6.3).

**Зрительная труба 3** крепится на подставках на алидадной части.

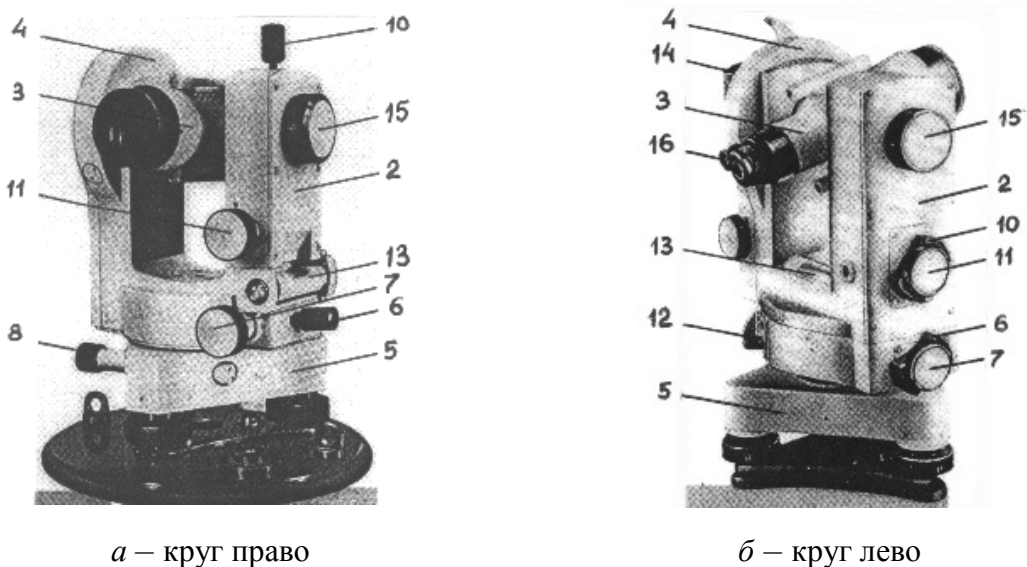


Рис. 6.3. Устройство теодолита 4Т30

**Система осей** – обеспечивает вращение алидадной части и лимба вокруг вертикальной оси.

**Вертикальный круг 4** служит для измерения вертикальных углов.

**Подставка 5** с тремя подъемными винтами для горизонтирования прибора.

**Зажимные и наводящие винты** вращающихся частей теодолита: лимба (8, 9), алидады (6, 7), трубы (10, 11); зажимные винты называют также **закрепительными** и **стопорными**, а наводящие – **микрометренными**.

**Штатив** с крючком для отвеса, площадкой для установки подставки теодолита и станovým винтом.

12 – винт перестановки лимба; 13 – уровень при алидаде горизонтального круга; 14 – уровень вертикального круга; 15 – винт фокусировки трубы; 16 – окуляр микроскопа отсчетного устройства.

В теодолитах различают три разных вращения: вращение зрительной трубы, вращение алидады и вращение лимба; при этом вращение трубы и вращение алидады снабжаются двумя винтами каждое – зажимным и наводящим. Что касается вращения лимба, то оно оформляется по-разному. В повторительных теодолитах лимб может вращаться только вместе с алидадой; в теодолите Т30 (2Т30 и т.п.) для вращения лимба имеются два винта: зажимной и наводящий, причем они работают только при зажатом винте алидады. В теодолите Т15 первых выпусков лимб скреплялся с алидадой с помощью специальной защелки, и в таком положении совместное вращение алидады и лимба регулировалось винтами алидады. В точных и высокоточных теодолитах вращение (перестановка) лимба выполняется специальным бесконечным винтом (позиция 12 на рис. 6.3, б).

### **Отсчитывание по кругам теодолита или снятие показаний с лимбов**

Лимб оптических теодолитов представляет собой стеклянный круг с делениями. Снятие показаний с лимбов производится с помощью отсчетного микроскопа (рис. 6.4). В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, обозначенной буквой *В*, видны штрихи вертикального круга, в нижней части, обозначенной буквой *Г*, – штрихи лимба горизонтального круга. Отсчет производится по соответствующим шкалам с округлением до 30". Индексом для отсчитывания служит штрих лимба. Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр: от 0 до 6 вверху (отсчет слева направо) и от -0 до -6 внизу (отсчет справа налево). По нижнему ряду цифр со знаком «-» отсчет берут в том случае, когда в пределах шкалы вертикального круга находится штрих лимба с тем же знаком, и записывают показание также со знаком «-».

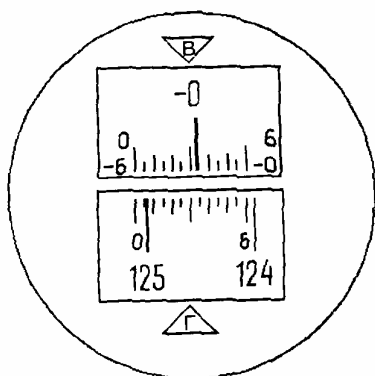


Рис. 6.4. Поле зрения отсчетного микроскопа для теодолита 4Т30:

отсчет по горизонтальному кругу:  $125^{\circ}05,5'$ ;

по вертикальному минус  $0^{\circ}26'$

### 6.3.3. Основы поверочных испытаний теодолита

Теодолит как прибор для измерения углов должен удовлетворять некоторым геометрическим условиям, вытекающим из общего принципа измерения горизонтального угла. Эти условия относятся к взаимному расположению осей теодолита (рис. 6.5).

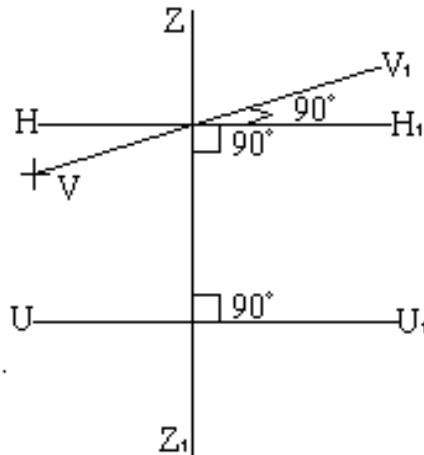


Рис. 6.5. Основные оси теодолита:

$ZZ_1$  – вертикальная ось вращения прибора (ось вращения алидады);  $HH_1$  – горизонтальная ось вращения зрительной трубы;  $VV_1$  – визирная ось зрительной трубы;  $UU_1$  – ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга

Рассмотрим эти условия:

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады ( $UU_1 \perp ZZ_1$ ) – **поверка уровня**.
2. Ось вращения алидады должна быть установлена отвесно (вертикально) – **нивелирование (горизонтирование) теодолита**.
3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы ( $VV_1 \perp HH_1$ ) – **поверка коллимационной ошибки**.
4. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады ( $HH_1 \perp ZZ_1$ ) – **поверка равенства подставок**.
5. Вертикальная нить сетки нитей должна лежать в коллимационной плоскости – **поверка сетки нитей**.

Для всех этих условий, кроме второго, обязательно выполняются проверки для того, чтобы выяснить, удовлетворяет ли конкретный теодолит перечисленным условиям. Если при выполнении проверок обнаруживается, что какое-либо условие не выполняется, производят исправление или юстировку осей теодолита.

## Методики выполнения поверок теодолита

Перед началом выполнения поверок теодолит приводят в рабочее положение. Под приведением теодолита в рабочее положение понимают его установку с закреплением на твердое основание или штатив и горизонтирование или нивелирование прибора.

### Порядок нивелирования

1. Устанавливают уровень при алидаде горизонтального круга параллельно двум подъемным винтам и путем их вращения в противоположные стороны выводят пузырек уровня строго на середину.

2. Поворачивают теодолит строго на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом подставки теодолита выводят пузырек уровня на середину.

Если уровень исправен, то при вращении теодолита вокруг своей вертикальной оси пузырек уровня не должен отклоняться от середины более чем на одно деление. В противном случае, а также до начала работ с теодолитом после приведения его в рабочее положение выполняют поверку уровня.

### Поверка уровня

Цилиндрический уровень представляет собой ампулу с верхней криволинейной поверхностью. Эта ампула заполнена примерно на 0,9 от общего объема спиртовым раствором. Незаполненная воздушная часть называется пузырьком уровня, который при горизонтальном положении контролируемой плоскости должен занимать верхнее положение, т.е. находиться посередине, в нуль-пункте.

**Ось цилиндрического уровня** (рис. 6.6) – это прямая  $UU_1$ , касательная к верхней криволинейной поверхности ампулы.

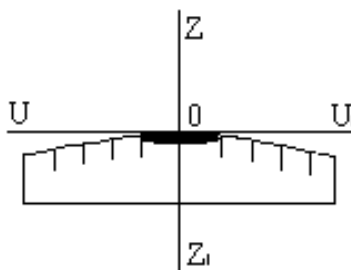


Рис. 6.6. Пояснения к поверке уровня:

$UU_1$  – ось цилиндрического уровня;  $ZZ_1$  – ось вращения алидады (вертикальная ось теодолита);

0 – нуль-пункт уровня (средняя точка между штрихами, нанесенными на ампуле уровня)

### **Порядок выполнения поверки уровня при алидаде горизонтального круга**

1. Установить уровень параллельно двум подъемным винтам.

Этими подъемными винтами привести пузырек уровня в нуль-пункт.

2. Повернуть прибор точно на  $180^\circ$ .

Сосчитать количество делений  $n$  отклонения пузырька уровня от нуль-пункта.

Если отклонение пузырька уровня от нуль-пункта не превышает одного деления уровня, то уровень исправен. В противном случае, уровень нуждается в юстировке.

### **Порядок юстировки**

3. Подъемными винтами сместить пузырек обратно, т.е. в сторону середины, на  $n/2$  делений.

4. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нуль-пункт.

### **Рекомендации**

Если угол  $i$  наклона вертикальной оси вращения теодолита большой, т.е. уровень сильно разъюстирован, то после поворота прибора на  $180^\circ$  пузырек уходит за пределы шкалы, и количество делений  $n$  сосчитать нельзя. В этом случае отклонение пузырька от нуль-пункта можно измерить в более крупных единицах, например, в оборотах подъемных винтов, и исправлять уровень способом последовательных приближений.

**Способ Г. Лысова** позволяет исправить сильно разъюстированный уровень за одно приближение.

### **Последовательность операций в способе Г. Лысова**

1. Умеренно вывернуть (или завернуть) любой из подъемных винтов, чтобы наклон прибора был заметен глазом ( $i > 1^\circ$ ).

2. Плавно вращая прибор, зафиксировать такое его положение, при котором пузырек уровня находится точно в нуль-пункте; взять отсчет по горизонтальному лимбу  $N_1$ .

3. Плавно вращая прибор, зафиксировать второе его положение, при котором пузырек уровня также находится точно в нульпункте; взять отсчет по горизонтальному лимбу  $N_2$ .

4. Вычислить отсчет  $N = 0,5 (N_1 + N_2) + 90^\circ$  и, плавно вращая прибор, установить его на горизонтальном лимбе.

5. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нуль-пункт.

## Проверка сетки нитей

**Условие проверки:** горизонтальная нить сетки нитей должна быть строго горизонтальна, а вертикальная – вертикальна (рис. 6.7).

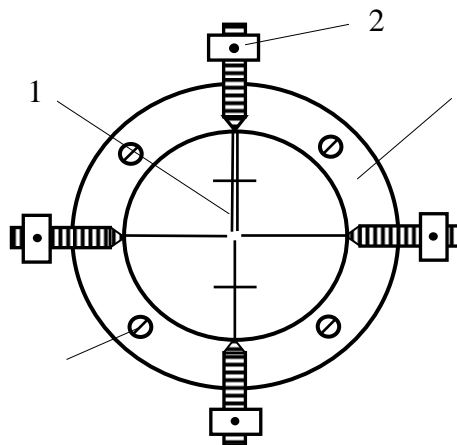


Рис. 6.7. Поле зрения зрительной трубы теодолита с горизонтальной и вертикальной нитями сетки:  
1 – сетка нитей; 2 – крепежный винт сетки нитей

## Порядок выполнения проверки

### Способ 1

Закрепить теодолит на штативе и привести в рабочее положение.

– Навести зрительную трубу на четкую визирную цель, совместить изображение цели с левым концом горизонтального штриха сетки нитей и, вращая теодолит наводящим винтом по азимуту, оценить смещение цели с горизонтальной нити на ее правом конце.

– Если смещение превышает три ширины штриха, выполнить юстировку и повторить проверку.

### Способ 2

Проверку сетки нитей можно выполнить путем совмещения ее вертикальной линии с четко видимым отвесом. Вертикальная нить не должна отклоняться от него на нижнем краю более чем на две ширины линии сетки нитей.

## Порядок юстировки сетки нитей

– Для устранения наклона сетки нитей отвинтить колпачок у окуляра зрительной трубы, ослабить 4 крепежных винта у окуляра, показанных на рис. 6.7, и повернуть окуляр так, чтобы нить сетки расположилась горизонтально.

– После юстировки сетки закрепить окуляр и завернуть колпачок.



## Проверка коллимационной ошибки

Проверка перпендикулярности визирной оси трубы  $VV$  к горизонтальной оси вращения трубы  $HH$  выполняется с помощью отсчетов при двух положениях вертикального круга (лево (КЛ) и право (КП)) по горизонтальному кругу при наблюдении четкой визирной цели, расположенной вблизи горизонта.

Если условие выполняется, то при вращении трубы вокруг своей оси визирная линия трубы описывает плоскость, совпадающую с коллимационной (вертикальной) плоскостью. Если угол между визирной линией трубы и осью вращения трубы не равен точно  $90^\circ$ , то при вращении трубы визирная линия будет описывать коническую поверхность с углом при вершине конуса  $180^\circ - 2C$ , где  $C$  – угол между фактическим положением визирной линии трубы и ее теоретическим положением; угол  $C$  называется коллимационной ошибкой (рис. 6.8).

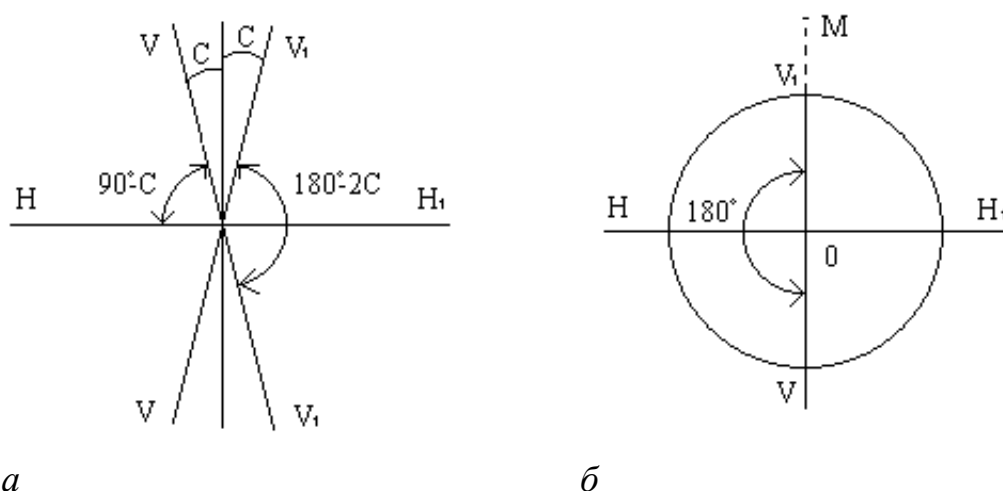


Рис. 6.8. К понятию коллимационной ошибки

### Порядок выполнения проверки коллимационной ошибки

1. Выбираем четко видимую точку (визирную цель)  $M$  вблизи горизонта (рис. 6.8, б).
2. Тщательно приводим теодолит в рабочее положение.
3. Наводим трубу на точку  $M$  при положении вертикального круга КЛ и берем отсчет по лимбу горизонтального круга  $NL$ .
4. Переводим трубу через зенит, поворачиваем алидаду на  $180^\circ$ , вновь наводим теодолит на ту же точку  $M$  и берем отсчет по лимбу горизонтального круга  $NR$  при положении вертикального круга КП.

5. Вычисляем значение коллимационной ошибки по формуле

$$C = (NL + NR \pm 180)/2, \quad (6.11)$$

где  $C$  – коллимационная ошибка;

$NL$  и  $NR$  – отсчеты по лимбу горизонтального круга на точку  $M$  соответственно при КЛ и КП.

6. Сравниваем полученное по формуле (6.11) значение коллимационной ошибки  $C$  с допуском ( $C_{дон} = 1'$ ). Если допуск выдержан, то юстировку коллимационной ошибки не выполняем, если  $C$  оказалось больше  $1'$ , то производим исправление (юстировку) коллимационной ошибки.

7. Для исправления коллимационной ошибки с помощью наводящего винта алидады горизонтального круга (винт 7 на рис. 6.3, а) устанавливаем истинный отсчет, т.е. свободный от влияния коллимационной ошибки.

$$NL' = NL - C \quad \text{или} \quad NR' = NR + C, \quad (6.12)$$

где  $NL'$  и  $NR'$  – истинные, свободные от влияния коллимационной ошибки, отсчеты по лимбу.

В результате биссектор сетки нитей уйдет с визирной цели. Горизонтальными исправительными винтами сетки (см. рис. 6.7) вводим визирную цель в биссектор сетки нитей.

После исправления коллимационной ошибки закрепляем исправительные винты сетки и закрываем их колпачком как в случае исправления наклона сетки нитей.

Из формулы (6.12) следует, что среднее из отсчетов при двух положениях круга будет свободно от влияния коллимационной ошибки, т.е.

$$0,5 * (NL + NR + 180) = 0,5 * (NL' + NR' \pm 180),$$

где  $NL, NR$  – полученные отсчеты, а  $NL'$  и  $NR'$  – истинные отсчеты.

Следует заметить, что в теодолитах с односторонним отсчитыванием по лимбу (Т30, Т15, Т5) в каждом отдельном отсчете (и при КЛ и при КП) присутствует еще ошибка эксцентриситета алидады, поэтому значение коллимационной ошибки, подсчитанное по формуле (6.12), будет включать ошибку эксцентриситета. Для таких теодолитов коллимационную ошибку определяют по более сложной методике, состоящей из следующих действий:

- навести трубу при КЛ на четко видимую точку, расположенную вблизи горизонта, взять отсчет по лимбу  $NL_1$ ;
- перевести трубу через зенит, навести ее на ту же точку при КП и взять отсчет по лимбу  $NR_1$ ;
- ослабить зажимной винт подставки и повернуть теодолит относительно подставки примерно на  $180^\circ$ ;

- навести трубу на точку при КП, взять отсчет  $NR_2$ ;
- навести трубу на точку при КЛ, взять отсчет  $NL_2$ ;
- вычислить коллимационную ошибку по формуле

$$C = 0,25 * [(NL_1 + NL_2) - (NR_1 + NR_2) \pm 360^\circ]. \quad (6.13)$$

Исправление коллимационной ошибки, если она больше допустимого значения, производится аналогично описанному выше.

### Проверка равенства подставок

Проверка перпендикулярности оси вращения трубы к оси вращения алидады (равенства подставок) обеспечивает вертикальное положение коллимационной плоскости. Порядок выполнения проверки следующий:

- Выбирают хорошо видимую высоко расположенную точку  $M$  (рис. 6.9).

- Сначала наводят трубу на точку при КЛ и проектируют точку на уровень горизонта теодолита зрительной трубой; отмечают точку  $m_1$ .

- Затем переводят трубу через зенит, наводят ее на точку при КП и снова проектируют точку на уровень горизонта теодолита; отмечают точку  $m_2$ .

Если ось вращения трубы перпендикулярна оси вращения алидады, то проекция точки  $M$  оба раза попадет в точку  $m$ ; в противном случае точек будет две –  $m_1$  и  $m_2$ .

Положение, при котором один конец оси трубы выше другого, возникает, когда высота подставок трубы неодинакова; вследствие этого рассматриваемую проверку иногда называют проверкой равенства подставок.

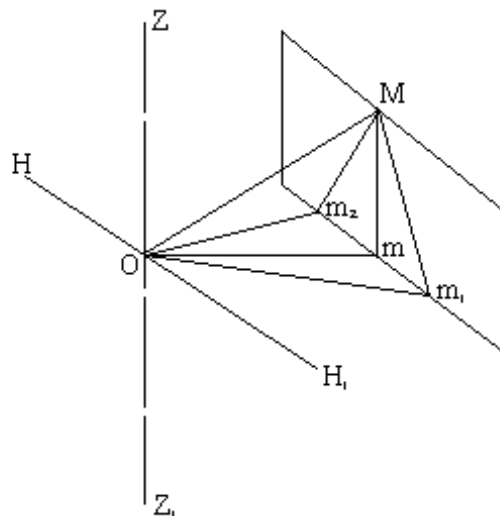


Рис. 6.9. Проверка равенства подставок

Для исправления угла между осями  $HH_1$  и  $ZZ_1$  нужно изменить высоту той подставки, которая имеет исправительный винт. Исправление неравенства подставок выполняется методом последовательных приближений. Если теодолит не имеет исправительного винта подставки, то при обнаружении неравенства подставок его нужно сдать в мастерскую.

Кроме геометрических условий у теодолита проверяют так называемые механические условия:

- отсутствие механических повреждений – изломов, изгибов, трещин и т.п.; это проверяется путем внешнего осмотра, при котором следует удостовериться и в полной комплектности прибора;
- плавность вращения всех вращающихся деталей, т.е. отсутствие заеданий, тугого вращения, скрипа и стука;
- плавность и легкость работы зажимных винтов;
- плавность и равномерность работы наводящих винтов;
- равномерность и легкость работы подъемных винтов.

#### **6.3.4. Способы измерения горизонтальных и вертикальных углов техническими теодолитами**

##### **6.3.4.1. Общие сведения об измерении горизонтальных углов**

Государственный стандарт выделяет три группы теодолитов: высокоточные, точные и технические.

Высокоточные теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой не более 1"; типы Т1, Т05.

Точные теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой от 2" до 7"; типы Т2, Т5.

Технические теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой от 10" до 30"; типы Т15, Т30.

Дополнительная буква в шифре теодолита указывает на его модификацию или конструктивное решение: А – астрономический, М – маркшейдерский, К – с компенсатором при вертикальном круге, П – труба прямого изображения (земная).

Государственным стандартом на теодолиты предусмотрена, кроме того, унификация отдельных узлов и деталей теодолитов; вторая модификация имеет цифру 2 на первой позиции шифра: 2Т2, 2Т5 и т.д., третья модификация имеет цифру 3: 3Т2, 3Т5КП и т.д.

Перед измерением угла необходимо **привести теодолит в рабочее положение**, т.е. выполнить три операции: центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы.

**Центрирование теодолита** – это установка оси вращения алидады над вершиной измеряемого угла; операция выполняется с помощью отвеса, подвешиваемого на крючок станového винта, или с помощью оптического центра.

**Горизонтирование теодолита** – это установка оси вращения алидады в вертикальное положение; операция выполняется с помощью подъемных винтов и уровня при алидаде горизонтального круга.

**Установка трубы** – это установка трубы по глазу и по предмету; операция выполняется с помощью подвижного окулярного кольца (установка по глазу – фокусирование сетки нитей) и винта фокусировки трубы на предмет.

Измерения углов выполняются строго по методике, соответствующей способу измерения. Известно несколько способов измерения горизонтальных углов: это способ отдельного угла (способ приемов), способ круговых приемов, способ во всех комбинациях, способ повторений, способ измерения отдельного угла со сбиванием лимба и др. В настоящем курсе мы рассмотрим только способы измерения горизонтальных углов техническими теодолитами.

#### **6.3.4.2. Способы измерения горизонтальных углов техническими теодолитами**

##### **Способ отдельного угла**

Измерение отдельного угла в этом способе складывается из следующих действий:

- наведение трубы на точку, фиксирующую направление первой стороны угла (рис. 6.10), при круге лево (КЛ), взятие отсчета  $L_1$ ;
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление второй стороны угла; взятие отсчета  $L_2$ ;
- вычисление угла при КЛ:

$$\beta_{Л} = L_2 - L_1;$$

- переведение трубы через зенит и наведение ее на точку вращения по ходу часовой стрелки, фиксирующую направление второй стороны угла, при круге право (КП); взятие отсчета  $R_2$ ;
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление первой стороны угла; взятие отсчета  $R_1$ ;
- вычисление угла при КП:

$$\beta_{П} = R_2 - R_1;$$

– при выполнении условия  $|\beta_L - \beta_P| < 1,5 * t$ , где  $t$  – точность теодолита, вычисление среднего значения угла:

$$\beta_{cp} = 0,5 * (\beta_L + \beta_P).$$

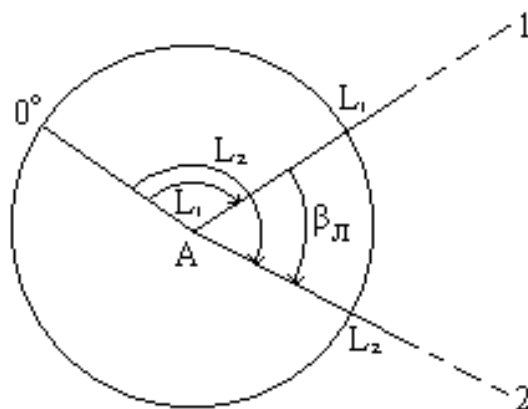


Рис. 6.10. Способ измерения отдельного угла:  
 $A$  – вершина угла (место установки теодолита);  $A_1$  – левая сторона угла;  
 $A_2$  – правая сторона угла

Измерение угла при одном положении круга (КЛ или КП) составляет один полуприем; полный цикл измерения угла при двух положениях круга составляет один прием.

Запись отсчетов по лимбу и вычисление угла производятся в журналах установленной формы.

### Способ отдельного угла со сбтием лимба

Измерение отдельного угла со сбтием лимба складывается из следующих действий:

- наведение трубы на точку 1, фиксирующую направление первой стороны угла (см. рис. 6.10), при круге лево (КЛ), взятие отсчета  $L_1$ ;
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку 2, фиксирующую направление второй стороны угла; взятие отсчета  $L_2$ ;
- вычисление угла при КЛ:

$$\beta_L = L_2 - L_1;$$

- перестановка лимба на  $1 - 2^\circ$  для теодолитов с односторонним отсчитыванием (Т15, Т30) и на  $90^\circ$  – для теодолитов с двухсторонним отсчитыванием;

- переведение трубы через зенит и наведение ее на точку, фиксирующую направление второй стороны угла, при круге право (КП); взятие отсчета  $R_2$ ;

- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление первой стороны угла; взятие отсчета  $R_2$ ;
- вычисление угла при КП:

$$\beta_{II} = R_2 - R_1;$$

- при выполнении условия  $|\beta_L - \beta_{II}| < 1,5 * t$ , где  $t$  – точность теодолита, вычисление среднего значения угла:

$$\beta_{cp} = 0,5 * (\beta_L + \beta_{II}).$$

### Способ круговых приемов

Если с одного пункта наблюдаются более двух направлений, то часто применяют способ круговых приемов. Для измерения углов этим способом в каждом отдельном приеме, состоящем из двух полуприемов, необходимо выполнить следующие операции (рис. 6.11):

1-ый полуприем:

- при КЛ навести трубу на первый (начальное) пункт, установить на лимбе отсчет, близкий к нулю, и, проверив наведение, взять отсчет по лимбу  $NL_1$ .

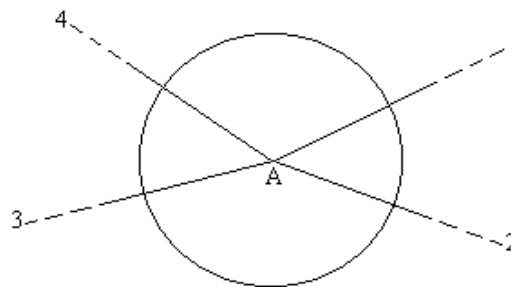


Рис. 6.11. Способ круговых приемов:

1, 2, 3, 4 – наблюдаемые направления; 1 – начальное направление

- вращая алидаду по ходу часовой стрелки, навести трубу последовательно на второй, третий и т.д. пункты и затем снова на первый пункт, каждый раз беря отсчеты по лимбу, т.е. отсчеты в первом полуприеме будут для рис. 6.10:

$$NL_1, NL_2, NL_3, NL_4, NL_1;$$

- проверяем соблюдение допуска на замыкание горизонта путем сравнения последнего отсчета с первым (меньше или равно  $1'$ ). Если замыкание в допуске, то переходим к выполнению 2-ого полуприема;

- переводим трубу через зенит и при КП повторяем те же действия, что и при КЛ, только вращая против хода часовой стрелки, т.е. наводим на первое, четвертое, третье, второе и снова первое (начальное) направление,

каждый раз беря отсчеты по лимбу; отсчеты во втором полуприеме будут для рис. 6.10:

$$NR_1, NR_4, NR_3, NR_2, NR_1$$

(вращаем алидаду против хода часовой стрелки) и вновь проверяем допуск на замыкание горизонта);

– выполняем обработку результатов измерений (табл. 6.1).

Пример заполнения журнала наблюдений в способе круговых приемов для трех направлений приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Журнал наблюдений в способе круговых приемов

N т. ст.	N т. н-я	Круг	Отсчеты по горизонтальному кругу			$L - П$ (2C)''	$\frac{L + П}{2}$			Значение направления		
			°	'	''		°	'	''	°	'	''
1	1	Л	60	12	30	30	60	12	15	0	00	0
		П	240	12	00							
	2	Л	117	56	20	0	117	56	20	57	44	05
		П	297	56	20							
	3	Л	164	25	00	-30	164	25	15	104	13	00
		П	334	25	30							
	1	Л	60	12	30	0	60	12	30	–		–
		П	240	12	30							
Незамыкание $\Delta_L = 0''$ ; $\Delta_{II} = 30''$ ; $\Delta_{CP} = 15''$												

**Способ повторений** при измерении горизонтальных углов используют с целью повышения точности измерений. Схема измерений по этому способу приведена на рис. 6.12.

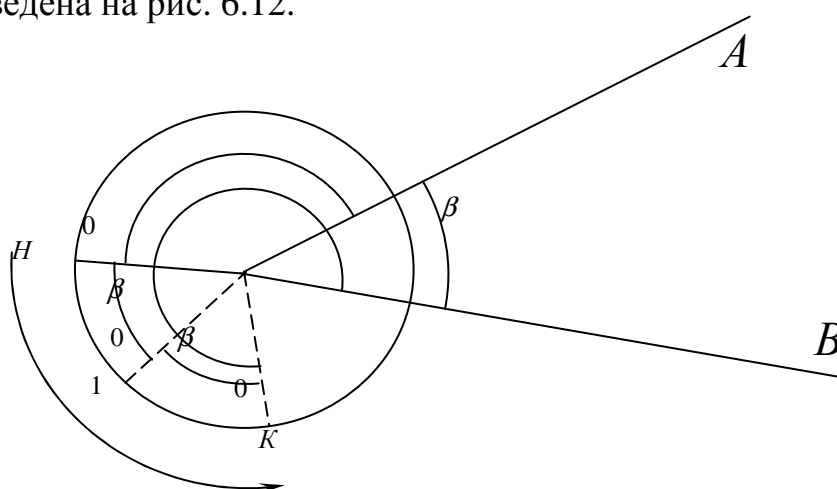


Рис. 6.12. Схема измерения горизонтального угла способом повторений

Наблюдения в способе повторений также выполняют при КЛ и КП.



### Порядок наблюдений

КЛ

- 1) наводим на  $A$ , берем отсчет  $A_{Лнач.}$ ;
- 2) наводим на  $B$ , отсчет не берем (в п. 2 действуем с помощью закрепительного и наводящего винтов алидады);
- 3) закрепляем алидаду, открепляем лимб и наводим на  $A$ , отсчет не берем (в п. 3 действуем закрепительным винтом подставки и наводящим винтом лимба);
- 4) наводим на  $B$ , берем отсчет  $B_{Лкон.}$  (в п. 4 действуем с помощью закрепительного и наводящего винтов алидады);
- 5) вычисляем угол по формуле  $\beta_{Л} = (B_{Лкон.} - A_{Лнач.})/2$ ;
- 6) повторяем пп. 1 – 5 при КП  $\beta_{П} = (B_{Пкон.} - A_{Пнач.})/2$ ;

$$\beta_{ср} = (\beta_{Л} + \beta_{П})/2.$$

### Пример

Пусть исходный отсчет на направление  $A$  будет  $A_{Лнач.} = 19^{\circ} 17'$ , а конечный отсчет на направление  $B$  после возвращения  $B_{Лкон.} = 182^{\circ} 13'$  при круге лево. Тогда значение угла из полуприема будет

$$\beta_{Л} = \frac{182^{\circ} 13' - 19^{\circ} 17'}{2} = \frac{162^{\circ} 56'}{2} = 81^{\circ} 28'.$$

При круге право  $A_{Пнач.} = 199^{\circ} 17'$ , а  $B_{Пкон.} = 2^{\circ} 14'$ , значение угла из полуприема

$$\beta_{П} = \frac{360^{\circ} + 2^{\circ} 14' - 199^{\circ} 17'}{2} = \frac{162^{\circ} 57'}{2} = 81^{\circ} 28' 30''.$$

Разность между углами  $30''$ , значит можно брать среднее.

$$\beta_{ср} = 81^{\circ} 28' 15''.$$

### 6.3.4.3. Измерение вертикальных углов

Вертикальный угол – это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости наблюдаемого направления. К вертикальным углам относятся угол наклона и зенитное расстояние.

**Угол между горизонтальной плоскостью точки наблюдения и направлением линии местности называется углом наклона и обозначается буквой  $v$ .** Углы наклона бывают положительные и отрицательные.

**Угол между вертикальным направлением точки наблюдения и направлением линии местности называется зенитным расстоянием и обозначается буквой  $Z$ .** Зенитные расстояния всегда положительные (рис. 6.13).

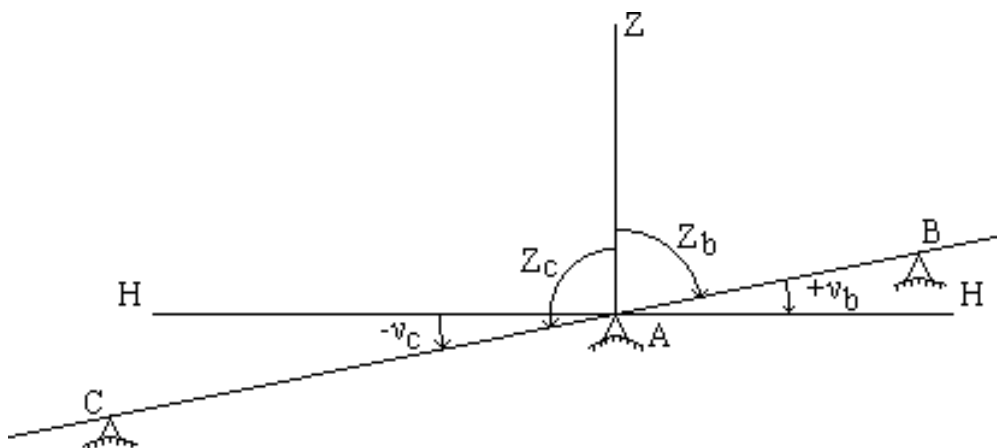


Рис. 6.13. Измерение вертикальных углов:

$A$  – точка наблюдения (точка стояния теодолита);  $HH$  – горизонтальная плоскость в точке стояния теодолита;  $v_b$ ,  $(-v_c)$  – положительный и отрицательный углы наклона на точки  $B$  и  $C$  местности;  $AZ$  – вертикальная линия в точке стояния теодолита;  $Z_b$  и  $Z_c$  – зенитные расстояния на точки  $B$  и  $C$  местности

Угол наклона и зенитное расстояние одного направления связаны соотношением:

$$Z + v = 90^\circ, \quad (6.14)$$

или

$$v = 90^\circ - Z, \quad Z = 90^\circ - v. \quad (6.15)$$

Измерение вертикальных углов, т.е. углов наклона или зенитных расстояний, выполняется по вертикальному кругу.

### Вертикальный круг теодолита

Вертикальный круг большинства теодолитов устроен следующим образом: лимб вертикального круга жестко соединен с трубой (насажен на один из концов оси трубы), центр лимба совмещен с геометрической осью вращения трубы, а его плоскость перпендикулярна этой оси. Деления на лимбе наносят по разному: либо от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , либо от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  в обе стороны со знаками «плюс» и «минус» или без знаков и т.д. Для отсчета по лимбу имеется алидада. Основные части алидады: отсчетное приспособление, цилиндрический уровень (или компенсатор) и микрометрический винт. У технических теодолитов вертикальный угол измеряется относительно оси уровня при алидаде горизонтального круга.

Пузырек уровня в момент отсчета приводится в нуль-пункт, т.е. ось уровня служит указателем горизонтального положения плоскости. Отсчетным индексом является нулевой штрих отсчетного приспособления. Ось уровня и линия отсчетного индекса (линия, соединяющая отсчетный ин-

декс с центром лимба) должны быть параллельны; при выполнении этого условия линия отсчетного индекса будет горизонтальна в момент взятия отсчета по вертикальному кругу.

Взаимное положение лимба и зрительной трубы должно удовлетворять условию: визирная линия трубы и нулевой диаметр лимба должны быть параллельны.

Оба условия вместе составляют так называемое главное условие вертикального круга теодолита: визирная линия трубы должна занимать горизонтальное положение, когда отсчет по лимбу равен нулю и пузырек уровня находится в нуль-пункте. На практике оба эти условия могут не выполняться, что приводит к понятию места нуля ( $M_0$ ) и необходимости его определения.

**Место нуля вертикального круга теодолита – это отсчет по лимбу вертикального круга при горизонтальном положении визирной линии трубы и оси уровня.**

Для конкретного теодолита формулы для вычисления угла наклона и места нуля приводятся в паспорте. Например, для теодолитов 2Т30 и Т15 эти формулы имеют вид:

$$\begin{aligned}M_0 &= 0,5 * (NL + NR), & (6.16) \\v &= 0,5 * (NL - NR), \\v &= NL - M_0, \\v &= M_0 - NR.\end{aligned}$$

Положение вертикального круга, при котором отсчет по лимбу вертикального круга равен (с точностью до  $M_0$ ) углу наклона, считается основным; у большинства современных теодолитов основным положением является КЛ.

Для измерения углов наклона удобно иметь  $M_0$  близким к нулю, поэтому нужно регулярно выполнять **поверку места нуля**, которая заключается в следующем.

**Определение места нуля ( $M_0$ ) технического теодолита:**

- тщательно приводим пузырек уровня при алидаде горизонтального круга на середину, наводим трубу на точку при КЛ, и берем отсчет по вертикальному кругу  $NL$ ;
- переводим трубу через зенит и наводим ее на точку при КП и берем отсчет по вертикальному кругу  $NR$ ;
- вычисляем по формулам (6.16) значения места нуля ( $M_0$ ) и угла наклона  $v$ .

### Исправление места нуля

Если  $M_0$  получается больше допуска (более 1 минуты), то при основном положении круга нужно навести трубу на точку и микрометрическим винтом алидады вертикального круга установить отсчет, равный углу наклона; при этом визирная цель уйдет с горизонтальной нити сетки нитей. Вертикальными исправительными винтами сетки нитей теодолита совмещаем визирную цель с горизонтальной нитью сетки.

#### 6.3.4.4 Погрешности угловых измерений

Ошибки угловых измерений делятся на **личные, инструментальные и за счет влияния внешних условий**.

Влияние **инструментальных ошибок** на результаты угловых измерений уменьшают путем выполнения **поверочных испытаний теодолита** (поверка уровня, поверка коллимационной ошибки, поверка места нуля, поверка равенства подставок) и **методически**. Так, влияние коллимационной ошибки и неравенства подставок на результаты угловых измерений уменьшают путем измерения угла при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП). Кроме перечисленного, основным источником ошибок при измерении горизонтальных углов технической точности следует считать **внецентренность установки теодолита и визирной цели над центром геодезического пункта, то есть ошибки центрирования**. Остановимся на этом более подробно.

**Влияние внецентренности теодолита на отсчеты по лимбу** рассмотрим с помощью рис. 6.14.

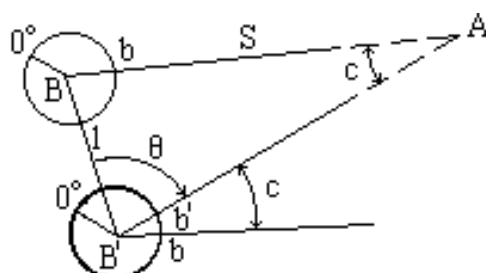


Рис. 6.14. Влияние внецентренности теодолита

Введем обозначения:

$B$  – вершина измеряемого угла на местности (центр геодезического пункта);  $B'$  – фактическое (внецентренное) положение теодолита;  $BA$  – сторона измеряемого угла ( $A$  – визирная цель);  $S$  – расстояние между пунктами  $B$  и  $A$ .

$0^\circ$  – нулевой штрих лимба горизонтального круга, ориентированный на левую сторону угла.

Угол  $0^\circ BA = b$  – истинный отсчет по лимбу (свободный от внецентренности).

Угол  $0^\circ B'A = b'$  – фактический отсчет по лимбу.

$l$  – линейный элемент центрировки (расстояние между положением центра геодезического пункта и центра теодолита);  $\Theta = \angle BB'A$  – угловой элемент центрировки.

$c = b - b'$  – ошибка за центрировку (поправка в отсчет по лимбу за центрировку).

Из треугольника  $BB'A$ :

$$\frac{l}{\sin(c)} = \frac{S}{\sin \theta},$$

$$\sin c = l * \frac{\sin \theta}{S},$$

$$c'' = l * \frac{\sin \theta}{S} * \rho'' . \quad (6.17)$$

Исправленный отсчет по лимбу  $b$  будет равен

$$b = b' + c. \quad (6.18)$$

**Влияние внецентренности визирной цели (редукции) на отсчеты по лимбу** рассмотрим с помощью рис. 6.15.

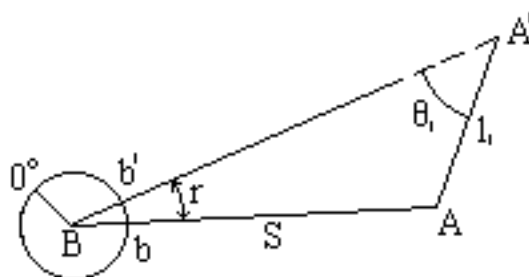


Рис. 6.15. Влияние редукции (внецентренности визирной цели на отсчеты по лимбу)

$B$  – вершина измеряемого угла на местности;  $A'$  – фактическое (внецентренное) положение визирной цели;  $A$  – истинное положение визирной цели.

Угол  $0^\circ BA = b$  – истинный отсчет по лимбу (свободный от внецентренности).

Угол  $\theta^{\circ}BA' = b'$  – фактический отсчет по лимбу.

$l_1$  – линейный элемент редукции;  $\Theta_1$  – угловой элемент редукции.

$r = b - b'$  – ошибка за редукцию (поправка в отсчет по лимбу за редукцию).

Из треугольника  $BAA'$ :

$$\frac{l_1}{\sin r} = \frac{S}{\sin \theta_1},$$

$$\sin r = l_1 * \frac{\sin(\theta_1)}{S},$$

$$r'' = l_1 * \frac{\sin(\theta_1)}{S} * \rho'' . \quad (6.19)$$

$$b = b' + r. \quad (6.20)$$

$c$  и  $r$  максимальны при  $\theta(\theta_1) = 90^{\circ}$  ( $270^{\circ}$ ), когда  $\sin \theta = \pm 1$ .

#### Два способа учета внецентренности теодолита и визирной цели:

– Центрирование выполняют с такой точностью, которая позволяет не учитывать ошибку внецентренности.

$m_{\beta} = 30''$ , допуск  $c$  и  $r = 10''$ .

При  $S = 150$  м  $l$  и  $l_1 = 0,9$  см (можно центрировать по отвесу);

при  $S = 50$  м  $l$  и  $l_1 = 0,2$  см.

Центрирование теодолита или визирной цели необходимо производить с помощью оптического центрира.

– Измеряются линейные ( $l$  и  $l_1$ ) и угловые ( $\Theta$  и  $\Theta_1$ ) элементы центрировки и редукции и определяют поправки за внецентренность теодолита ( $c$ ) и визирной цели ( $r$ ) по формулам (6.17) и (6.19).

#### 6.3.4.5 Измерение магнитного азимута

Магнитный азимут в геодезии измеряют с помощью теодолита и ориентир-буссоли, входящей в комплект технической теодолита (рис. 6.16).

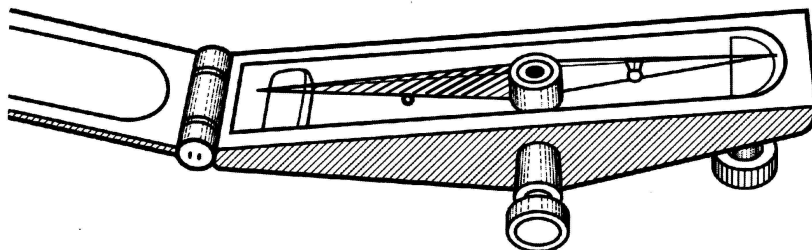


Рис. 6.16. Ориентир-буссоль

**Порядок измерения магнитного азимута  $A_M$  с помощью теодолита и ориентир-буссоли:**

1. Прикрепляем буссоль к вертикальному кругу теодолита.
2. Ориентируем горизонтальный круг теодолита по направлению магнитного меридиана, т.е. отсчет по горизонтальному кругу устанавливаем  $0^{\circ} 00'$  при направлении магнитной стрелки буссоли на север.
3. Вращением алидады горизонтального круга наводим визирную ось зрительной трубы на определяемое направление и берем отсчет по горизонтальному кругу, который будет равен магнитному азимуту.

## **6.4. Нивелирование**

### **6.4.1. Назначение и виды нивелирования, их точность**

Рельеф местности – это совокупность неровностей земной поверхности. Он является одной из важнейших характеристик местности. Знать рельеф – значит, знать отметки всех точек местности. Отметка точки – это численное значение ее высоты над уровенной поверхностью, принятой за начало счета высот.

Отметку точки на местности определяют по превышению этой точки относительно другой точки, отметка которой известна. **Процесс измерения превышения одной точки относительно другой называется нивелированием.** Начальной точкой счета высот в нашей стране является нуль Кронштадтского футштока (горизонтальная черта на медной пластине, прикрепленной к устью одного из мостов Кронштадта) (рис. 6.17). От этого нуля идут ходы нивелирования, пункты которых имеют отметки в Балтийской системе высот. Затем от этих пунктов с известными отметками прокладывают новые нивелирные ходы и т.д., пока не получится довольно густая сеть, каждая точка которой имеет известную отметку. Эта сеть называется государственной сетью нивелирования; она покрывает всю территорию страны.

Отметки всех пунктов нивелирных сетей собраны в списки «Каталоги высот». Эти списки непрерывно пополняются, издаются новые каталоги по новым нивелирным ходам. Для нахождения отметки любой точки местности в Балтийской системе высот нужно измерить ее превышение относительно какого-либо пункта, отметка которого известна и есть в каталоге. Иногда отметки точек определяют в условной системе высот, если поблизости нет пунктов государственной нивелирной сети. Вследствие того, что измерение превышений выполняют различными приборами и разными способами, различают:

- геометрическое нивелирование (нивелирование горизонтальным лучом);
- тригонометрическое нивелирование (нивелирование наклонным лучом);
- барометрическое нивелирование;
- гидростатическое нивелирование и некоторые другие.

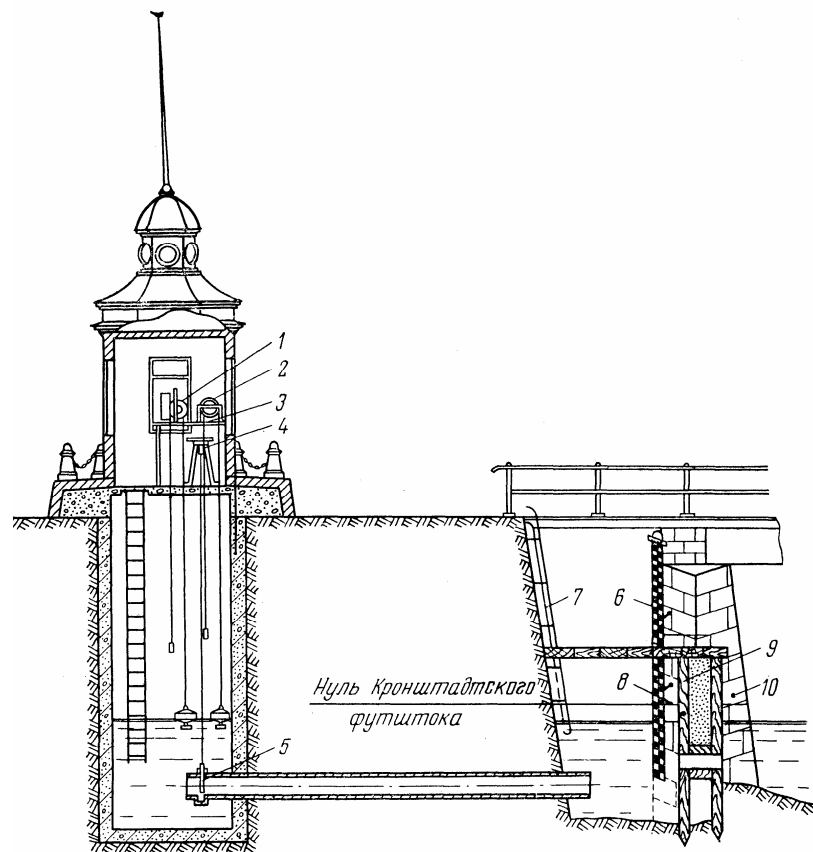


Рис. 6.17. Кронштадтский футшток, принятый за начало счета высот

**Геометрическое нивелирование, или нивелирование горизонтальным лучом,** выполняют специальным геодезическим прибором – нивелиром и нивелирными рейками, на которых нанесена измерительная шкала в единицах длины (по сути нивелирная рейка представляет собой длинную измерительную линейку – рис. 6.21, б и 6.25); отличительная особенность нивелира состоит в том, что визирная линия трубы во время работы приводится в горизонтальное положение.

Различают два вида геометрического нивелирования: **нивелирование из середины** и **нивелирование вперед.**

При нивелировании из середины нивелир устанавливают посередине между точками *A* и *B*, а на точках *A* и *B* ставят рейки с делениями (рис.

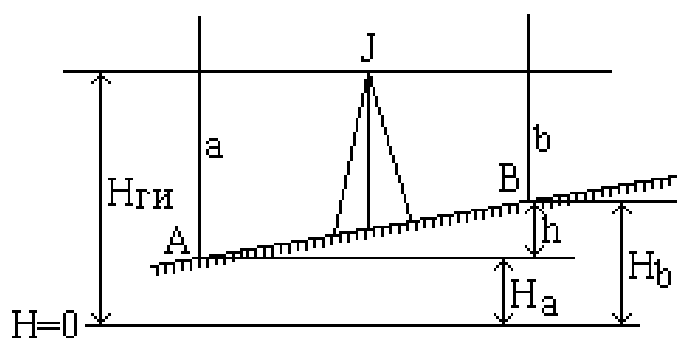


6.18, а). При движении от точки  $A$  к точке  $B$  рейка в точке  $A$  называется задней, рейка в точке  $B$  – передней. Сначала наводят трубу на заднюю рейку и берут отсчет  $a$ , затем наводят трубу на переднюю рейку и берут отсчет  $b$ . Превышение точки  $B$  относительно точки  $A$  получают по формуле

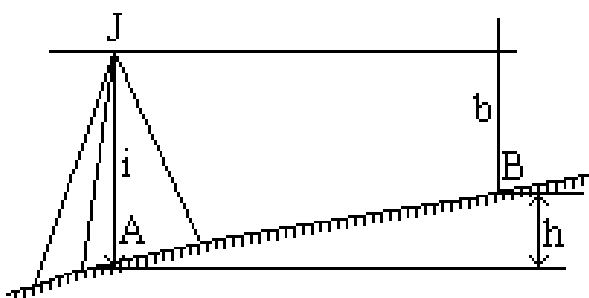
$$h = a - b. \quad (6.21)$$

Если  $a > b$ , превышение положительное, если  $a < b$  – отрицательное. Отметка точки  $B$  вычисляется по формуле

$$H_B = H_a + h. \quad (6.22)$$



а



б

Рис. 6.18. Геометрическое нивелирование:  
а – способ нивелирования из середины; б – способ нивелирования вперед

При нивелировании вперед (см. рис. 6.18, б) нивелир устанавливают над точкой  $A$  так, чтобы окуляр трубы был на одной отвесной линии с точкой. На точку  $B$  ставят рейку. Измеряют высоту нивелира  $i$  над точкой  $A$  и берут отсчет  $b$  по рейке (см. рис. 6.18, б). Превышение  $h$  подсчитывают как

$$h = i - b. \quad (6.23)$$

Отметку точки  $B$  можно вычислить через превышение по формуле (6.22) или через горизонт инструмента:

$$H_B = H_{ГИ} - b. \quad (6.24)$$

Отметка горизонта инструмента  $H_{ГИ}$  вычисляется для способа нивелирования из середины и способа нивелирования вперед соответственно по следующим формулам:

$$\begin{aligned} H_{ГИ} &= H_a + a; \\ H_{ГИ} &= H_a + i. \end{aligned} \quad (6.25)$$

Если точки  $A$  и  $B$  находятся на большом расстоянии одна от другой и превышение между ними нельзя измерить с одной установки нивелира, то на линии  $AB$  намечают промежуточные точки 1, 2, 3 и т.д. и измеряют превышение по частям (рис. 6.19) путем проложения **нивелирного хода** (рис. 6.20).

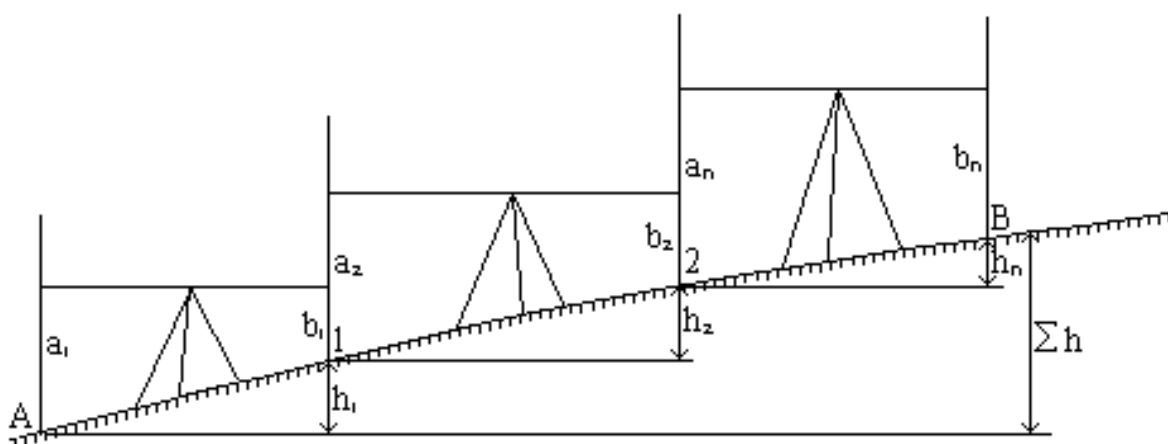


Рис. 6.19. Схема проложения нивелирного хода

На первом участке  $A-1$  берут отсчеты по задней рейке –  $a_1$  и по передней –  $b_1$ . Затем переносят нивелир в середину второго участка, а рейку с точки  $A$  переносят в точку 2; берут отсчеты по рейкам: по задней –  $a_2$  и по передней –  $b_2$ . Эти действия повторяют до конца линии  $AB$ . Точки, позволяющие связать горизонты прибора (отметка визирного луча нивелира относительно исходной уровенной поверхности) на соседних установках нивелира, называются связующими; на этих точках отсчеты берут два раза – сначала по передней рейке, а затем по задней.

Превышение на каждой установке нивелира, называемой станцией, вычисляют по формуле (6.21), а превышение между точками  $A$  и  $B$  будет равно

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 = \sum h = \sum(a - b). \quad (6.26)$$

Отметка точки  $B$  получится по формуле

$$H_B = H_A + \sum h. \quad (6.27)$$



Рис. 6.20. Проложение нивелирного хода на местности

#### **6.4.2. Нивелиры: классификация, устройство, проверки, исследования**

Согласно ГОСТу нивелиры делятся на высокоточные (с ошибкой измерения превышения не более 0,5 мм на 1 км хода), точные (3 мм на 1 км хода) и технические (10 мм на 1 км хода).

По способам приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение нивелиры делятся на уровенные и с компенсатором. При наличии компенсатора в названии нивелира добавляется буква К, например, Н-3К. У нивелиров Н-3 и Н-10 допускается наличие горизонтального лимба; в этом случае в шифре нивелира добавляется буква Л, например, Н-10Л.

Нивелир с уровнем при трубе Н-3 изображен на рис. 6.21.

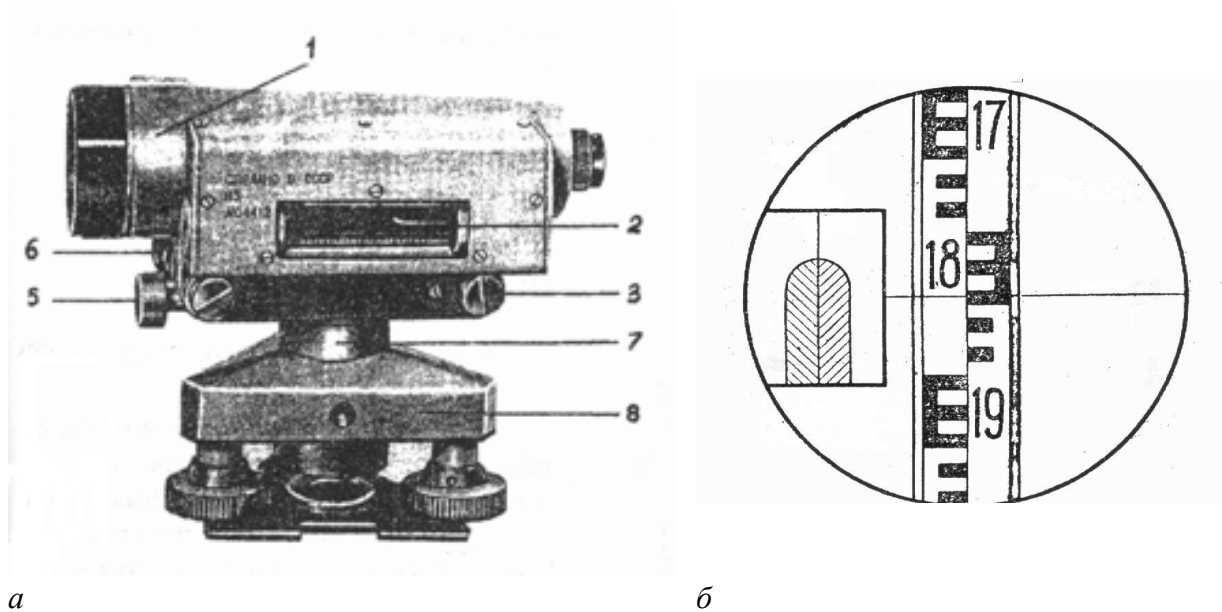


Рис. 6.21. Нивелир Н-3:

*a* – устройство:

1 – зрительная труба; 2 – контактный цилиндрический уровень при трубе; 3 – элевационный винт; 4 – установочный круглый уровень; 5, 6 – закрепительный и микрометрический винты азимутального вращения; 7 – ось нивелира; 8 – подставка с тремя подъемными винтами;

*б* – поле зрения:

изображение пузырька контактного цилиндрического уровня выведено в поле зрения трубы; в момент отсчета по рейке концы пузырька уровня должны отображаться в виде параболы. Нивелир Н-3 имеет обратное изображение.

Отсчет по рейке на рис. 6.20, *б* равен 1843

Элевационный винт служит для приведения визирной линии трубы в горизонтальное положение. С его помощью поднимают или опускают окулярный конец трубы; при этом пузырек уровня перемещается и когда он будет точно в нуль-пункте, визирная линия должна устанавливаться горизонтально.

Цилиндрический уровень обычно контактный; изображение контактов пузырька передается системой призм в поле зрения трубы, что очень удобно, т.к. наблюдатель видит сразу и рейку, и уровень (рис. 6.21, *б*).

### **Проверки нивелира с уровнем при трубе**

Нивелир, как и теодолит, имеет геометрические оси (рис. 6.21), к взаимному расположению которых предъявляют определенные требования:

**1. Вертикальная ось круглого установочного уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $Z_3Z_4 \parallel Z_1Z_2$ ).**

**2. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира, т.е. быть горизонтальной.**

**3. Ось цилиндрического уровня  $U_1U_2$  и визирная ось трубы  $V_1V_2$  должны быть параллельны и лежать в параллельных вертикальных плоскостях.**

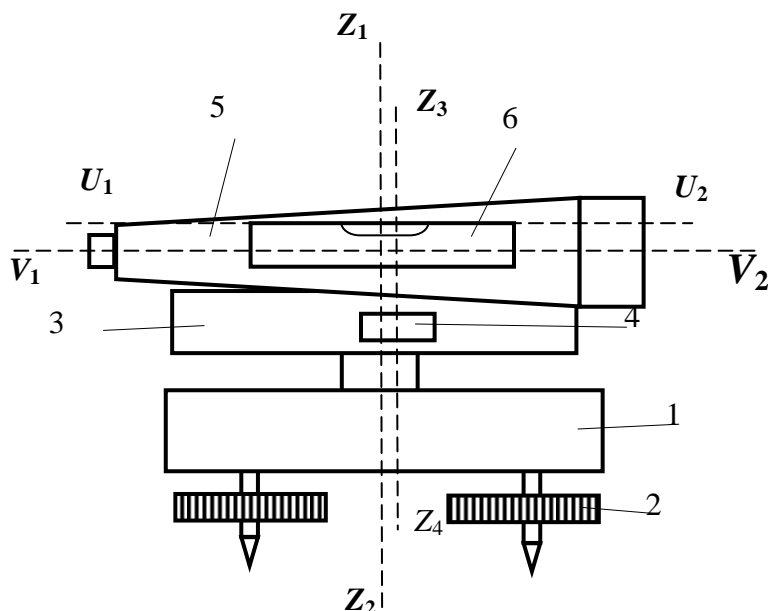


Рис. 6.22. Расположение геометрических осей уровневого нивелира:  
 $Z_1Z_2$  – вертикальная ось вращения прибора;  $Z_3Z_4$  – вертикальная ось круглого уровня;  
 $V_1V_2$  – визирная ось зрительной трубы;  $U_1U_2$  – горизонтальная ось цилиндрического уровня

Сформулированные требования составляют содержание трех основных проверок нивелира.

**1-ую проверку, или проверку круглого уровня,** выполняют аналогично проверке уровня в теодолите, т.е. следующим образом:

- устанавливают зрительную трубу нивелира по направлению двух подъемных винтов и, действуя этими винтами, выводят пузырек круглого уровня на середину;
- поворачивают нивелир на  $180^\circ$  и смотрят за поведением пузырька уровня:

если он находится в пределах ограничительного кружка, то уровень в юстировке не нуждается. В противном случае уровень юстируют: половину отклонения – с помощью подъемных винтов, половину – юстировочными винтами круглого уровня.

**2-ая проверка горизонтальности горизонтальной нити сетки нитей** выполняется по следующей методике.

Рейку ставят в 30 – 40 м от нивелира и закрепляют ее, чтобы она не качалась. Затем берут отсчеты по рейке при трех положениях ее изображе-

ния: в центре поля зрения, слева от центра и справа. Если отсчеты отличаются один от другого более чем на 1 мм, то сетку нитей нужно развернуть.

Предполагая, что нити сетки строго перпендикулярны, можно проверить **вертикальность вертикальной нити**. Для этого в 20 м от нивелира подвешивают отвес, наводят на него трубу и проверяют совпадение вертикальной нити сетки с нитью отвеса.

**3-я поверка** составляет содержание поверки главного условия нивелира. Поэтому рассмотрим ее отдельно.

### **Поверка главного условия или проверка правильности установки цилиндрического уровня при трубе**

Главное условие нивелира с уровнем при трубе: ось цилиндрического уровня  $U_1U_2$  и визирная ось трубы  $V_1V_2$  должны быть параллельны и лежать в параллельных вертикальных плоскостях.

#### **Выполнение:**

Поверку правильности установки цилиндрического уровня выполняют в два последовательных этапа:

а) **отвесная плоскость, проходящая через ось цилиндрического уровня, должна быть параллельна отвесной плоскости, проходящей через визирную ось зрительной трубы;**

б) **проекция на отвесную плоскость угла непараллельности  $i$  между осью цилиндрического уровня и визирной осью трубы должна быть не более установленной величины (по инструкции – 20'') (определение угла  $i$ ).**

Для проверки первого условия нивелир устанавливают в 50 м от рейки, при этом один подъемный винт подставки должен быть направлен в сторону рейки, два других – перпендикулярно направлению на рейку. Приводят нивелир в рабочее положение, берут отсчет. Далее двумя подъемными винтами (перпендикулярными направлению на рейку) дают боковой наклон оси прибора (примерно на два полных оборота винта), следя при этом, чтобы отсчет по рейке не изменялся, и отмечают положение концов пузырька уровня. Те же операции необходимо проделать при боковом наклоне оси в противоположную сторону. Если в обоих случаях концы пузырька уровня остаются в совмещенном положении или смещаются в обоих случаях в одинаковом направлении, установка уровня считается правильной.

2-ую часть поверки главного условия нивелира, заключающуюся в определении угла  $i$ , можно выполнить двумя способами:

- нивелированием вперед;
- нивелированием из середины в сочетании с нивелированием вперед.

### Способ определения угла $i$ нивелированием вперед

1. Разбивают базис на ровной местности длиной 50 м и обозначают костылями или деревянными колышками с гвоздиками (1-2 на рис. 6.23).
2. В точке 1 базиса устанавливают нивелир, в точке 2 на костыль или гвоздь на колышке – нивелирную рейку (рис. 6.23, б).
3. Берут отсчет  $b'$ . Измеряют высоту нивелира  $v_1$ .

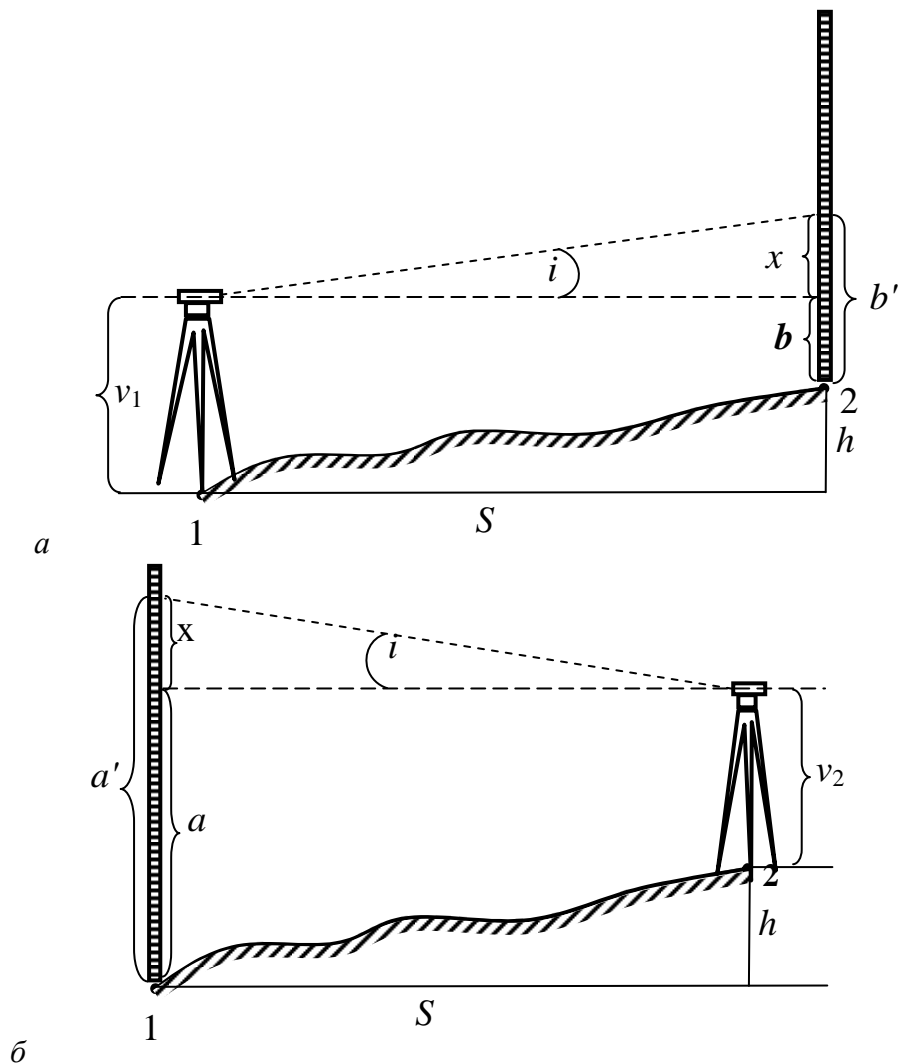


Рис. 6.23. Определение угла  $i$  способом нивелирования вперед:

$S$  – длина базиса,  $v_1, v_2$  – высоты нивелира;  $x$  – влияние угла  $i$  на отсчет по рейке;  $a, a', b, b'$  – истинные и фактические отсчеты по рейкам при двух установках нивелира и рейки;  $h$  – превышение  $e$  между концами базиса

4. Меняют нивелир и рейку местами и после приведения нивелира и рейки в рабочее положение берут отсчет  $a'$ . Измеряют высоту нивелира  $v_2$ .

Вычисление угла  $i$  и его влияние на отсчет по рейке  $x$  ясно из следующих формул для обозначений, приведенных под рис. 6.23:

1) вычисление превышения  $h$  из первой постановки нивелира и рейки (рис. 6.23, а):

$$h = v_1 - b = v_1 - b' + x; \quad (6.28)$$

2) вычисление превышения  $h$  из второй постановки нивелира и рейки (рис. 6.23, б):

$$h = a - v_2 = a' - x - v_2; \quad (6.29)$$

3) определение  $x$  и  $i$ :

$$v_1 - b' + x = a' - x - v_2,$$

$$x = \frac{v_1 - b'}{2} + \frac{v_2 - a'}{2} = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{a' + b'}{2}, \quad (6.30)$$

$$x_{\text{дон.}} = \pm 4 \text{ мм}; i'' = \frac{x}{S} \cdot \rho'' . \quad (6.31)$$

**Определение угла  $i$  способом из середины в сочетании с нивелированием вперед** (рис. 6.24)

**Методика определения:**

– устанавливаем нивелир строго посередине базиса и берем отсчеты по рейкам ( $a'$ ,  $b'$ );

– вычисляем превышение  $h_1$ , которое будет свободно от влияния угла  $i$ :

$$h_1 = a' - b' = a + x - b - x = a - b, \quad (6.32)$$

где  $a$ ,  $b$  – истинные отсчеты по рейкам при установке нивелира строго посередине (рис. 6.24, а);

$x = L \cdot \text{tg } i$  – влияние угла  $i$  рейке, которое будет одинаково на заднюю и переднюю рейки при положении нивелира посередине между ними.

– устанавливаем нивелир вблизи задней рейки и берем отсчеты по рейкам ( $a, b'$ ); влияние угла  $i$  на отсчет близко расположенной задней рейки будет практически равно 0, тогда как отсчет по дальней передней рейке не будет свободен от влияния угла  $i$ . Поэтому и превышение  $h_2$  будет искажено на  $x$  (влияние угла  $i$  на отсчет по дальней рейке):

$$h_2 = a - b + x. \quad (6.33)$$

Сравнивая (6.32) и (6.33), запишем

$$x = h_1 - h_2. \quad (6.34)$$



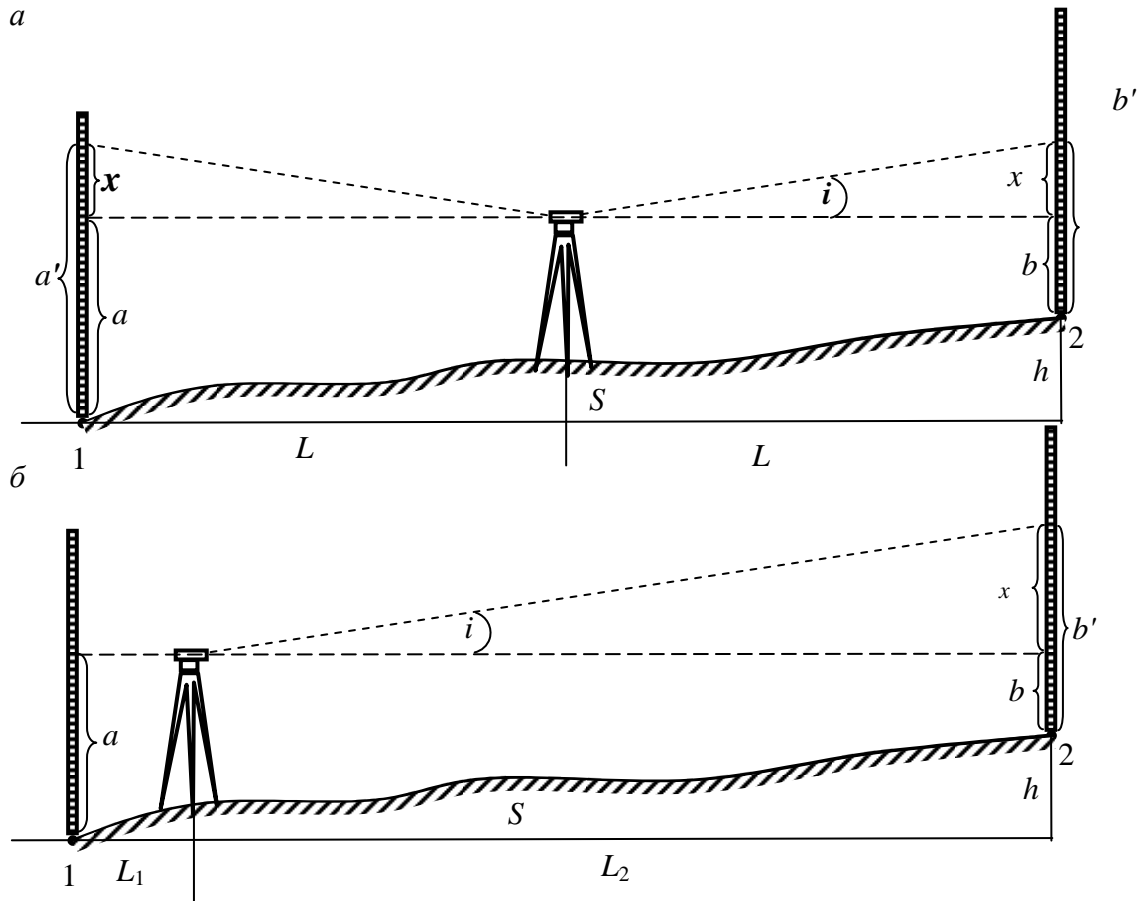


Рис. 6.24. Определение угла  $i$  способом нивелирования из середины (а) в сочетании с нивелированием вперед (б)

Допуск на  $x$  и определение угла  $i$  как и в предыдущем случае устанавливается (6.31). Если допуск не соблюден и  $x$  больше 4 мм, то выполняем исправление угла  $i$ .

#### Методика исправления угла $i$ :

1) устанавливают по нивелиру правильный отсчет с помощью элевационного винта:

$$a = a' - x \text{ (способ 1)}$$

или

$$b = b' - x \text{ (способ 2),}$$

где  $a'$  – отсчет по дальней рейке (см. рис. 6.23, б);

$b'$  – отсчет по дальней рейке (см. рис. 6.24, б);

2) исправительными винтами цилиндрического уровня выводят пузырек на середину.

#### 6.4.3. Нивелирные рейки

Изготовление реек регламентирует ГОСТ 11158-76. Типы реек по ГОСТу соответствуют типам нивелиров. Рейка нивелирная РН-05 односто-

ронная, штриховая с инварной полосой применяется для измерения превышений с точностью 0,5 мм на 1 км хода. Рейка нивелирная РН-3 деревянная, двухсторонняя, шашечная применяется для измерения превышений с точностью 3 мм на 1 км хода. Рейка нивелирная РН-10 деревянная, двухсторонняя, шашечная применяется для измерения превышений с точностью 10 мм на 1 км хода (рис. 6.25). Длина реек бывает различной: 1 200, 1 500, 3 000 и 4 000 мм. У складных реек в шифр добавляется буква С, например, РН-10С.

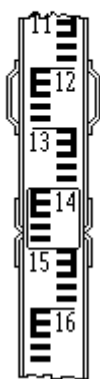


Рис. 6.25. Шашечная двухсторонняя нивелирная рейка РН10

Шашечные рейки изготавливаются из высушенной перво- сортной ели; допускается изготовление реек из пластмасс, метал- лов и сплавов, если при этом выполняются требования ГОСТа на массу рейки, на температуру ее использования и т.п. Перед по- краской рейку пропитывают водоотталкивающим составом и грунтуют; де- ления в виде шашечек наносят черной краской на одну сторону рейки и крас- ной краской на другую. Дециметровые деления подписывают.

На нижнюю часть рейки крепится металлическая пластина, называе- мая пяткой рейки.

Для установки рейки в отвесное положение на ней имеется круглый уровень или отвес.

На штриховых односторонних рейках деления наносят на инварную ленточную полосу, которая натягивается вдоль деревянного бруска при по- мощи специального устройства. Деления в виде штрихов наносят через 5 мм.

Для определения пригодности нивелирных реек к работе выполняют их поверочные испытания.

### Отсчет по рейке с помощью нивелира

Двухсторонние шашечные рейки имеют на одной стороне поочеред- но черные и белые шашки (черная сторона), а на другой стороне – красные и белые (красная сторона). Цена наименьшего деления шкалы рейки (шаш- ки) 1 см. Дециметровые деления рейки оцифрованы.

На черных сторонах реек нуль делений обычно совпадает с пяткой рейки. На красных сторонах реек с пяткой совпадает отсчет, равный 4685 мм или 4785.

Разность отсчетов по двум сторонам одной и той же рейки – постоянная величина, называемая **пяточной разностью**.

**Отсчет по рейке с помощью нивелира Н-3 берется в следующем порядке:**

1. Наводят зрительную трубу нивелира на рейку, совмещая вертикальную нить сетки с осью рейки. Фокусируют изображение рейки и сетки нитей.

2. Элевационным винтом совмещают изображение концов пузырька цилиндрического уровня.

3. В момент совмещения концов пузырька уровня берут отсчет по рейке по средней горизонтальной нити с точностью до 1 мм.

Следует учитывать, что у **нивелира Н-3 обратное изображение и деления в поле зрения прибора будут нарастать сверху вниз**.

### **Поверки и исследования реек**

1. Поверхность рейки должна быть плоской. Уклонение от плоскости по ГОСТу допускается 3 мм для РН-05, 6 мм для РН-3 и 10 мм для РН-10.

**Методика:** вдоль рейки натягивают нитку и просвет между ниткой и рейкой измеряют в самом широком месте, который не должен превышать допуска.

2. Случайная ошибка в положении дециметровых и метровых делений не должна превышать 0,15 мм для штриховых инварных реек и 0.5 мм для деревянных шашечных реек. Это исследование выполняют с помощью специальной контрольной линейки или на компараторе путем измерения дециметровых интервалов рейки контрольной линейкой или на компараторе.

3. Исследование разности пяток или разности нулей рейки.

Это исследование выполняют путем взятия отсчетов по черной и красной сторонам рейки, стоящей на одной и той же точке.

4. Поверка круглого уровня рейки выполняется либо по отвесу, либо по вертикальной нити сетки нитей нивелира. Отвес укрепляют прямо на рейку и устанавливают ее отвесно, при этом пузырек уровня должен находиться в нуль-пункте. В противном случае исправительными винтами уровня пузырек приводят в нуль-пункт.

#### **6.4.4. Источники ошибок при геометрическом нивелировании**

Ошибки геометрического нивелирования делятся на инструментальные, за счет влияния внешних условий и личные. Приведем основные из них для нивелирования технического класса точности.

1. Нарушение главного условия нивелира или ошибка установки визирной линии трубы в горизонтальное положение по уровню.

Методически это влияние уменьшается соблюдением допуска на угол  $i$  и производством нивелирования способом из середины.

2. Ошибка отсчета из-за ограниченной разрешающей способности трубы нивелира; при увеличении  $V = 25\times$  эта ошибка достигает 1,2 мм на 100 м расстояния.

3. Наклон рейки.

Для уменьшения влияния наклона рейки ее рекомендуется слегка покачивать вперед-назад около вертикального положения; при отсчетах меньше 1000 мм рейку качать нельзя. При покачивании рейки отсчеты по ней изменяются; наименьший отсчет является правильным.

4. Ошибка нанесения делений на рейке.

Перед нивелированием рейку следует исследовать с помощью контрольной линейки.

Общая ошибка отсчета по шашечной рейке нивелиром Н-3 оценивается в 4 мм на 100 м расстояния.

#### **6.4.5. Техническое нивелирование.**

##### **Полевые и камеральные работы**

По точности измерения превышений различают нивелирование I, II, III, IV классов и техническое. При техническом нивелировании предельная ошибка измерения превышения на 1 км хода не должна превышать 50 мм; это соответствует средней квадратической ошибке 20 мм на 1 км хода. Для нивелирования I, II, III и IV классов средняя квадратическая ошибка измерения превышения на 1 км хода равна 0,8 мм, 2,0 мм, 5 мм и 10 мм соответственно.

Ходы технического нивелирования прокладывают между реперами с известными отметками (реперами нивелирования I, II, III, IV классов) по различным схемам (рис. 6.26); допустимая длина хода зависит от его формы. Так, длина разомкнутого (рис. 6.26, *a*) или замкнутого (рис. 6.26, *б*) хода может достигать 16 км; длина висячего хода (рис. 6.26, *в*) не должна превышать 8 км. В разомкнутом и замкнутом ходах нивелирование выполняют один раз, т.е. только в одном направлении, в висячем ходе – два раза: в прямом и обратном направлениях. При проектировании ходов следует выбирать наиболее удобные для нивелирования пути: дороги, просеки в лесу, берега рек, участки с небольшим уклоном и твердым грунтом.

Часть хода между двумя соседними реперами, закрепленными на местности, называется секцией (*A-1, 1-2 ...*). Длину секции ( $l_i$ ) определяют суммированием расстояний от нивелира до реек, которые можно измерять по нитяному дальномеру или шагами. Превышения по секции ( $h_i$ ) получа-

ют как суммы превышений на станциях секции. Станция (рис. 6.26) – это единичная постановка нивелира и реек для определения превышения между рейками. Работа на станции при определении превышения по ходу технического нивелирования (рис. 6.27) следующая:

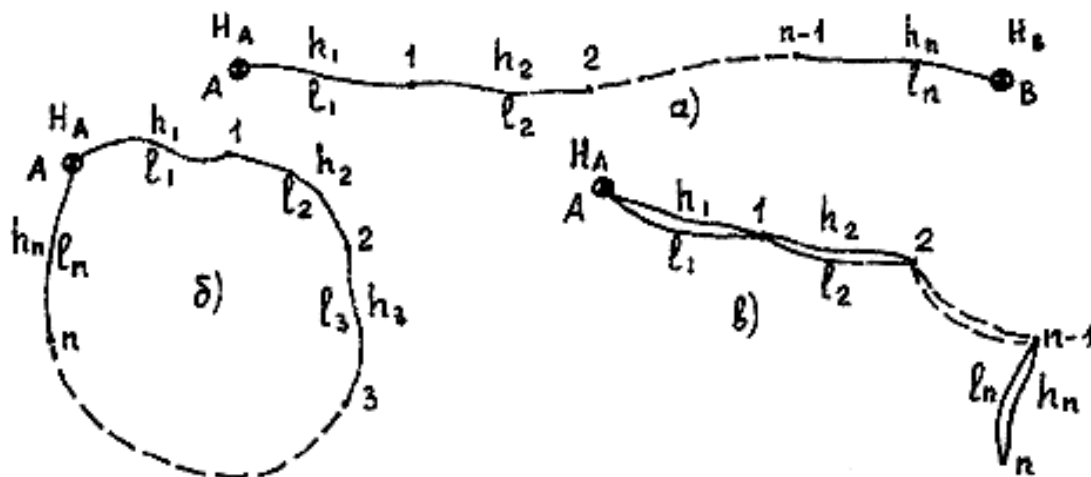


Рис. 6.26. Схемы ходов технического нивелирования:  
*a* – разомкнутый ход, опирающийся на 2 исходных пункта (*A*, *B*);  
*б* – замкнутый ход (исходный пункт *A*); *в* – висячий ход (исходный пункт *A*)

1. Устанавливаем нивелир и рейки в рабочее положение (нивелир посередине между рейками с точностью не хуже 5 м, выводим пузырек круглого уровня на середину; рейки устанавливаем на колышки 1 (задняя) и 2 (передняя)).

2. Наводим нивелир на черную сторону задней рейки, элевационным винтом выводим пузырек контактного цилиндрического уровня на середину (см. рис. 6.21, *б*) и берем отсчеты по средней нити рейки (отсчет (1) в табл.-журнале 6.2) и дальномерным нитям .

3. Наведя нивелир на переднюю рейку, берем отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки (отсчеты (2), (3) в табл.-журнале 6.2. По черной стороне – в соответствии с п. 2, по красной – без взятия отсчетов по дальномерным нитям).

4. Наводим нивелир на красную сторону передней рейки, выводим пузырек контактного цилиндрического уровня на середину и берем отсчет по средней нити (отсчет (4) в табл.-журнале 6.2).

5. Контроль нивелирования на станции и вычисления:

– определяем пяточную разность по каждой рейке ( $(4) - (1) = 4782$  для задней рейки и  $(3) - (2) = 4785$  для передней рейки) и сравниваем с указанной в паспорте разностью пяток реек для рабочего комплекта (4785). Отличие полученных разностей пяток от паспортной не должно быть более 4 мм.

– вычисляем превышения  $h = 3 - \Pi$  по отсчетам по черной и красной сторонам реек ( $h_{ч.} = (1) - (2) = (5)$ ;  $h_{кр.} = (4) - (3) = (6)$ ). Если допуск выдержан, т.е.  $(h_{ч.} - h_{кр.}) \leq 4$  мм, то выводим среднее превышение на станции (7).

Полевые работы при нивелировании заключаются в проложении нивелирных ходов по вышеизложенной методике и с соблюдением необходимых допусков.

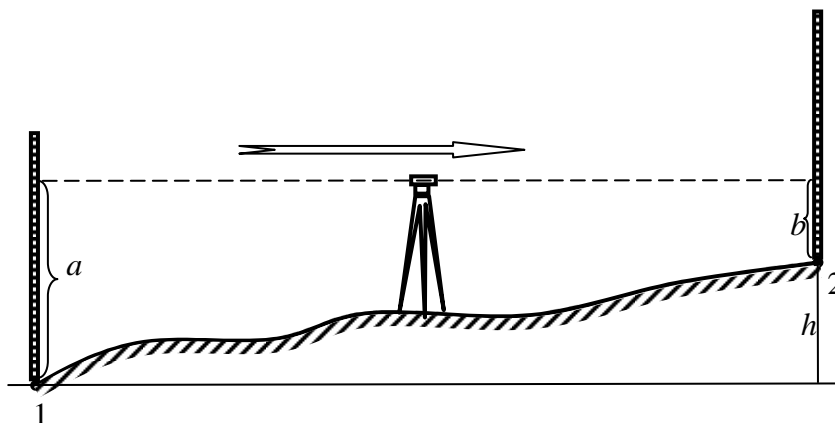


Рис. 6.27. Работа на станции при определении превышений

Таблица 6.2

### Журнал измерения превышений

станция	точка наведения	Отсчеты, мм		Превышение, м	Среднее превышение, м	Отметки, м
		задний	передний			
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1437(1)		1.173 (5)	1.172 (7)	<b>117.452</b>
		6219(4)				
	4782					
		0264 (2)	1.170 (6)			
2		5049 (3)				
		4785				118.624

$$(h_{ч.} - h_{кр.}) \leq 4 \text{ мм}$$

После выполнения полевых работ по проложению нивелирного хода приступают к камеральным работам, которые заключаются в проверке полевого журнала нивелирования и в вычислении отметок реперов нивелирного хода. Рассмотрим вычисление отметок реперов на примере разомкнутого хода технического нивелирования.

### Вычисление отметок реперов разомкнутого хода технического нивелирования

Порядок вычисления отметок разберем на примере нивелирного хода, приведенного на рис. 6.28.

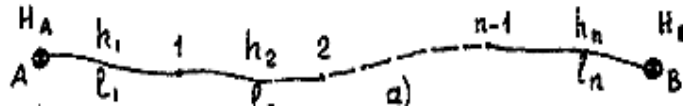


Рис. 6.28. Нивелирный ход, опирающийся на два исходных репера:  
 $H_A, H_B$  – исходные отметки реперов  $A, B$  (взяты из нивелирных каталогов).

1, 2 ...  $n - 1$  – номера реперов или точек нивелирного хода, отметки которых требуется определить

Введем обозначения:

$n$  – количество секций (количество измеренных превышений);  
 $h_i$  – измеренное превышение по  $i$ -той секции в м;  $l_i$  – длина  $i$ -той секции в км;  
 $L$  – длина хода ( $L = \sum l_i$ );  $k_i$  – количество станций в  $i$ -той секции,  
 $K$  – количество станций в ходе ( $K = \sum k_i$ );  $H_A$  – известная отметка исходного репера в начале хода;  $H_B$  – известная отметка исходного репера в конце хода.

В соответствии со схемой, данной на рис. 6.28, количество реперов с неизвестными отметками равно  $(n - 1)$ , а число измеренных превышений  $n$ , т.е. в ходе имеется одно избыточное измерение, которое порождает одно геометрическое условие, и, следовательно, вычисление отметок необходимо выполнять методом уравнивания, которое выполним в следующей последовательности.

1. Вычислим по последовательной схеме отметки всех реперов хода по измеренным превышениям.

$$\begin{aligned} H_1 &= H_A + h_1, & H_2 &= H_1 + h_2, & H_3 &= H_2 + h_3, \\ H_{n-1} &= H_{n-2} + h_{n-1}, \\ H_B &= H_{n-1} + h_n. \end{aligned} \quad (6.35)$$

Сложим эти уравнения и получим:

$$\begin{aligned} (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_{n-1}) + H_B &= \\ = H_A + (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_{n-1}) + \sum_1^n h_i \end{aligned}$$

или

$$H_B = H_A + \sum_1^n h_i,$$

откуда

$$\sum_1^n h_i = H_B - H_A. \quad (6.36)$$

Из (6.36) следует условие **разомкнутого нивелирного хода**: сумма измеренных превышений по секциям в ходе должна быть равна разности отме-

ток конечного и начального исходных реперов (**теоретическая сумма**). Если это условие не соблюдается, то возникает невязка нивелирного хода  $f_h$ .

2. Вычисление невязки нивелирного хода и сравнение ее с допустимой.

$$f_h = \sum_1^n h_i - (H_B - H_A). \quad (6.37)$$

Невязка нивелирного хода характеризует нарушение условия (6.33) вследствие ошибок измерений:

$$f_{h \text{ доп.}} = 50 \text{ мм} * \sqrt{L_{\text{км}}} \quad (6.38)$$

или

$$f_{h \text{ доп.}} = 10 \text{ мм} * \sqrt{K}. \quad (6.39)$$

При  $f_h < f_{h \text{ доп.}}$  вычисляют поправки в измеренные превышения:

$$V_{h_i} = -\frac{f_h}{L} * l_i. \quad (6.40)$$

**Контроль:**

$$\sum V_{h_i} = -f_h. \quad (6.41)$$

3. Введение поправок в измеренные превышения (вычисление исправленных значений превышений)

$$h_{\text{исп.}} = h_i + V_{h_i}. \quad (6.42)$$

4. Вычисление окончательных отметок реперов хода по исправленным превышениям.

**Заключительный контроль:**

$$H_{B \text{ пол.}} = H_B.$$

#### 6.4.6. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование называют также геодезическим, или нивелированием наклонным лучом. Оно выполняется теодолитом; для определения превышения между двумя точками нужно измерить угол наклона и расстояние. В точке 1 (рис. 6.29) устанавливают теодолит, в точке 2 – рейку. Измеряют угол наклона зрительной трубы теодолита при наведении ее на штрих рейки и расстояние от нивелира до рейки.

Как и в случае геометрического нивелирования нам требуется определить превышение  $h$  между точками 1 и 2. Из рис. 6.29 следует, что

$$i + h' = h + V. \quad (6.43)$$



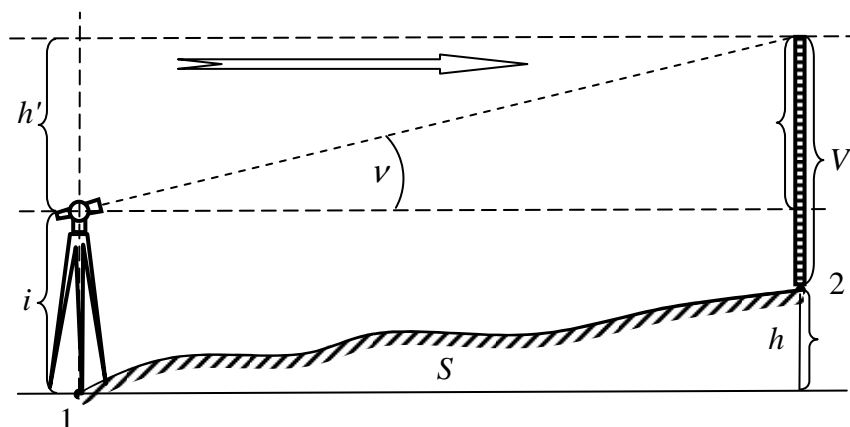


Рис. 6.29. Тригонометрическое нивелирование (способ вперед):  
 $i$  – высота теодолита;  $V$  – высота наведения на рейке;  $v$  – угол наклона между горизонтом визирной оси теодолита и штрихом наведения на рейке;  $S$  – горизонтальное проложение между точками 1 и 2

Учитывая, что в соответствии с тригонометрическими соотношениями для прямоугольного треугольника  $h' = S \cdot \operatorname{tg}(v)$ , запишем:

$$h = S \operatorname{tg}(v) + i - V. \quad (6.44)$$

Формула (6.44) – **основная формула тригонометрического нивелирования**. Превышения при тригонометрическом способе нивелирования получают дважды, в прямом и обратном направлении. Если расхождение не более 4 см, то берут среднее, которое и является окончательным результатом.

При разного рода съемочных работах расстояние между точками может определяться встроенным в теодолит нитяным дальномером. В этом случае расстояние  $S$  будет равно

$$S = D' \cdot \cos^2(v), \quad (6.45)$$

где  $D'$  – наклонное расстояние, полученное по нитяному дальномеру.

Формула (6.44) для этого случая будет иметь следующий вид:

$$h = D' \cdot \cos^2(v) \cdot \operatorname{tg}(v) + i - V = 0,5 D' \cdot \sin(2v) + i - V. \quad (6.46)$$

Заметим, что формулы (6.44) и (6.46) работают только для коротких расстояний, когда можно не учитывать влияние кривизны Земли и рефракции атмосферы. Для больших расстояний формула тригонометрического нивелирования будет иметь вид:

$$h = S \operatorname{tg}(v) + i - V + (1 - K) \cdot \frac{S^2}{2R}. \quad (6.47)$$

Последний член в формуле (6.47) есть поправка за кривизну Земли и рефракцию. В ней  $K$  – коэффициент рефракции,  $S$  – расстояние,  $R$  – радиус Земли.

### Способ тригонометрического нивелирования из середины

Тригонометрическое нивелирование можно выполнить и способом нивелирования из середины (рис. 6.30).

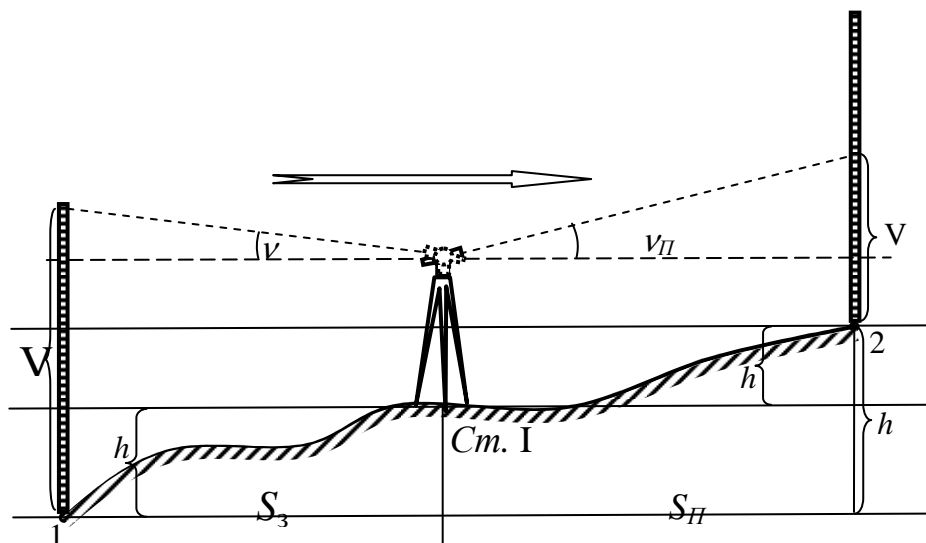


Рис. 6.30. Тригонометрическое нивелирование способом «из середины»:

$S_3$ ,  $S_{II}$  – расстояния от нивелира до задней и передней реек;  $V_3$ ,  $V_{II}$  – высоты визирования на заднюю и переднюю рейки;  $v_3$ ,  $v_{II}$  – углы наклона на заднюю и переднюю рейку между горизонтом теодолита и штрихами наведения реек;  $h$  – превышение между точками 1-2

Приведем в соответствии с обозначениями, данными на рисунке, формулы для этого случая.

Как известно, превышение между точками равно разности отметок этих точек, т.е.

$$h = H_2 - H_1. \quad (6.48)$$

Обозначив отметку точки стояния нивелира через  $H_H$ , запишем:

$$H_1 = H_H + S_3 \operatorname{tg}(v_3) + i - V_3$$

и  $H_2 = H_H + S_{II} \operatorname{tg}(v_{II}) + i - V_{II}.$  (6.49)

Тогда подставляя (6.49) в (6.48), получим

$$h = S_{II} \operatorname{tg}(v_{II}) - S_3 \operatorname{tg}(v_3) + (V_3 - V_{II}). \quad (6.50)$$

Напомним, что угол наклона для теодолита 2Т30 вычисляется по формулам

$$v = \text{КЛ} - \text{М0} = \text{М0} - \text{КП}, \quad (6.51)$$

где  $\text{М0} = (\text{КЛ} + \text{КП})/2$ .

#### 6.4.7. Понятие о гидростатическом нивелировании

Гидростатическое нивелирование выполняют с помощью сообщающихся сосудов, заполненных одной жидкостью. Жидкость устанавливается в обоих сосудах на одном уровне, т.е. на одной отметке.

В соответствии с рис. 6.31 превышение между точками равно

$$h = c_1 - c_2. \quad (6.52)$$

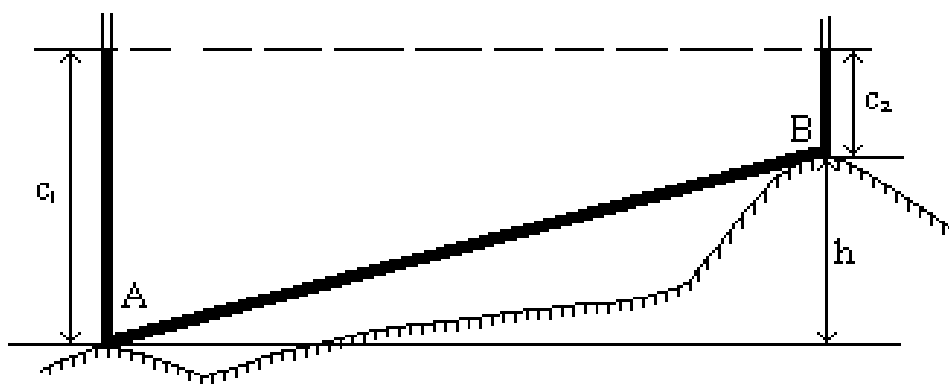


Рис. 6.31. Схема гидростатического нивелирования:

$A, B$  — точки расположения сообщающихся сосудов;  $c_1, c_2$  — высоты столбов жидкости в сосудах, установленных, соответственно, в точках  $A$  и  $B$ ;  $h$  — превышение между точками

Точность гидростатического нивелирования зависит от расстояния между сосудами, типа жидкости, диапазона измерения превышения, конструкции отсчетного устройства и других условий. Она может быть очень высокой; средняя квадратическая ошибка измерения превышения лучшими гидростатическими нивелирами достигает 5 – 10 мкм; диапазон измерения превышений при этом невелик — всего около 1 см. При расстоянии между сосудами до 500 м можно измерить превышение с ошибкой около 10 мм.

#### 6.4.8. Понятие о барометрическом нивелировании

Барометрическое нивелирование основано на зависимости атмосферного давления от высоты точки над уровнем моря. Известно, что с увеличением высоты на 10 м давление падает примерно на 1 мм ртутного столба.

Приближенное значение превышения между точками 1 и 2 можно вычислить по формуле

$$h = H_2 - H_1 = \Delta H * (P_1 - P_2), \quad (6.53)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давление в первой и во второй точках;

$\Delta H$  – барометрическая ступень; значения  $\Delta H$  выбирают из специальных таблиц.

Более точные формулы барометрического нивелирования получают, учитывая закономерности распределения плотности и температуры воздуха по высоте. Приведем полную формулу Лапласа:

$$h = K_0 * (1 + \alpha * t_m) * (1 + 0,378 e_m / P_m) * (1 + \beta * \cos 2\phi_m) * \\ * (1 + 2/R * H_m) * \lg(P_1 / P_2). \quad (6.54)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давление воздуха на высоте  $H_1$  и  $H_2$  соответственно;

$P_m$  – среднее значение давления;

$H_m$  – среднее значение высоты;

$t_m, e_m$  – среднее значение температуры и влажности воздуха;

$\phi_m$  – среднее значение широты;

$\alpha$  – температурный коэффициент объемного расширения воздуха (0,003665 град<sup>-1</sup>);

$\beta$  – коэффициент, равный 0,00265;

$K_0$  – коэффициент, равный 18 400 при некоторых стандартных значениях давления воздуха и силы тяжести.

Известны и так называемые сокращенные барометрические формулы, в которых значения некоторых параметров состояния атмосферы приняты фиксированными; так, в формуле М.В. Певцова:

$$h = N * (1 + \alpha * t_m) * \lg(P_1 / P_2), \quad (6.55)$$

где  $N = 18\,470$ ;

принято:

$$e_m = 9 \text{ мм рт.ст.};$$

$$\phi_m = 55^\circ;$$

$$H_m = 250 \text{ м};$$

$$P_m = 740 \text{ мм рт.ст.}$$

Точность барометрического нивелирования невысока; средняя квадратическая ошибка измерения превышения колеблется от 0,3 м в равнинных районах до 2 м и более в горных. Основные области применения барометрического нивелирования – геология и геофизика.

## 7. СОЗДАНИЕ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ СЪЕМОК

### 7.1. Понятие об опорных геодезических сетях как координатной основе при создании съемочного обоснования

Рассматривая задачи геодезии в прошлом семестре, мы включили в их перечень такие важные практические вопросы, как:

- распространение единой системы координат и высот на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом;
- изображение участков поверхности Земли на топографических картах и планах.

Ввиду того, что содержанием изучаемого нами раздела геодезии является, прежде всего, топография, т.е. съемка местности с целью ее изображения на картах и планах, попытаемся выяснить взаимосвязанность этих двух задач.

Топографические карты и планы должны быть составлены, а инженерные объекты построены в единой, принятой в государстве, системе координат и высот. В Беларуси в соответствии с указом президента РБ № 200 от 23.04.2007 г. в качестве государственной принята СК 95. Государственной высотной системой в Беларуси является Балтийская система высот.

Принятую систему координат определенным образом задают на земной поверхности путем установления исходных геодезических дат и для удобства пользования **распространяют** на территорию всего государства с помощью создания **опорных геодезических сетей**.

**Опорные геодезические сети представляют собой совокупность точек земной поверхности, закрепленных на местности долговременными центрами и отмеченных специальными опознавательными знаками, для которых известны плановое и высотное положения в принятых системах координат и высот.**

По геометрии различают **плановые, высотные и пространственные** сети.

Построение геодезических сетей, как правило, производится **по принципу от общего к частному**, согласно которому опорные сети делятся на классы (государственные сети), разряды (сети сгущения) и строятся поэтапно. При этом сначала создается сеть более редких пунктов высшего класса, служащих основой для дальнейшего поэтапного сгущения сети низшими классами. Развитие сети высшего класса позволяет в относитель-

но сжатые сроки распространить избранную систему координат на всю территорию государства и создать возможность развития сетей низших классов в отдельных районах, согласуя очередность работ с потребностями народного хозяйства страны.

Плановые сети, т.е. сети для определения плановых координат  $x$ ,  $y$ , создаются в виде системы треугольников (рис. 7.1).

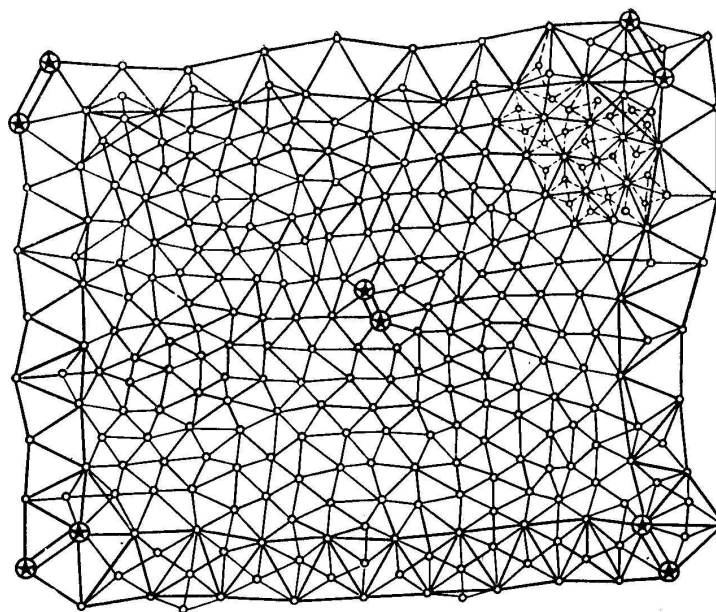


Рис. 7.1. Схема опорной геодезической плановой сети

Высотные опорные сети развиваются относительно для Кронштадтского футштока (начало счета в Балтийской системе высот) методом геометрического нивелирования и по схеме представляют собой нивелирные полигоны I, II, III и IV классов.

Пункты плановой и высотной опорных сетей закрепляют на местности долговременными железобетонными центрами (рис. 7.2), которые закладывают на глубину основания в несколько метров, как правило, ниже глубины промерзания грунта и обозначают специальными знаками (рис. 7.3).

### **Использование пунктов опорных геодезических сетей в решении различных народно-хозяйственных задач**

Пункты опорной сети распространяют единую систему координат и высот на территорию всей страны. Они закреплены на местности через несколько километров друг от друга, их координаты и высоты занесены в специальные каталоги координат и высот геодезических пунктов и явля-



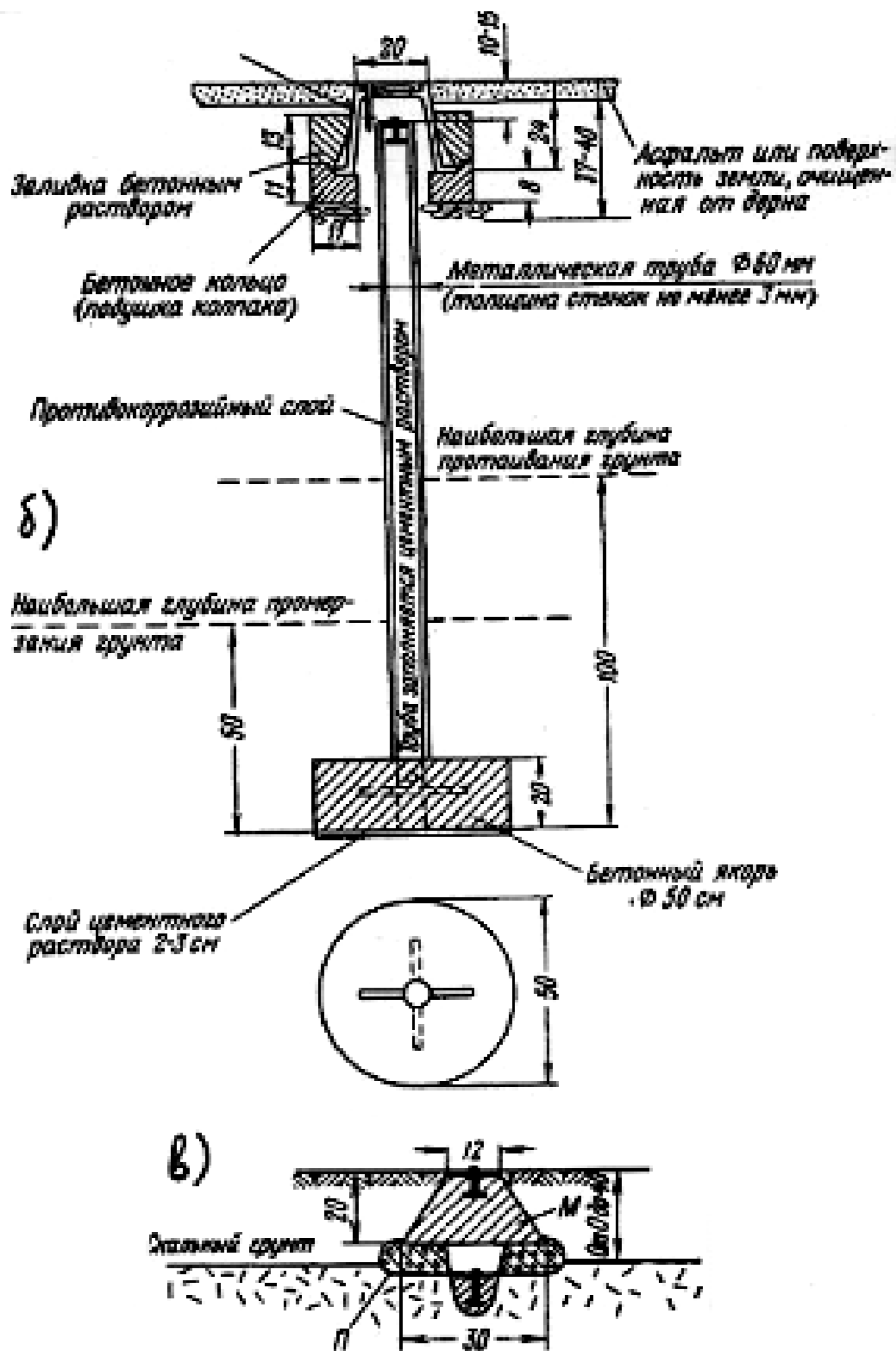


Рис. 7.2. Центры, закрепляющие на местности пункты плановой и высотной опорных геодезических сетей (окончание) (см. с. 119)



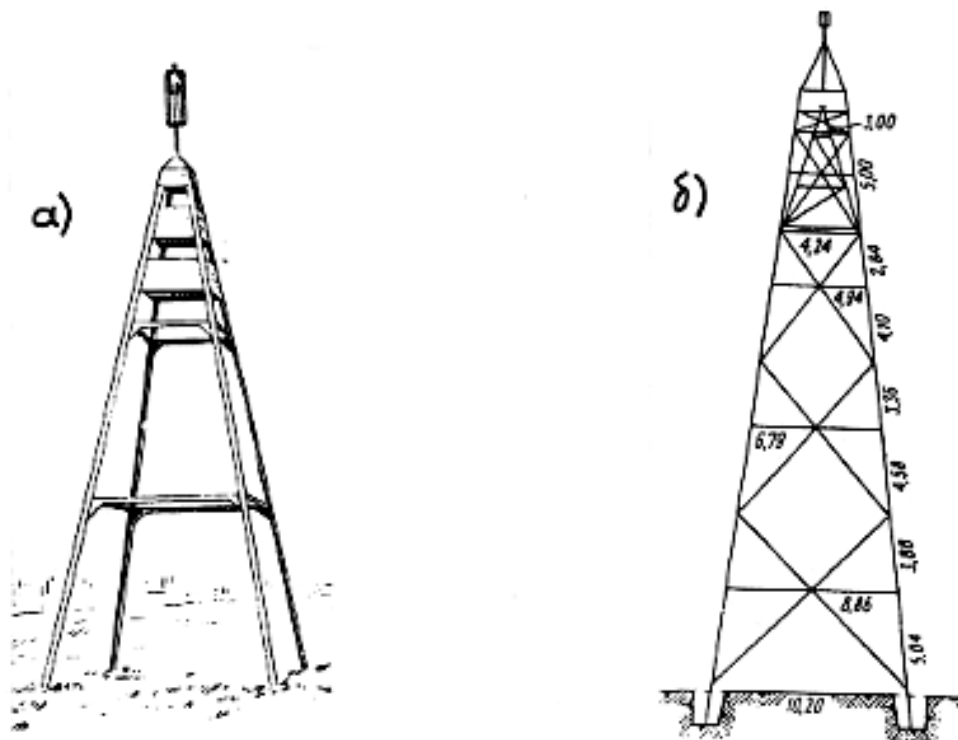


Рис. 7.3. Наружные опознавательные знаки над геодезическими центрами

## 7.2. Общие сведения о съёмочном обосновании и методах его создания

Съёмочное обоснование является непосредственной координатной основой для выполнения работ по съёмке местности. Его создают от пунктов опорных геодезических сетей (государственных и сетей сгущения) путем развития теодолитных, тахеометрических и высотных ходов, а также с помощью различных засечек. Виды и методы создания съёмочного обоснования приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Виды и методы создания съёмочного обоснования

Методы построения планового и высотного съёмочного обоснования:	
Плановое	Высотное
1. Теодолитный ход	1. Геометрическое техническое нивелирование
2. Тахеометрический ход	2. Тригонометрическое нивелирование
3. Геодезические засечки	

На время съёмки все точки ходов съёмочного обоснования закрепляют временными знаками (например, деревянными колышками с гвоздиками) и для них определяют координаты  $x$ ,  $y$ ,  $H$ . С этих точек в дальней-

шем и выполняется топографическая съемка местности, а также осуществляется координатная привязка объектов сооружений к пунктам опорных геодезических сетей.

По Инструкции средняя ошибка планового положения пунктов съёмочного обоснования допускается 0,1 мм в масштабе плана. Этот допуск определяется точностью графических построений.

Предельная ошибка планового положения пунктов съёмочного обоснования допускается 0,2 мм в масштабе плана или карты в открытой местности и 0,3 мм в масштабе карты в закрытой местности. При выполнении специальных съёмок допуск на эту ошибку может быть уменьшен.

Средняя ошибка пунктов высотного съёмочного обоснования допускается  $0,1 \cdot h$ , где  $h$  – высота сечения рельефа создаваемого плана или карты.

### 7.3. Создание планового съёмочного обоснования

В соответствии с табл. 7.1 плановое съёмочное обоснование создается с помощью теодолитных ходов, тахеометрических ходов и различных видов геодезических засечек. Все перечисленные способы связаны с понятием прямой и обратной геодезических задач на плоскости. Поэтому перед рассмотрением теодолитных ходов и засечек полезно ознакомиться с этими важными понятиями в геодезии.

#### 7.3.1. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости

Под **прямой геодезической задачей** понимают вычисление координат определяемого пункта по известным координатам исходного пункта, дирекционному углу  $\alpha$  и длине  $S$  линии, соединяющей эти пункты. Поясним это с помощью рис. 7.4.

На рис. 7.4 дано:

$A$  – исходный пункт с известными координатами  $X_A, Y_A$  в заданной системе координат  $XOY$ ;

$\alpha_{AB}$  – дирекционный угол исходной стороны  $AB$ ;

$\alpha$  – дирекционный угол определяемой стороны  $AP$ , вычисляемый по формуле

$$\alpha = \alpha_{AB} + \beta, \quad (7.1)$$

где  $\beta$  – угол поворота;

$P$  – определяемый пункт;

$S$  – длина стороны от исходного пункта  $A$  до определяемого пункта  $P$ .

Требуется определить координаты пункта  $P$ , т.е.  $X_P = ? Y_P = ?$

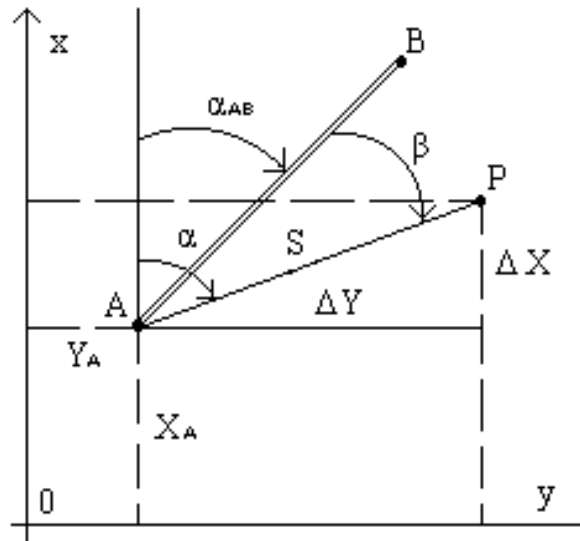


Рис. 7.4. Решение прямой геодезической задачи на плоскости

Решение прямой геодезической задачи следует из рис. 7.4:

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + S \cdot \cos \alpha, \\ Y_P &= Y_A + S \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (7.2)$$

В формулах (7.2) приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  между исходным и определяемым пунктом выражены, соответственно, через  $S \cdot \cos \alpha$  и  $S \cdot \sin \alpha$ .

Под **обратной геодезической задачей** понимают вычисление дирекционного угла  $\alpha$  и длины  $S$  линии, соединяющей два пункта с известными координатами  $X_1, Y_1$  и  $X_2, Y_2$ . Поясним это с помощью рис. 7.5.

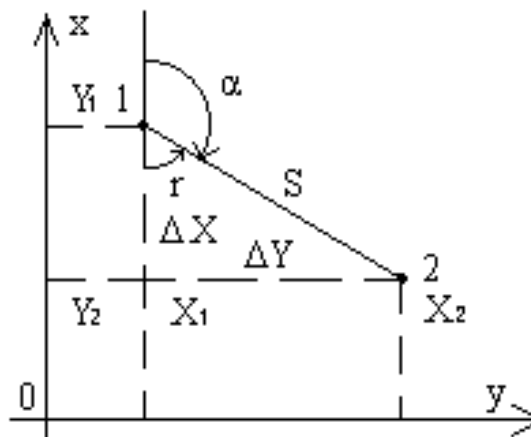


Рис. 7.5. Решение обратной геодезической задачи на плоскости

На рис.7.5 дано:  $X_1, Y_1, X_2, Y_2$  – координаты исходных пунктов.

**Требуется определить:** дирекционный угол  $\alpha$  и длину  $S$  линии, соединяющей исходные пункты 1, 2.

Решение обратной геодезической задачи следует из рис. 7.5.

$$S = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2},$$
$$\operatorname{tgr} = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| \text{ и } r = \operatorname{arctg} \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|. \quad (7.3)$$

В формулах (7.3)  $\Delta X = X_2 - X_1$ ,  $\Delta Y = Y_2 - Y_1$ ,  $r$  – румб направления 1-2,  $S$  – искомое расстояние между исходными пунктами.

### 7.3.2. Геодезические засечки

Геодезические засечки широко применяются в геодезической практике. Поэтому дадим общее представление о данном способе определения плановых координат точек земной поверхности.

Геодезические засечки – это простейшие геодезические построения на земной поверхности, состоящие из исходных и определяемых пунктов, в которых выполняют угловые, линейные или линейно-угловые измерения. Подстановка результатов измерений в эти построения в соответствующие математические формулы позволяет вычислить значения координат определяемых пунктов.

В общем случае геодезические засечки делятся на **прямые** и **обратные**. В прямых засечках измерения выполняют с исходных пунктов на определяемые, в обратных – с определяемых пунктов на исходные.

В зависимости от того, какие виды измерений выполнены в засечках, различают **угловые засечки**, **линейные засечки** и **линейно-угловые**.

Практические примеры геодезических засечек приведем ниже при рассмотрении привязки теодолитных ходов к исходной координатной основе.

### 7.3.3. Проложение теодолитных ходов на местности

#### 7.3.3.1. Определение и элементы теодолитного хода

**Теодолитным ходом** называется построенный на местности разомкнутый ( $B, 2, 3 \dots J, N, C$ ) (рис. 7.6, а) или замкнутый ( $B, 2, K, J, \dots, N, B$ ) многоугольник (рис. 7.6, б), в котором измерены все стороны и горизонтальные углы.

Стороны теодолитного хода измеряют оптическими дальномерами, обеспечивающими относительную ошибку измерения не хуже 1 : 1 000, или стальной лентой со шпильками, а горизонтальные углы – техническим теодолитом.

По результатам измерения сторон и углов хода вычисляются прямоугольные координаты всех пунктов хода, закрепленных временными знаками. Следовательно, проложением теодолитного хода задается система точек с координатами  $X_i, Y_i$ .

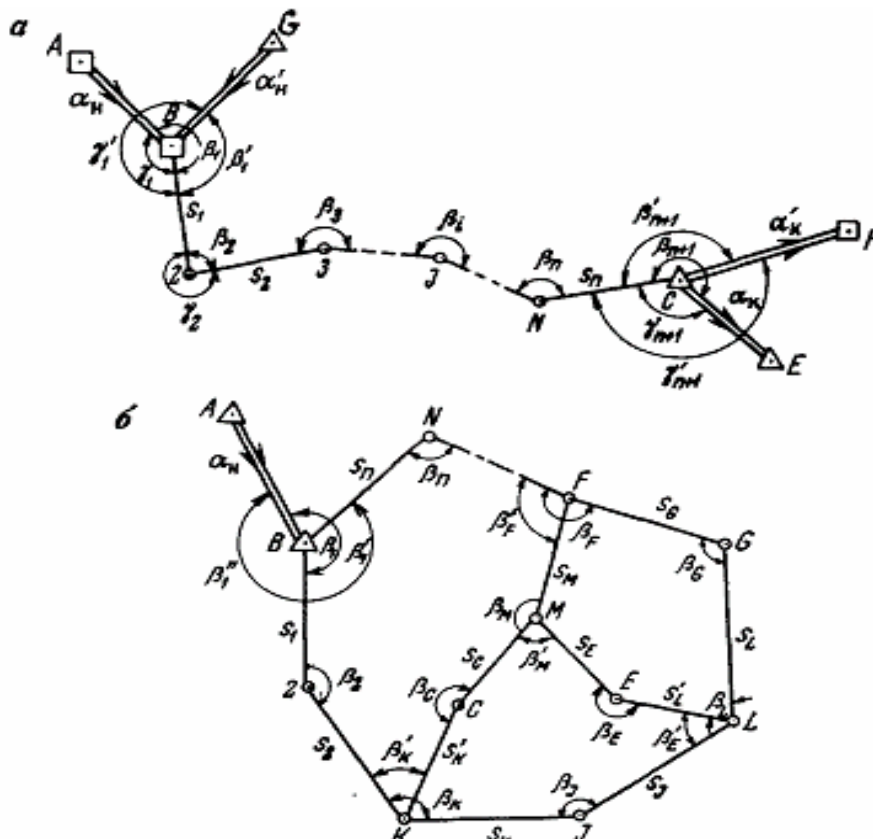


Рис. 7.6. Схема теодолитного хода:  
( $A, B, G, C, F, E$  – исходные пункты;  $2, 3 \dots N$  – определяемые пункты)

**Элементы теодолитного хода.** К элементам теодолитного хода следует отнести исходные данные, измеренные величины и примычные направления.

**Исходные данные** состоят из координат  $X, Y$  исходных (твердых) пунктов (на рис. 7.6 – это пункты  $A, B, G, C, F, E$ ) и исходных дирекционных углов ( $\alpha_N, \alpha'_N, \alpha_K, \alpha'_K$ ) твердых сторон, которые вычисляются из решения обратной геодезической задачи (формула (7.3)).

**Измеренные величины:** горизонтальные углы поворота  $\beta$  и расстояния  $S$  между точками теодолитного хода (стороны хода).

**Примычные направления** – это измеренные углы на исходных пунктах между твердым и определяемым направлением ( $\gamma$  на рис. 7.6).

**Цель развития теодолитного хода** заключается в нахождении координат  $X$ ,  $Y$  определяемых пунктов хода.

### 7.3.3.2. Геодезические работы при создании теодолитных ходов

При развитии теодолитных ходов возникают следующие задачи:

- Проектирование схемы ходов.
- Привязка к пунктам исходной основы.
- Выполнение линейно-угловых измерений.
- Вычисление координат пунктов.

Все перечисленные задачи решаются в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по топографическим съемкам масштабов 1 : 500 – 1 : 5000.

**Теодолитные ходы проектируют** на имеющихся картах и планах наиболее крупного масштаба. При этом, прежде всего, проектируют теодолитные ходы вдоль рамок трапеций будущих листов карт. Внутри трапеций точки ходов по возможности должны располагаться равномерно. Их следует располагать в местах, удобных для последующего выполнения геодезических измерений (угловых и линейных). Теодолитные ходы прокладываются между исходными пунктами (пунктами опорной плановой сети: государственной и сетей сгущения) в виде отдельных ходов (см. рис. 7.6, а, 7.7, а, б) или систем ходов с узловыми точками (см. рис. 7.6, б).

По составленному проекту производят рекогносцировку, т.е. осмотр местности, выбор и закрепление на ней точек теодолитных ходов. Точки ходов нужно выбирать с таким расчетом, чтобы с каждой точки (с высоты теодолита) была видимость на предыдущую и последующую точки, чтобы они были удобны для постановки геодезического прибора и чтобы стороны хода были удобны для линейных измерений. Точки хода закрепляют деревянными кольями или столбиками с соответствующей окопкой или маркировкой. Для наведения и центрирования прибора лучше всего использовать металлический гвоздь, вбиваемый в центре кольишка.

При проектировании учитывают, что в зависимости от назначения и масштаба съемки теодолитные ходы делятся на два разряда. Технические характеристики теодолитных ходов приведены в табл. 7.2.

При проектировании следует предусмотреть **надежную привязку хода к исходной основе** и возможность осуществления контроля результатов измерений. Поэтому из схем теодолитного хода следует отдавать предпочтение схеме разомкнутого хода, опирающегося на два исходных

пункта и 4 твердых направления (рис. 7.7, а), или замкнутого хода, опирающегося на один исходный пункт и два твердых направления (рис. 7.7, б) или системы ходов с узловыми точками (см. рис. 7.6, б). Висячий теодолитный ход (рис. 7.7, в) допускается в зависимости от масштаба длиной не более 100 – 350 м для застроенной территории и 150 – 500 м для незастроенной территории.

Таблица 7.2

Технические характеристики теодолитных ходов

Теодолитный ход 1 разряда	Теодолитный ход 2 разряда
Относительная ошибка хода	
$\frac{1}{N} = \frac{1}{2\,000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{1\,000}$
Предельные длины ходов $L$ в зависимости от масштабов	
колеблются от 0,6 до 4 км	колеблются от 0,3 до 2,0 км
Допустимые длины сторон $S_i$ в теодолитных ходах	
$20\text{ м} \leq S_i \leq 350\text{ м}$	$20\text{ м} \leq S_i \leq 350\text{ м}$

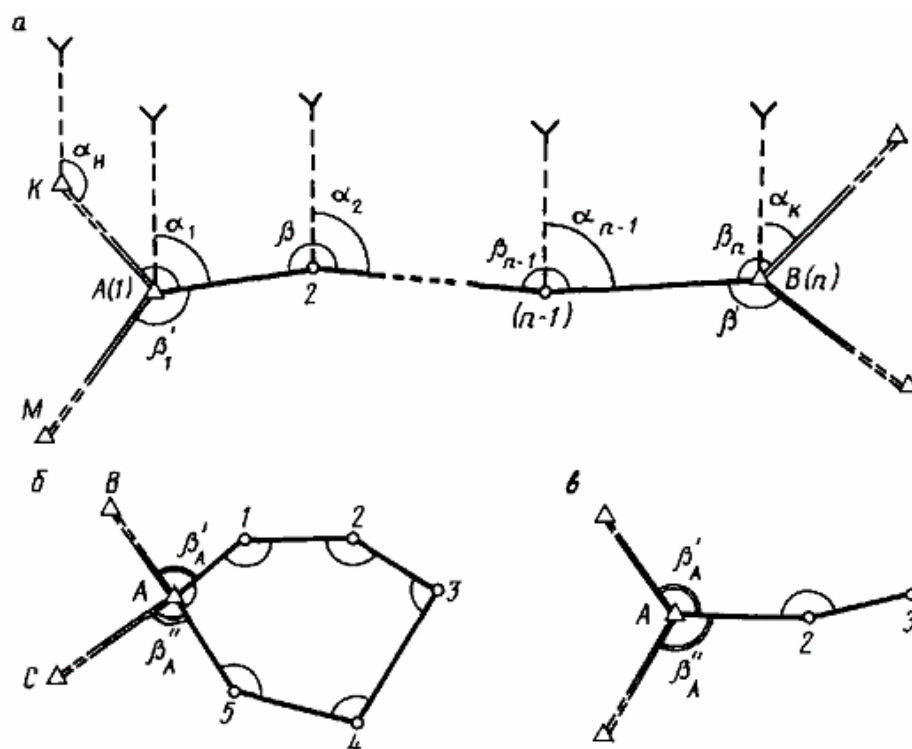


Рис. 7.7. Схемы теодолитных ходов:

а – разомкнутый ход, опирающийся на два исходных пункта (A, B) и четыре твердых направления AK, AM; BC, BD;

$\beta_1, \beta'_1, \beta_n, \beta'_n$  – примычные углы;  $\beta$  – углы поворота;  $\alpha$  – дирекционные углы;

б – замкнутый ход, опирающийся на два твердых направления

## Привязка теодолитных ходов к пунктам опорной геодезической сети

Координаты точек теодолитного хода должны быть получены в требуемой системе координат. В связи с этим теодолитный ход должен опираться (привязываться) как минимум на два пункта с известными координатами. Все остальные показанные на рис. 7.6 – 7.7 твердые пункты и направления задаются для контроля. Для **привязки теодолитных ходов** к пунктам с известными координатами используют **способ примыкания** и различные виды **геодезических засечек**.

**Способ примыкания** основан на измерении примычных углов, т.е. углов между исходным и определяемым направлениями (рис. 7.8). Он используется, когда теодолитный ход начинается и заканчивается с твердых пунктов и твердыми направлениями. Это возможно, если на участок съемки попадает достаточное число пунктов опорной сети. Примычный угол позволяет вычислить с исходного дирекционного угла дирекционный угол определяемого направления теодолитного хода.

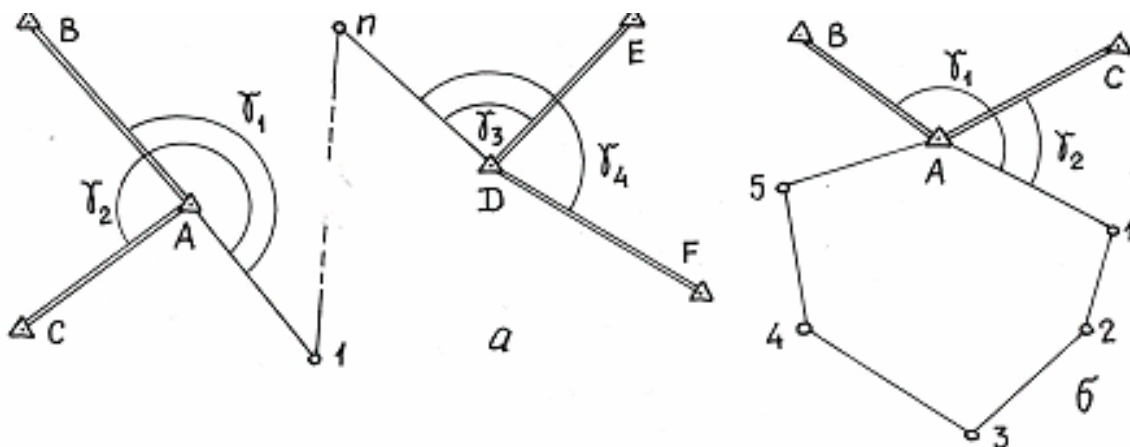


Рис. 7.8. Привязка разомкнутого (а) и замкнутого (б) теодолитных ходов способом примыкания:

$AB, AC, DE, DF$  – исходные (твердые) направления;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  – примычные углы;  $\alpha_{A1} = \alpha_{BA} + \gamma_1 - 180^\circ$ ;

а)  $\alpha_{BA}$  – исходный дирекционный угол твердого направления  $BA$ ;  $\alpha_{A1}$  – дирекционный угол стороны  $A1$ ;  $\gamma_1$  – примычный угол

### Применение прямой угловой засечки при привязке теодолитного хода к пунктам опорной геодезической сети

Геодезические засечки при привязке планового съемочного обоснования к координатной основе страны используются в случае, когда опорные геодезические пункты находятся далеко от участка съемки и приме-



нение способа примыкания оказывается затруднительным или даже невозможным.

На рис. 7.9 показана схема привязки теодолитного хода способом прямой угловой засечки.

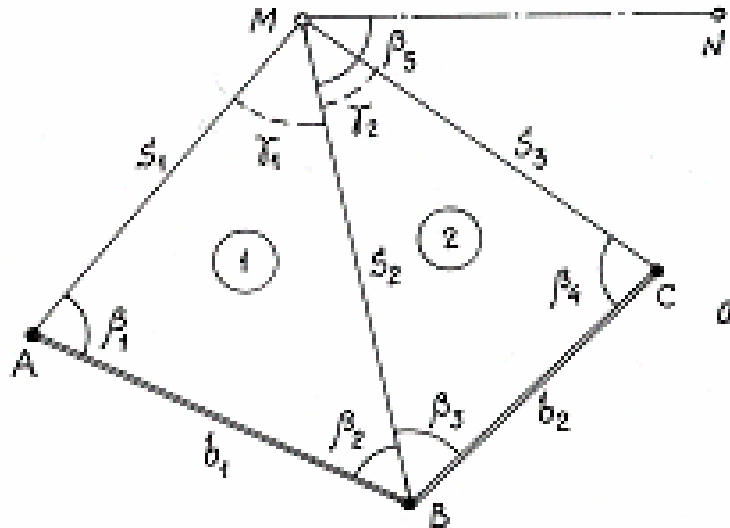


Рис. 7.9. Схема привязки теодолитного хода способом прямой угловой засечки:  $A, B, C$  – пункты опорной геодезической сети с известными координатами  $x_A, y_A, x_B, y_B, x_C, y_C$ ;  $MN$  – сторона привязываемого к координатной основе теодолитного хода;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и  $\beta_4$  – измеренные углы в прямой угловой засечке;  $\beta_5$  – измеренный угол поворота в теодолитном ходе  $MN$  .....

Строго говоря, задача решается из одного треугольника, т.е. для определения координат точки  $M$  теодолитного хода достаточно измерить с исходных пунктов только два угла, например,  $\beta_1, \beta_2$ . Углы  $\beta_3$  и  $\beta_4$  определения координат точки  $M$ , которые вычисляют два раза: из  $\triangle ABM$  и  $\triangle BCM$ , затем сравнивают и при соблюдении допуска берут среднее.

Координаты точки  $M$  удобно вычислить по формулам Юнга (из  $\triangle ABM$ ):

$$x_M = \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta_2 + x_B \operatorname{ctg} \beta_1 + y_B - y_A}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2},$$

$$y_M = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + y_B \operatorname{ctg} \beta_1 + x_A - x_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}. \quad (7.4)$$

Аналогично вычисляются координаты этой же точки из  $\triangle BCM$ . Точность определения координат точки  $M$  не должна быть меньше установленной инструкцией.

Оценка точности выполняется по следующим формулам:

$$m_{M(1)} = m_{\beta} \frac{\sqrt{S_{AM}^2 + S_{BM}^2}}{\rho * \sin(\beta_1 + \beta_2)}, \quad (7.5)$$

$$m_{M(2)} = m_{\beta} \frac{\sqrt{S_{BM}^2 + S_{CM}^2}}{\rho * \sin(\beta_3 + \beta_4)}, \quad (7.6)$$

$$m_M = 0,5 \sqrt{m_{M(1)}^2 + m_{M(2)}^2}. \quad (7.7)$$

В формулах (7.5) – (7.7)  $m_M$  – средняя квадратическая ошибка определения координат точки  $M$ ;  $m_{\beta}$  – средняя квадратическая ошибка измерения угла;  $S_{AM}$ ,  $S_{BM}$ ,  $S_{CM}$  – вычисленные или снятые с карты значения сторон треугольников.

Для передачи дирекционного угла на линию  $MN$  вычисляют из решения обратной геодезической задачи дирекционный угол направления  $BM$  ( $\alpha_{BM}$ ), а затем определяют дирекционный угол  $\alpha_{MN}$  по формуле

$$\alpha_{MN} = \alpha_{BM} + 180 - \beta_5. \quad (7.8)$$

На схеме  $\beta_5$  – правый угол, поэтому он в формуле со знаком « $\leftarrow$ ».

Если в указанном на рис. 7.9 построении вместо углов измеряются линии  $S_{AM}$ ,  $S_{BM}$ ,  $S_{CM}$ , то координаты точки  $M$  определяют по формулам прямой линейной засечки; если углы и линии – по формулам прямой линейно-угловой засечки.

### **Применение обратной угловой засечки при привязке теодолитного хода к пунктам опорной геодезической сети**

Обратная угловая засечка отличается от прямой угловой засечки тем, что геодезист-топограф стоит с теодолитом на точке теодолитного хода  $M$ , координаты которой требуется определить, и измеряет углы  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  на твердые пункты опорной геодезической сети, координаты которых известны (рис. 7.10). Строго говоря, для решения обратной геодезической засечки достаточно иметь координаты только на трех исходных пунктах ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) и измерить два угла  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ . Координаты пункта  $D$  и измерение угла  $\beta_3$  выполняются для контроля.

Решение обратной угловой засечки можно выполнить по различным формулам: Ансермета, Пранис-Праневича, Гаусса, Молочкова. Все они приводят к одинаковым результатам и опубликованы в геодезической литературе.

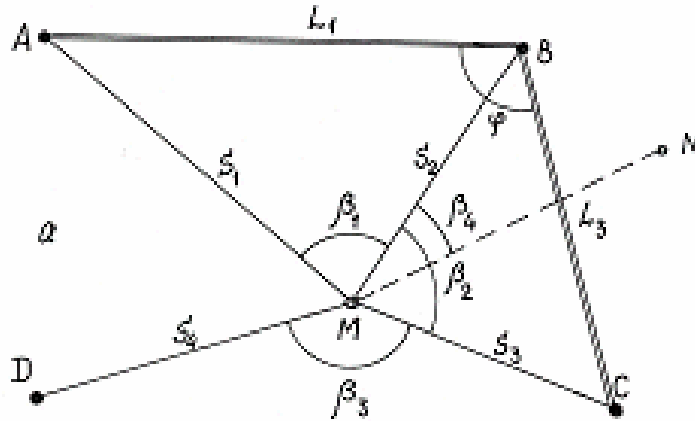


Рис. 7.10. Определение координат начальной точки  $M$  теодолитного хода с помощью обратной угловой засечки:

$A, B, C, D$  (контрольный пункт) – исходные пункты с известными координатами  $x_A, y_A, x_B, y_B, x_C, y_C, x_D, y_D$ ;  $MN$  – сторона привязываемого к координатной основе теодолитного хода;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  – измеренные углы в обратной угловой засечке;  $\beta_4$  – измеренный угол поворота в теодолитном ходе  $MN \dots\dots$

Определение координат точки  $M$  для нашего случая произведем по формулам Молочкова:

$$X_M = X_B + \frac{K_1 + K_2 * \operatorname{tg} \alpha_{BM}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{BM}} = X_B + \frac{K_3 + K_4 * \operatorname{tg} \alpha_{BM}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{BM}},$$

$$Y_M = Y_B + (X_M - X_B) * \operatorname{tg} \alpha_{BM},$$

где

$$K_1 = (X_A - X_B) + (Y_A - Y_B) * \operatorname{ctg} \beta_1,$$

$$K_2 = (Y_A - Y_B) - (X_A - X_B) * \operatorname{ctg} \beta_1, \quad (7.9)$$

$$K_3 = (X_C - X_B) - (Y_C - Y_B) * \operatorname{ctg} \beta_2,$$

$$K_4 = (Y_C - Y_B) + (X_C - X_B) * \operatorname{ctg} \beta_2,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{BM} = \frac{K_3 - K_1}{K_2 - K_4}.$$

Дирекционный угол 1-й стороны теодолитного хода определяем по формуле

$$\alpha_{MN} = \alpha_{BM} - 180 + \beta_4. \quad (7.10)$$

На схеме  $\beta_4$  – левый угол, поэтому он в формуле со знаком плюс.

Оценка точности определения координат точки  $M(m_M)$  вычисляется по формуле

$$m_M = \frac{S_2 * m_\beta}{\rho * \sin(\omega + \beta_1 + \beta_2)} \sqrt{\left(\frac{S_1}{L_3}\right)^2 + \left(\frac{S_3}{L_1}\right)^2}, \quad (7.11)$$

где

$$\omega = \alpha_{BA} - \alpha_{BC}.$$

Необходимые для оценки точности расстояния вычисляются или снимаются с карт крупных масштабов.

### **Производство измерений в теодолитном ходе**

В теодолитном ходе выполняются угловые и линейные измерения, т.е. измерения горизонтальных углов поворота и сторон хода, руководствуясь требованиями нормативных документов, основные из которых изложены ниже.

#### **Требования к угловым измерениям**

1. Угловые измерения следует выполнять с точностью не хуже 30'' техническим или точным теодолитом.

2. При измерении углов техническим теодолитом измерения следует производить не менее, чем двумя приемами, или по способу повторений. Расхождения углов между двумя полуприемами или приемами не должно превышать 45''.

3. Угловые невязки в теодолитных ходах не должны превышать

$$f_{\beta} \leq 1' * \sqrt{n}. \quad (7.12)$$

4. При привязке теодолитных ходов к опорным пунктам измеряются два примычных угла.

Сумма (разность) измеренных примычных углов не должна отличаться от значения жесткого примычного угла, т.е. угла между твердыми направлениями, более чем на 1'.

#### **Требования к линейным измерениям**

Линейные измерения в теодолитном ходе производятся с относительной ошибкой не хуже  $\frac{1}{3\ 000}$  для 1 разряда и  $\frac{1}{1\ 000}$  для 2 разряда.

При этом разрешается использовать оптические дальномеры, тахеометры, мерные стальные 20-метровые рулетки и ленты, поверенные на полевом компараторе. Поправка за компарирование в длину измеренной рулетками или лентами стороны вводится, если ее влияние на длину линии более чем 1 : 10 000.

При использовании рулеток и лент стороны измеряются прямо и обратно, соблюдая следующие допуски:

$$S_{\text{прямо}} - S_{\text{обр}} \leq 1 : 2\ 000 \text{ (в первом разряде);}$$

$$S_{\text{прямо}} - S_{\text{обр}} \leq 1 : 1\ 000 \text{ (во втором разряде).}$$

При углах наклона линии более  $1,5^\circ$  измеряются вертикальные углы одним приемом и вводятся поправки за приведение линии к горизонту. Если на измеряемой линии несколько точек перегиба, то при измерении ее длины лентой или рулеткой по частям углы наклона измеряются на каждом отрезке между точками перегиба.

### 7.3.4 Математическая обработка теодолитных ходов

В результате математической обработки теодолитных ходов необходимо получить координаты точек хода в требуемой системе координат. Рассмотрим обработку для случая разомкнутого хода и замкнутого хода.

Обработку разомкнутого хода рассмотрим на примере схемы, представленной на рис. 7.11.

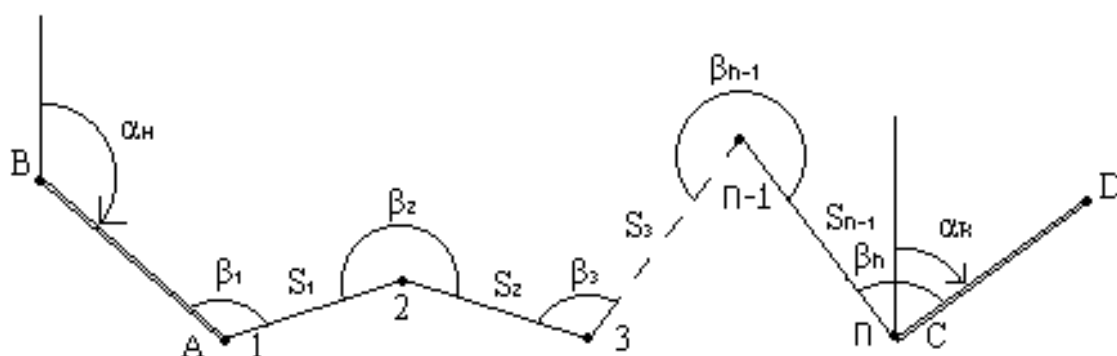


Рис. 7.11. Схема разомкнутого теодолитного хода, опирающегося на два исходных пункта

#### Дано:

исходные координаты  $X_A, Y_A, X_C, Y_C$  и исходные дирекционные углы  $\alpha_{BA} = \alpha_H, \alpha_{CD} = \alpha_K$ .

#### Измерены:

углы поворота  $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_{n-1}, \beta_n$  (в данном случае левые по ходу), с ошибкой  $m_\beta$ ; стороны  $S_1, S_2, S_3 \dots S_{n-1}$  с относительной ошибкой измерения расстояний  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{T}$ .

#### Требуется определить:

координаты пунктов  $2, 3, \dots, n-1$ , т.е.  $X_2, Y_2, X_3, Y_3 \dots X_{n-1}, Y_{n-1} = ?$

#### Решение задачи:

Решение задачи по определению координат в теодолитном ходе основано на последовательном применении прямой геодезической задачи.

$$\begin{aligned}
X_2 &= X_A + S_1 * \cos \alpha_1, \\
Y_2 &= Y_A + S_1 * \sin \alpha_1, \\
X_3 &= X_2 + S_2 * \cos \alpha_2, \\
Y_3 &= Y_2 + S_2 * \sin \alpha_2, \\
&\dots\dots\dots \\
X_C &= X_{n-1} + S_{n-1} * \cos \alpha_{n-1}, \\
Y_C &= Y_{n-1} + S_{n-1} * \sin \alpha_{n-1}.
\end{aligned}
\tag{7.13}$$

В формулах (7.13)  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$  – дирекционные углы сторон хода  $A-2, 2-3 \dots (n-1) - C$ .

Дирекционные углы  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$  определяемых сторон хода вычислим через углы поворота  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}, \beta_n$  по формуле

$$\begin{aligned}
\alpha_1 &= \alpha_n - 180 + \beta_1, \\
\alpha_2 &= \alpha_1 - 180 + \beta_2, \\
\alpha_3 &= \alpha_2 - 180 + \beta_3, \\
&\dots\dots\dots \\
\alpha_{n-1} &= \alpha_{n-2} - 180 + \beta_{n-1}, \\
\alpha_n &= \alpha_{n-1} - 180 + \beta_n.
\end{aligned}
\tag{7.14}$$

В формулах (7.14)  $\alpha_n$  – известный начальный дирекционный угол исходной стороны  $BA$ . Остальные обозначения прежние.

Заметим, что конечный дирекционный угол  $\alpha_n$ , полученный в (7.14) через измеренные левые углы поворота, есть дирекционный угол исходной стороны  $CD = \alpha_K$ . Сравнивая вычисленное значение конечного дирекционного угла  $\alpha_n$  с его заданным исходным значением  $\alpha_K$ , мы можем контролировать угловые измерения в теодолитном ходе. Это так называемое **условие дирекционных углов**.

На практике его получают следующим образом. Сложим левые и правые части уравнений (7.14):

$$(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{n-1}) + \alpha_n = \alpha_H + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{n-1}) + \sum_1^n \beta_i - 180 * n.
\tag{7.15}$$

Заменив в левой части  $\alpha_n$  на его исходное значение  $\alpha_K$ , получим:

$$(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{n-1}) + \alpha_K = \alpha_H + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_{n-1}) + \sum_1^n \beta_i - 180 * n.
\tag{7.16}$$

Отсюда получим, что теоретическая сумма углов поворота в теодолитном ходе равна:

– для левых углов поворота

$$\sum_1^n \beta_i = (\alpha_K - \alpha_H) + 180 * n; \quad (7.17)$$

– для правых углов поворота

$$\sum_1^n \beta_i = (\alpha_H - \alpha_K) + 180 * n. \quad (7.18)$$

Если в выражениях (7.17) и (7.18) углы поворота  $\beta_i$  являются измеренными, то их сумма в точности не будет равна правой части. Возникает угловая невязка теодолитного хода, определяемая из выражений:

– для левых углов поворота

$$f_{\beta} = \sum_1^n \beta_i - (\alpha_K - \alpha_H) + 180 * n; \quad (7.19)$$

– для правых углов поворота

$$f_{\beta} = \sum_1^n \beta_i - (\alpha_H - \alpha_K) + 180 * n. \quad (7.20)$$

Во всех формулах  $n$  – общее количество пунктов в ходе; число определяемых пунктов равно  $(n - 2)$ , количество неизвестных будет  $2(n - 2)$ .

Допустимая угловая невязка теодолитного хода вычисляется по формуле

$$f_{\beta_{доп.}} = 2 * m_{\beta} * \sqrt{n}. \quad (7.21)$$

Для теодолитных ходов  $m_{\beta} = 30''$ , поэтому

$$f_{\beta_{доп.}} = 1' * \sqrt{n}. \quad (7.22)$$

При допустимом значении угловой невязки вычисляются поправки в измеренные углы поворота по формуле

$$V_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n}, \quad (7.23)$$

где  $n$  – число измеренных углов, равное числу пунктов в теодолитном ходе.

Исправленные значения углов  $\bar{\beta}_i$  вычисляются по формуле

$$\bar{\beta}_i = \beta_i + V_{\beta_i}. \quad (7.24)$$

По исправленным углам поворота вычисляют дирекционные углы всех сторон хода (формулы (7.14)); совпадение вычисленного и заданного значений конечного исходного дирекционного угла является контролем правильности обработки угловых измерений.

Далее по формулам (7.13), дирекционным углам, вычисленным по исправленным углам поворота, и измеренным сторонам теодолитного хода вычисляем координаты точек теодолитного хода.

Сравниваем вычисленные значения координат точки  $C(X_{C_{\text{выч.}}}, Y_{C_{\text{выч.}}})$  с их исходными значениями и получаем координатные невязки  $f_X, f_Y$  по следующим формулам:

$$f_X = X_{C_{\text{выч.}}} - X_C \quad \text{и} \quad f_Y = Y_{C_{\text{выч.}}} - Y_C. \quad (7.25)$$

К вычислению координатной невязки теодолитного хода можно подойти через приращения координат хода. Обозначим для простоты в уравнениях (7.13) последовательные приращения координат между точками хода  $S \cos \alpha$  и  $S \sin \alpha$  через  $\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta X_2, \Delta Y_2 \dots \Delta X_{n-1}, \Delta Y_{n-1}$  и перепишем:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_A + \Delta X_1, \\ Y_2 &= Y_A + \Delta Y_1, \\ X_3 &= X_2 + \Delta X_2, \\ Y_3 &= Y_2 + \Delta Y_2, \\ &\dots \\ X_C &= X_{n-1} + \Delta X_{n-1}, \\ Y_C &= Y_{n-1} + \Delta Y_{n-1}. \end{aligned} \quad (7.26)$$

Сложив эти равенства отдельно для  $X$  и для  $Y$ , получим:

$$\begin{aligned} (X_2 + X_3 + \dots + X_{n-1}) + X_C &= X_A + (X_2 + X_3 + \dots + X_{n-1}) + \\ &+ (\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_{n-1}), \\ (Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{n-1}) + Y_C &= Y_A + (Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{n-1}) + (\Delta Y_1 + \Delta Y_2 + \dots + \Delta Y_{n-1}). \end{aligned} \quad (7.27)$$

После приведения подобных имеем:

$$\begin{aligned} \sum_1^{n-1} \Delta X_i &= X_C - X_A, \\ \sum_1^{n-1} \Delta Y_i &= Y_C - Y_A. \end{aligned} \quad (7.28)$$

Равенства (7.28) показывают, что теоретически сумма приращений координат в теодолитном ходе должна равняться разностям координат



твердых пунктов, на которые опирается теодолитный ход. Вследствие ошибок измерения сторон и упрощенного способа распределения угловой невязки возникают координатные невязки хода, в точности совпадающие с невязками, вычисленными по формуле (7.25):

$$f_x = \sum \Delta X_{\text{выч.}} - (X_C - X_A), \quad f_y = \sum \Delta Y_{\text{выч.}} - (Y_C - Y_A). \quad (7.29)$$

Далее по координатным невязкам вычисляют абсолютную невязку хода

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (7.30)$$

и затем относительную невязку хода

$$\frac{1}{N} = \frac{f_s}{\sum S_i}, \quad (7.31)$$

где  $\sum S_i$  – длина теодолитного хода.

Если полученное значение относительной невязки хода не превышает ее допустимой величины, приведенной в табл. 7.2, т.е.  $\frac{1}{2\,000}$  для 1-ого разряда и  $\frac{1}{1\,000}$  для 2-ого разряда, то вычисляют поправки в полученные приращения координат по формулам

$$V_{\Delta X_i} = \frac{-f_x * S_i}{\sum S_i} \quad \text{и} \quad V_{\Delta Y_i} = \frac{-f_y * S_i}{\sum S_i}, \quad (7.32)$$

из которых следует правило: **поправки в приращения координат пропорциональны длинам сторон.**

Рассмотренный способ обработки измерений в теодолитном ходе можно назвать **способом последовательного распределения невязок**, который является приближенным способом. Точность этого способа достаточна для математической обработки теодолитного хода.

### **Вычисление координат пунктов замкнутого линейно-углового хода**

Вычисление координат пунктов в замкнутом теодолитном (линейно-угловом) ходе (рис. 7.12) выполняется в том же порядке, что и в разомкнутом ходе; отличие состоит в вычислении теоретических сумм углов и приращений координат.

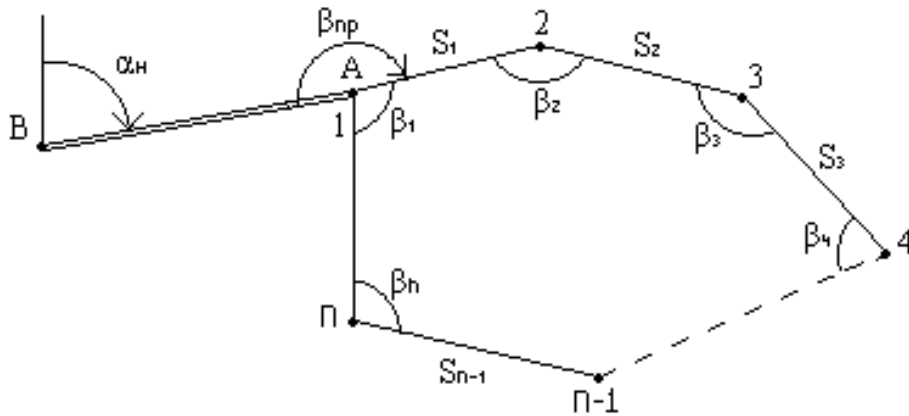


Рис. 7.12. Схема замкнутого теодолитного хода

Если в замкнутом ходе измерялись внутренние углы, как в случае, показанном на рис. 7.12, то теоретическая сумма углов поворота должна равняться

$$\sum \beta = 180^\circ * (n - 2). \quad (7.33)$$

Угловая невязка вычисляется по формуле

$$f_\beta = \sum \beta_{изм} - 180^\circ * (n - 2). \quad (7.34)$$

Для **внешних углов** последние формулы примут следующий вид:

$$\sum \beta = 180^\circ * (n + 2), \quad (7.35)$$

$$f_\beta = \sum \beta_{изм} - 180^\circ * (n + 2). \quad (7.36)$$

Совершенно очевидно, что для замкнутого хода теоретически сумма приращений координат должна равняться 0, а отклонение этих сумм от 0 даст значения невязок по  $X$  и по  $Y$ :

$$\begin{aligned} f_X &= \sum \Delta X_{выч.}, \\ f_Y &= \sum \Delta Y_{выч.}. \end{aligned} \quad (7.37)$$

Дальнейшие действия полностью совпадают с предыдущим случаем, т.е. на первом этапе вычисляем поправки в измеренные углы поворота и по исправленным углам поворота вычисляем дирекционные углы сторон и приращения координат по этим сторонам. Затем определяем координатную невязку и распределяем ее в каждое приращение координат пропорционально длинам сторон хода, контролируем и вычисляем искомые координаты определяемых пунктов хода.

#### 7.4. Создание высотного съемочного обоснования

Высотные опорные сети развиваются относительно нуля Кронштадтского футштока методом геометрического нивелирования и по схеме представляют собой нивелирные полигоны I, II, III и IV классов (см. раздел 7.1). Высотное съемочное обоснование прокладывается между пунктами высотной опорной сети, как правило, методом геометрического нивелирования технического класса точности. В последнее время, в связи с широким использованием на практике электронных тахеометров при создании высотного съемочного обоснования применяется и тригонометрическое нивелирование.

При создании высотного съемочного обоснования так же, как и в случае планового обоснования, решаются задачи:

- проектирование нивелирных ходов;
- выбор способа нивелирования;
- производство нивелирования;
- математическая обработка результатов нивелирования.

Проектирование высотного съемочного обоснования выполняется в виде нивелирных ходов, опирающихся на два исходных нивелирных репера (рис. 7.13, *а*), в виде полигона (рис. 7.13, *б*) или системы нивелирных линий и полигонов. При использовании висячего нивелирного хода (рис. 7.13, *в*) нивелирование выполняется два раза: в прямом и обратном направлениях. Следует помнить, что при создании высотного съемочного обоснования проложение замкнутых (опирающихся обоими концами на один и тот же исходный репер) и висячих ходов разрешается в исключительных случаях.

При создании высотного обоснования представляется удобным совмещение нивелирных ходов с теодолитными, что в дальнейшем значительно упростит процесс выполнения топографической съемки.

Следует отметить, что высотное съемочное обоснование создается, в основном, методом геометрического нивелирования технической точности. Создание высотного съемочного обоснования методом тригонометрического нивелирования разрешается для обеспечения топографической съемки в горной местности с сечением рельефа 2 – 5 м. Применение тригонометрического нивелирования для обеспечения топографической съемки с высотой сечения 1 м разрешается только в особых случаях.

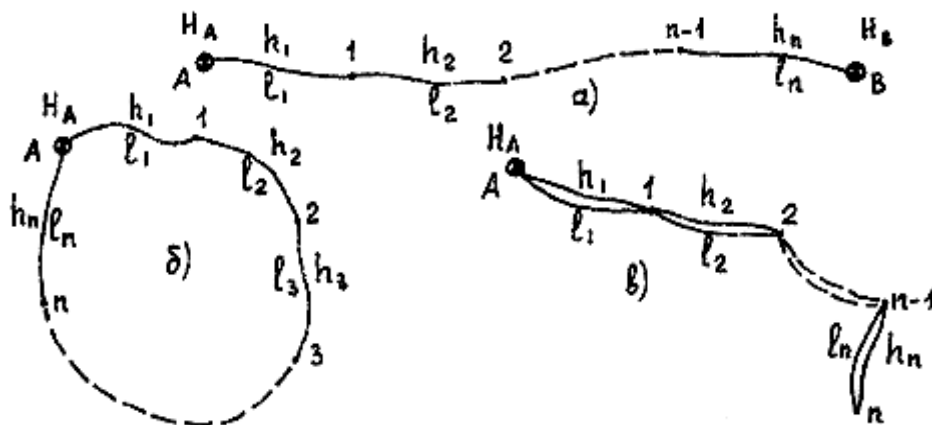


Рис. 7.13. Схема нивелирования при создании высотного съёмочного обоснования

### Производство нивелирования

Высотное съёмочное обоснование методом геометрического нивелирования создается по требованиям технической точности. Ходы технического нивелирования прокладываются способом нивелирования из середины. Допустимая длина ходов технического нивелирования определяется высотой сечения топографической съёмки и приведена в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Допустимая длина хода технического нивелирования при создании высотного съёмочного обоснования

Характеристики линий	Допустимые длины ходов в км при сечении рельефа		
	0,25 м	0,5 м	1 м и более
Между двумя исходными пунктами	2,0	8	16
Между исходным пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1,0	4	8

При нивелировании используют технические и точные нивелиры 2Н10КЛ, Н10КЛ, НЗ, НЗК и складные трехметровые двухсторонние шашечные рейки с сантиметровыми делениями.

#### Методика нивелирования

1. Нивелирование выполняется в одном направлении.
2. Отсчеты по рейке производятся по средней нити.
3. Рейки устанавливаются на нивелирные башмаки, костыли или вбитые в землю колья.

**Порядок нивелирования на станции по двусторонним рейкам:**

- Отсчет по черной стороне задней рейки.
- Отсчет по черной и красной сторонам передней рейки.
- Отсчет по красной стороне задней рейки.

**Порядок нивелирования на станции по односторонним рейкам:**

- Отсчет по задней рейке.
- Отсчет по передней рейке.
- Изменение горизонта инструмента не менее, чем на 10 см.
- Отсчет по передней рейке.
- Отсчет по задней рейке.

Расхождения превышений на станции, определенных по черным и красным сторонам реек или односторонним рейкам на разных горизонтах, не должны превышать 5 мм.

Расстояния от нивелира до реек измеряют по дальномерным нитям поля зрения трубы. Нормальная длина плеча равна 120 м, при благоприятных условиях видимости – до 200 м.

Допустимые невязки ходов технического нивелирования:

$$f_{h \text{ доп.}} = 50 \text{ мм} * \sqrt{L_{\text{км}}} \quad (7.38)$$

или

$$f_{h \text{ доп.}} = 10 \text{ мм} * \sqrt{K}, \quad (7.39)$$

где  $K$  – число станций в ходе;

$L_{\text{км}}$  – длина хода, км.

В процессе технического нивелирования попутно нивелируют отдельные характерные точки местности, устойчивые по высоте объекты: крышки колодцев, головки рельсов на переездах, пикетажные столбы вдоль дорог, крупные валуны и т.д. Высоты указанных точек определяются как промежуточные при включении их в ход. Каждая промежуточная точка должна быть замаркирована или должны быть составлены кроки с промерами до ближайших ориентиров. Особое внимание должно быть уделено определению урезов воды.

**Математическая обработка результатов нивелирования  
(камеральные работы)**

Математическую обработку высотного хода съемочного обоснования рассмотрим на примере нивелирного хода, опирающегося на два исходных пункта (рис. 7.14).

Введем обозначения для рис. 7.14:

$n$  – количество секций (количество измеренных превышений);  
 $h_i$  – превышение по  $i$ -той секции;  $l_i$  – длина  $i$ -той секции;  $L$  – длина хода

( $L = \sum l_i$ );  $k_i$  – количество станций в  $i$ -той секции;  $K$  – количество станций в ходе ( $K = \sum k$ );  $H_A$  – отметка исходного репера в начале хода;  $H_B$  – отметка исходного репера в конце хода.

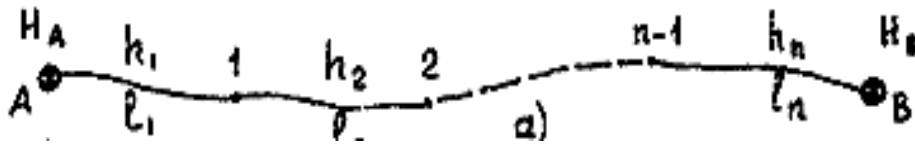


Рис. 7.14. Нивелирный ход, опирающийся на два исходных пункта

Количество реперов с неизвестными отметками равно ( $n - 1$ ), т.е. в ходе имеется одно избыточное измерение, которое порождает одно геометрическое условие, и, следовательно, вычисление отметок необходимо выполнять методом уравнивания.

Формулы для последовательного вычисления отметок реперов хода:

$$H_1 = H_A + h_1, H_2 = H_1 + h_2, H_3 = H_2 + h_3,$$

$$\dots$$

$$H_{n-1} = H_{n-2} + h_{n-1},$$

$$H_B = H_{n-1} + h_n.$$

Сложим эти уравнения и получим:

$$(H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_{n-1}) + H_B =$$

$$H_A + (H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_{n-1}) + \Sigma h$$

или

$$H_B = H_A + \Sigma h,$$

откуда теоретическая сумма превышений в ходе должна быть равна

$$\Sigma h = H_B - H_A. \quad (7.40)$$

**Условие разомкнутого нивелирного хода:** сумма превышений по секциям должна быть равна разности отметок конечного и начального исходных реперов (**теоретическая сумма**). Подставляя в (7.40) измеренные превышения, получаем невязку хода:

$$f_h = \sum h_{изм} - (H_B - H_A). \quad (7.41)$$

Невязка нивелирного хода характеризует нарушение условия (7.42) вследствие ошибок измерений. При допустимом значении невязки вычисляют поправки  $V_{h_i}$  в измеренные превышения:

$$V_{h_i} = -\frac{f_h}{L} * l_i. \quad (7.42)$$

**Контроль:**

$$\sum V_{h_i} = -f_h. \quad (7.43)$$

По исправленным превышениям  $h_{iucn.} = h_i + V_{hi}$  вычисляют отметки реперов хода.

**Заключительный контроль:**

$$H_{B\text{ пол.}} = H_B.$$

### Тригонометрическое нивелирование

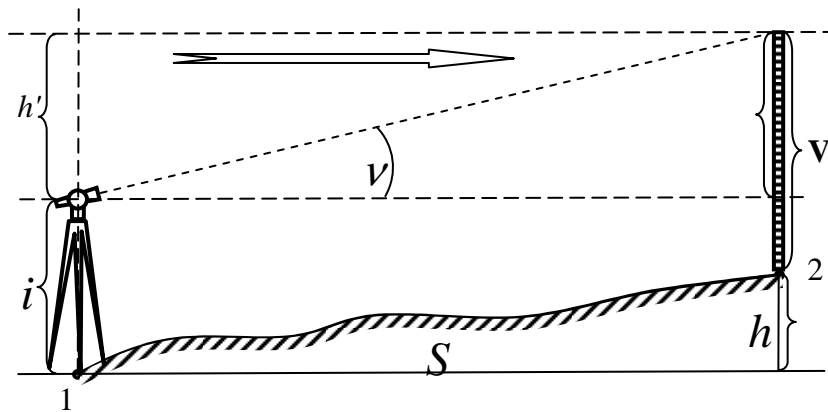


Рис. 7.15. Тригонометрическое нивелирование (способ вперед):  
 $i$  – высота теодолита;  $V$  – высота наведения;  $\nu$  – угол наклона;  
 $S$  – горизонтальное проложение между точками 1 и 2

$$i + h' = h + V,$$

$$h' = S \operatorname{tg}(\nu),$$

$$h = S \operatorname{tg}(\nu) + i - V. \quad (7.44)$$

Формула (7.44) – **основная формула тригонометрического нивелирования**. Превышения при тригонометрическом способе нивелирования получают дважды, в прямом и обратном направлении. Если расхождение – не более 4 см, то берут среднее, которое и является окончательным результатом.

При разного рода съемочных работах, расстояние между точками может определяться встроенным в теодолит нитяным дальномером. В этом случае расстояние  $S$  будет равно

$$S = D' \cdot \cos^2(\nu), \quad (7.45)$$

$D'$  – наклонное расстояние, полученное по нитяному дальномеру.

$$h = D' \cdot \cos^2(\nu) \cdot \operatorname{tg}(\nu) + i - V = 0,5D' \cdot \sin(2\nu) + i - V. \quad (7.46)$$

Формулы (7.44) и (7.46) работают только для коротких расстояний, когда можно не учитывать влияние кривизны Земли и рефракции атмосферы. Для больших расстояний формула тригонометрического нивелирования имеет вид:

$$h = S \operatorname{tg}(\nu) + i - V + (1 - K) * \frac{S^2}{2R}. \quad (7.47)$$

### Тригонометрический способ из середины

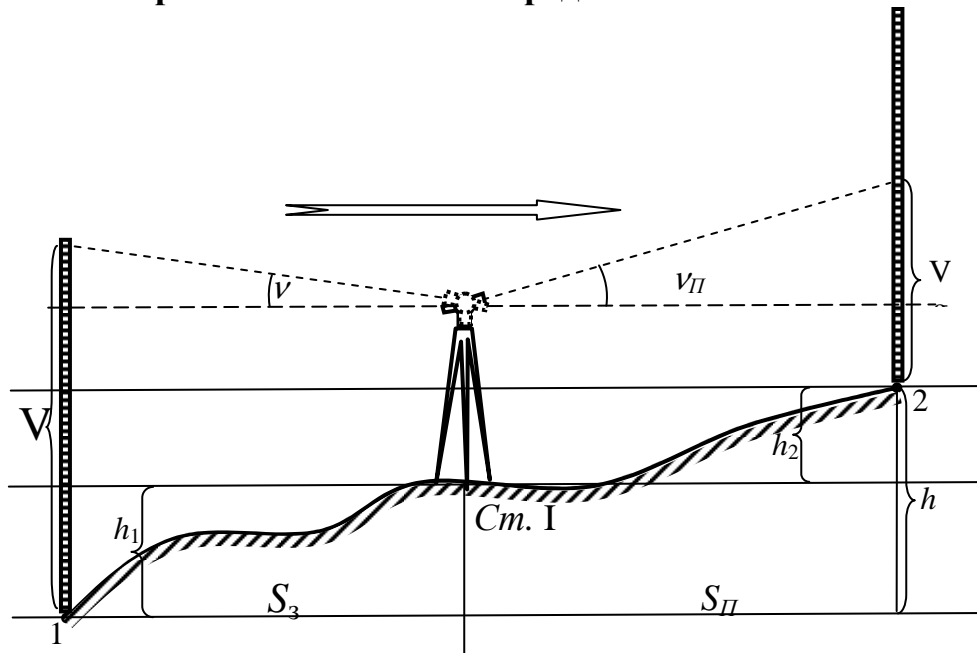


Рис. 7.16. Тригонометрическое нивелирование способом «из середины»

$$\begin{aligned}
 h &= H_2 - H_1, \\
 H_1 &= S_3 \operatorname{tg}(\nu_3) + i - V_3, \quad H_2 = S_{II} \operatorname{tg}(\nu_{II}) + i - V_{II}, \\
 h &= S_{II} \operatorname{tg}(\nu_{II}) - S_3 \operatorname{tg}(\nu_3) + (V_3 - V_{II}), \\
 \nu &= KЛ - M0 = M0 - KII \pm 180^\circ, \\
 M0 &= (KЛ + KII \pm 180^\circ)/2.
 \end{aligned} \quad (7.48)$$

Создание высотного съемочного обоснования методом тригонометрического нивелирования разрешается для обеспечения топографической съемки в горной местности с сечением рельефа 2 – 5 м. Применение тригонометрического нивелирования для обеспечения топографической съемки с высотой сечения 1 м разрешается только в особых случаях. Исходными для тригонометрического нивелирования служат пункты, имеющие отметки их геометрического нивелирования. Измерение вертикальных углов должно производиться прямо и обратно при двух положениях круга тремя приемами. Колебания значений вертикальных углов и места 0, вычисленные из отдельных приемов, не должны превышать 15".



## 8. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

### 8.1. Общие сведения и принцип топографической съемки

Комплекс работ, в результате выполнения которого получают карту или план местности, называют топографической съемкой.

Съемка местности сводится к определению координат и отметок отдельных точек, характеризующих местоположение объектов местности и ее рельеф. Объекты местности, контуры и рельеф изображают на карте с помощью условных знаков. При съемке в нашей стране геодезисты обычно создают планы и карты в зональной прямоугольной системе координат Гаусса и балтийской системе высот. В некоторых случаях съемка выполняется в местной системе координат, которая должна иметь формулы перехода к принятой в государстве системе координат.

Съемка местности выполняется с пунктов съемочного обоснования, т.е. с закрепленных на местности пунктов, для которых до съемки определяют координаты и высоты. На пункты съемочного обоснования последовательно устанавливают прибор для съемки и снимают ситуацию и рельеф в промежутках между ними, определяя положение точек местности относительно опорных точек съемочного обоснования и соединяющих их линий.

Съемку местности выполняют со следующими **целями**:

1. Решение задачи общегосударственного картографирования.
2. Обслуживание объектов народного хозяйства: строительных месторождений полезных ископаемых и т.д.

#### **Виды съемок, их классификация.**

##### **Общие сведения о способах производства топографических съемок**

По способам выполнения топографических съемок различают следующие **виды съемок**: аэрофотосъемка, наземная и комбинированная.

**Аэрофотосъемка** обычно выполняется **стереотопографическим методом**, когда снимки местности получают с помощью фотоаппаратов, установленных на самолете, а обработку снимков и рисовку плана выполняют в камеральных условиях на стереоприборах.

**Комбинированная съемка** является комбинацией аэрофотосъемки и наземной съемки; плановая ситуация рисуется по аэроснимкам, а рельеф снимают на фотоплан в полевых условиях.

Аэрофотосъемка и комбинированная съемка являются основными методами создания карт и планов на большие территории.

**Наземная съемка** выполняется с поверхности земли. Ее применяют при создании крупномасштабных планов небольших участков, когда применение аэрофотосъемки либо невозможно, либо экономически невыгодно.

В зависимости от методики съемки и применяемых приборов наземная съемка может быть нескольких видов:

– **Тахеометрическая** (когда съемка выполняется с помощью тахеометра или теодолита и в результате получают данные для изображения на картах и планах ситуации местности и рельефа).

– **Мензульная** (когда съемка выполняется с помощью кипрегеля и мензулы, на которую прикрепляется планшет с координатной основой и нанесенными точками съемочного обоснования в масштабе съемки; ситуация и рельеф рисуется на планшете непосредственно на местности).

– **Горизонтальная, или теодолитная:** при горизонтальной съемке получают план участка местности, на котором изображена только ситуация без изображения рельефа.

– **Вертикальная, или высотная:** при вертикальной съемке получают план с изображением рельефа практически без плановой ситуации.

– **Фототеодолитная:** при данной съемке с помощью фототеодолита получают фотоснимки местности, а их обработку и рисовку плана выполняют на стереоприборах.

## **8.2. Выбор масштаба топографических съемок и высоты сечения рельефа**

Масштаб и высота сечения рельефа определяют содержание и точность ситуации и рельефа на топографической карте или плане. С укрупнением масштаба съемки и уменьшением высоты сечения рельефа повышается точность планов и карт и подробность изображения на них ситуации и рельефа местности. Однако с повышением точности и подробности съемки увеличивается и стоимость ее выполнения на единицу площади. Поэтому при топографической съемке следует выбирать такой ее масштаб и сечение рельефа, которые бы обеспечивали необходимую точность, детальность и полноту изображения элементов местности при минимальной стоимости работ. Следовательно, основным критерием правильного выбора масштаба съемки и высоты сечения рельефа является соответствие между точностью плана и карты и требуемой точностью съемки в зависимости от конкретной цели ее выполнения. Например, соответствие между

точностью плана и требуемой точностью проектирования строительного объекта и перенесения проекта в натуру.

Под **точностью топографического плана (карты)** понимают допустимые средние или предельные погрешности в положении контуров, предметов местности и высот точек по отношению к плановому и высотному обоснованию. Величины этих погрешностей определены инструкцией по топографическим съемкам и для съемок масштабов 1 : 5 000 – 1 : 500 приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Характеристики точности топографических планов и карт масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500**

Наименование погрешности	Характеристика точности в зависимости от категории объекта, не более	
	открытые равнинные районы	горные и залесенные районы
Ср. погрешность в положении на плане предметов и четких контуров местности относительно ближайших точек съемочного обоснования	0,5 мм	0,7 мм
Погрешность взаимного положения четких контуров на плане (капитальных сооружений и зданий)	0,4 мм	0,4 мм
Средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек высотного съемочного обоснования	$1/4h$ (при углах наклона до $2^\circ$ )  $1/3h$ (при углах наклона от $2^\circ$ до $6^\circ$ ) для планов 1 : 5 000 – 1 : 2 000	Допуски увеличиваются в 1,5 раза
Средние погрешности высот характерных точек рельефа	$1/3h$ (при углах наклона от $2^\circ$ до $10^\circ$ ) для планов 1 : 1 000 – 1 : 500;  Не более $1/3h$	

$h$  – высота сечения рельефа.

Факторы, влияющие на выбор масштаба съемки и высоты сечения рельефа, делятся на природные, технические и экономические.

Для выполнения съемки для нужд гражданского и промышленного строительства выбор масштаба съемки регламентируется многочисленны-

ми нормативными документами, учитывающими специфику отдельных видов строительства. Для отдельных этапов проектирования устанавливаются, как правило, 2 или 3 масштаба съемки.

Для предрасчета масштаба съемки с учетом требований проектирования к размещению зданий и сооружений в натуре при графическом способе подготовки проектных данных можно использовать формулу

$$M = 0,067 * \frac{\Delta_{cmp}}{m_{граф}}, \quad (8.1)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба;

$\Delta_{cmp}$  – строительный допуск на размещение объекта в натуре;

$m_{граф}$  – графическая точность масштаба плана.

При  $\Delta_{cmp} = 1$  м,  $m_{граф} = 0,1$  мм масштаб съемки  $1 : M = 1 : 670$ .

При выборе масштаба съемки для геологических и маркшейдерских целей используют формулу

$$M = 1000 * \sqrt{P_{за}}, \quad (8.2)$$

где  $P_{за}$  – площадь участка в гектарах.

При разведке месторождений полезных ископаемых обычно используют масштаб от  $1 : 2\,000$  до  $1 : 10\,000$ .

Высота сечения рельефа устанавливается в зависимости от масштаба плана или карты с таким расчетом, чтобы горизонтали на плане не сливались между собой, рельеф изображался достаточно точно и хорошо читался.

Для топографических карт масштабов  $1 : 5\,000 - 1 : 25\,000$  высоту сечения рельефа можно рассчитать по формуле:

$$h = 0,2M, \text{ мм}, \quad (8.3)$$

где  $M$  – знаменатель численного масштаба карты.

Так, для масштаба  $1 : 10\,000$   $h = 2$  м, для масштаба  $1 : 5\,000$   $h = 1$  м.

В зависимости от характера рельефа местности для каждого масштаба съемки принято 2 – 4 высоты сечения рельефа (табл. 8.2).

В исключительных случаях в равнинных районах разрешается принимать высоту сечения рельефа, равную 0,25 м. На участках, где расстояния между основными горизонталями превышает 2,5 см в плане, для изображения характерных деталей рельефа следует обязательно проводить полугоризонтали.

**Пределы изменения высоты сечения рельефа для различных масштабов  
в зависимости от характера рельефа местности**

Масштаб	Высота сечения рельефа в зависимости от характера рельефа (равнинный, всхолмленный, пересеченный, предгорный, горный)
1 : 5 000	0,5 – 5 м
1 : 2 000	0,5 – 2 м
1 : 1 000 и 1 : 500	0,5 – 1 м

### 8.3. Наземная съемка

Из перечисленных выше видов наземной съемки по программе 1-го курса рассматривают теодолитную, тахеометрическую, мензультную и высотную съемки. Начнем изучение с теодолитной съемки.

#### 8.3.1. Теодолитная съемка

**Теодолитная, или горизонтальная, съемка** заключается в производстве измерений горизонтальных углов и расстояний до характерных точек местности, дающих возможность составить план этой местности с изображением на нем только ситуации, т.е. контуров объектов, но без рельефа. Как правило, теодолитную съемку выполняют на застроенной территории.

**Теодолитная съемка** состоит из следующих этапов:

- 1) подготовительные работы;
- 2) создание съемочного обоснования (проложение и обработка теодолитных ходов);
- 3) производство съемки;
- 4) обработка материалов съемки (вычислительные, графические и оформительские работы).

В процессе **подготовительных работ** составляют проект проведения съемки. При этом изучают местность по имеющимся на данный район картам, намечают схемы теодолитных ходов и пункты опорной геодезической сети, к которым они будут привязаны, запрашивают в соответствующих организациях координаты этих пунктов и устанавливают последовательность выполнения работ.

Создание **съемочного обоснования:** при выполнении теодолитной съемки создается только плановое съемочное обоснование путем проложе-

ния теодолитных ходов или развития засечек (угловых, линейных, линейно-угловых, прямых, обратных). Преимущественно ориентируются на теодолитный ход, проложение и обработку которого мы с вами подробно рассмотрели ранее (разделы 7.3.3, 7.3.4).

#### **8.3.1.1. Способы теодолитной съемки**

Теодолитная съемка производится с точек теодолитного хода способами:

- перпендикуляров (прямоугольных координат);
- засечек (угловых и линейных);
- полярным;
- обхода;
- створов.

Выбор способа съемки зависит от характера снимаемой ситуации и от требований к точности съемки. Средние ошибки в положении на плане объектов ситуации с четкими очертаниями относительно ближайших пунктов теодолитных ходов не должны быть больше 0,5 мм в масштабе плана, а в горных районах – 0,7 мм. Ошибки во взаимном положении на плане точек близлежащих капитальных сооружений и зданий не должны превосходить 0,4 мм.

**Способ перпендикуляров** (рис. 8.1) применяется для съемки объектов ситуации, расположенных вблизи сторон теодолитных ходов (съемочной линии). Положение точки объекта определяется путем измерения длины перпендикуляра (ордината), опущенного от этой точки на съемочную линию, и расстояния (абсцисса) от начала линии до основания перпендикуляра. Абсциссу обычно измеряют стальной лентой, а ординату – рулеткой. Короткие (до 20 м) перпендикуляры строят на глаз или при помощи рулетки, более длинные – оптическим экером (табл. 8.3).

**Линейная засечка** применяется для съемки долговременных объектов ситуации с четкими очертаниями (здания, инженерные сооружения и т.д.). Расстояния измеряют от точек съемочного обоснования до определяемой точки, которые не должны быть более 20 м.

**Способ угловой засечки** (рис. 8.1) применяют обычно в случае, если расстояния до определяемой точки определить затруднительно. С двух известных точек съемочного обоснования измеряют углы между стороной теодолитного хода и направлением на определяемую точку снимаемого объекта. Угол засечки (угол при вершине определяемой точки) должен

быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Расстояния до определяемой точки не должны превышать 200 м при съемке в масштабе 1 : 2 000 и 300 м при съемке 1 : 5 000.

Таблица 8.3

**Способ построения перпендикуляра в зависимости от характера местности и масштаба съемки**

Характер местности, Масштаб съемки	Предельная длина перпендикуляра (м) при построении его	
	на глаз	экером
<b>Застроенная территория:</b>		
Масштаб 1 : 500	4	20
1 : 1 000	6	40
1 : 2 000 и 1 : 5 000	8	60
<b>Незастроенная территория, масштаб 1 : 10 000:</b>		
четко выраженные контуры	10	100
нечетко выраженные контуры	20	100

**Полярный способ**, или **способ полярных координат**, (рис. 8.1) при производстве теодолитной съемки состоит в измерении полярного расстояния от точки стояния теодолита, совпадающей с известной точкой съемочного обоснования, до определяемой точки и полярного горизонтального угла между стороной теодолитного хода (полярная ось) и направлением на определяемую точку.

**Способ обхода** обычно применяют для съемки таких объектов, как труднопроходимое болото, озеро или засеянная пашня, которые из-за дальности и местных препятствий не могут быть засняты с основного теодолитного хода. Вокруг снимаемого объекта с пунктов теодолитного хода прокладывают дополнительный ход, который привязывают к основному ходу. Стараются, чтобы контур объекта совпал со сторонами дополнительного хода. Если это невозможно и контур объекта не совпадает со сторонами хода, то съемку контура выполняют с пунктов дополнительного хода способом перпендикуляров.

**Способ створов** заключается в определении положения объектов ситуации относительно створной линии, концами которой, как правило, являются пункты теодолитного хода, либо створные точки, расположенные на сторонах хода, или уже снятые точки долговременных предметов местности, например, зданий. Способ створов часто применяют при съемке застроенных территорий, сочетая его со способом перпендикуляров и линейных засечек. Створные линии иногда совмещают с очертаниями крупных зданий. Для обеспечения съемки достаточным числом створных точек

их намечают на сторонах теодолитных ходов через 20 м в масштабе 1 : 500, через 40 м – при съемке в масштабе 1 : 1 000 и через 60 м – при съемке в масштабе 1 : 2 000. При съемке ведут абрис.

Чаще всего теодолитная съемка выполняется с использованием различных способов. Пример сочетания различных способов при выполнении теодолитной съемки приведен на рис 8.1.

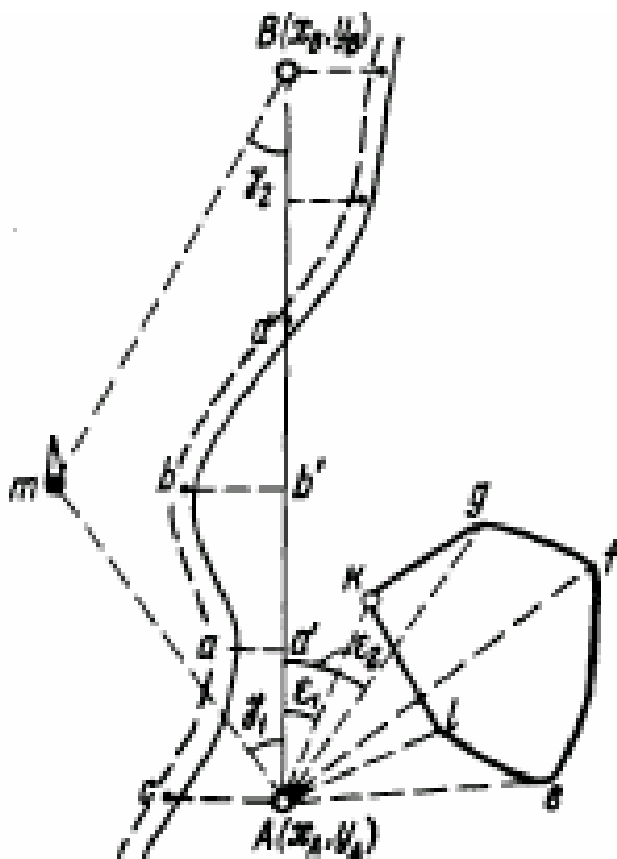


Рис. 8.1. Пример теодолитной съемки, выполненной сочетанием различных способов:

$A, B$  – пункты теодолитного хода (закреплены на местности и имеющие координаты).  $AB$  – сторона теодолитного хода, которая может рассматриваться как заданный створ и как съемочная линия. Съемка линейного контура производится от нее способом перпендикуляров.  $Aa', Ab', Aa''$  и т.д. – абсциссы (расстояния по створу до основания перпендикуляров от точки хода  $A$ ;  $Ac, a'a$  и т.д. – ординаты (длины перпендикуляров).

Точка  $m$  определена способом угловой засечки. Углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  измерены с пунктов теодолитного хода.

Точки контура  $k, g, f, в, l$  определены полярным способом ( $\epsilon_1, \epsilon_2$  и т.д. – полярные углы;  $Ak, Ag$  и т.д. – полярные расстояния).



### 8.3.1.2 Производство измерений в теодолитной съемке и составление абриса

При применении способов угловой засечки и полярных координат измерение углов выполняют при одном положении круга, а расстояния определяют с точностью до 1 см. Контроль съемки ситуации выполняют выборочно путем повторной съемки одной и той же точки другим способом.

Производство теодолитной съемки обязательно сопровождается составлением абриса.

Абрис – это подробный чертеж ситуации в произвольном масштабе, на котором показываются точки съемочного обоснования (теодолитного хода), все контуры (здания, дороги, гидрография, характерные предметы местности и т.д.) и результаты измерений до них, выполняемых в процессе теодолитной съемки (рис. 8.2 – 8.6).

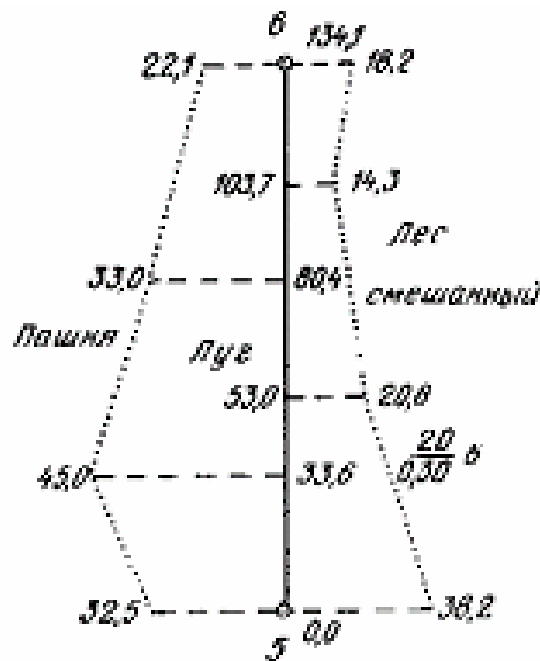


Рис. 8.2. Абрис теодолитной съемки способом перпендикуляров:

5, 6 – точки теодолитного хода (5-6 сторона теодолитного хода длиной 134,1 м); 33,6, 53,0, 80,4, 103,7, 134,1 – створные точки по стороне теодолитного хода, на которых обозначены расстояния от точки 5 против характерных точек контуров. Со створных ходов с помощью экера откладывают перпендикуляры на характерные точки контура и измеряют расстояния от начальной точки стороны до точки перпендикуляра и длину перпендикуляра до точки контура; 32,5, 45,0, 33,0, 22,1 – длины перпендикуляров до характерных точек контура пашни; 20,8, 14,3, 18,2 – длины перпендикуляров до характерных точек контура смешанного леса;  $\frac{20}{0,3}$  – характеристика леса

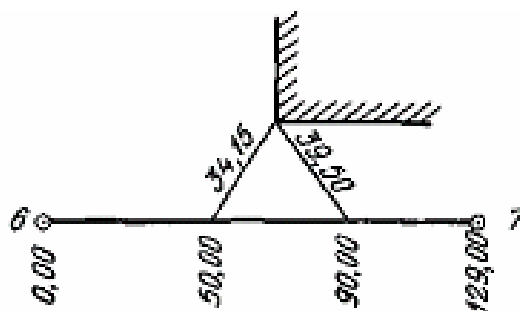


Рис. 8.3. Абрис способом линейной засечки:

6, 7 – точки теодолитного хода; 50,00 90,00 129,00 – обозначены расстояния до створных точек от точки 6. Линейная засечка выполнялась с точек 50,00 и 90,00; 34,15 и 39,50 – длины сторон треугольника засечки до угла сооружения

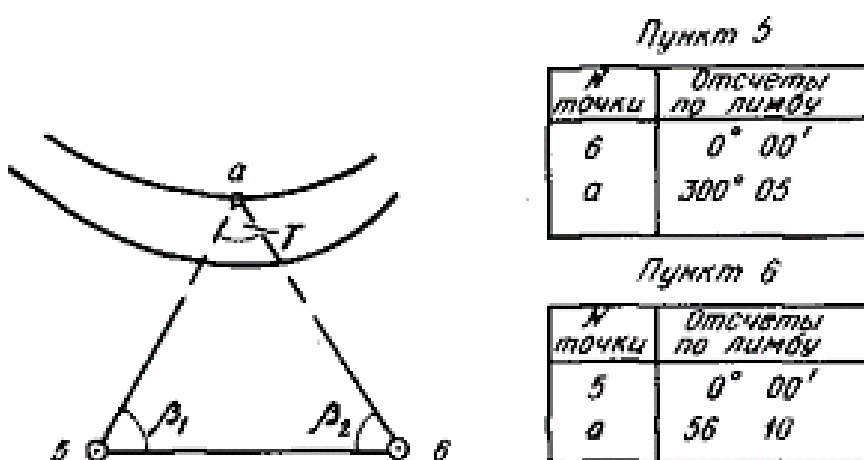


Рис. 8.4. Абрис съемки способом угловой засечки:

5, 6 – пункты теодолитного хода; *a* – точка контура. В табличках на абрисе даны значения углов на точку *a* (с п.5 – начало на 6, отсчет на точку *a* по ходу часовой стрелки – 300° 05' (угол  $\beta_1 = 59^\circ 55'$ ). С пункта 6 – начало на пункт 5, отсчет на точку *a* = 56° 10' (угол  $\beta_2$ )

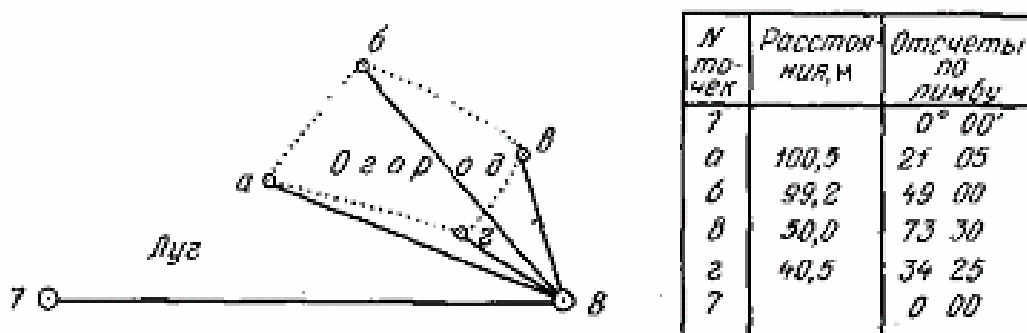


Рис. 8.5. Абрис съемки полярным способом: 7,8 точки теодолитного хода:

съемка выполняется с пункта 8. Теодолит ориентируем на пункт 7 – отсчет 0° 00', затем на точку *a* – отсчет 21° 05', расстояние 100,5 м и т.д. Для контроля вновь наводимся на точку 7

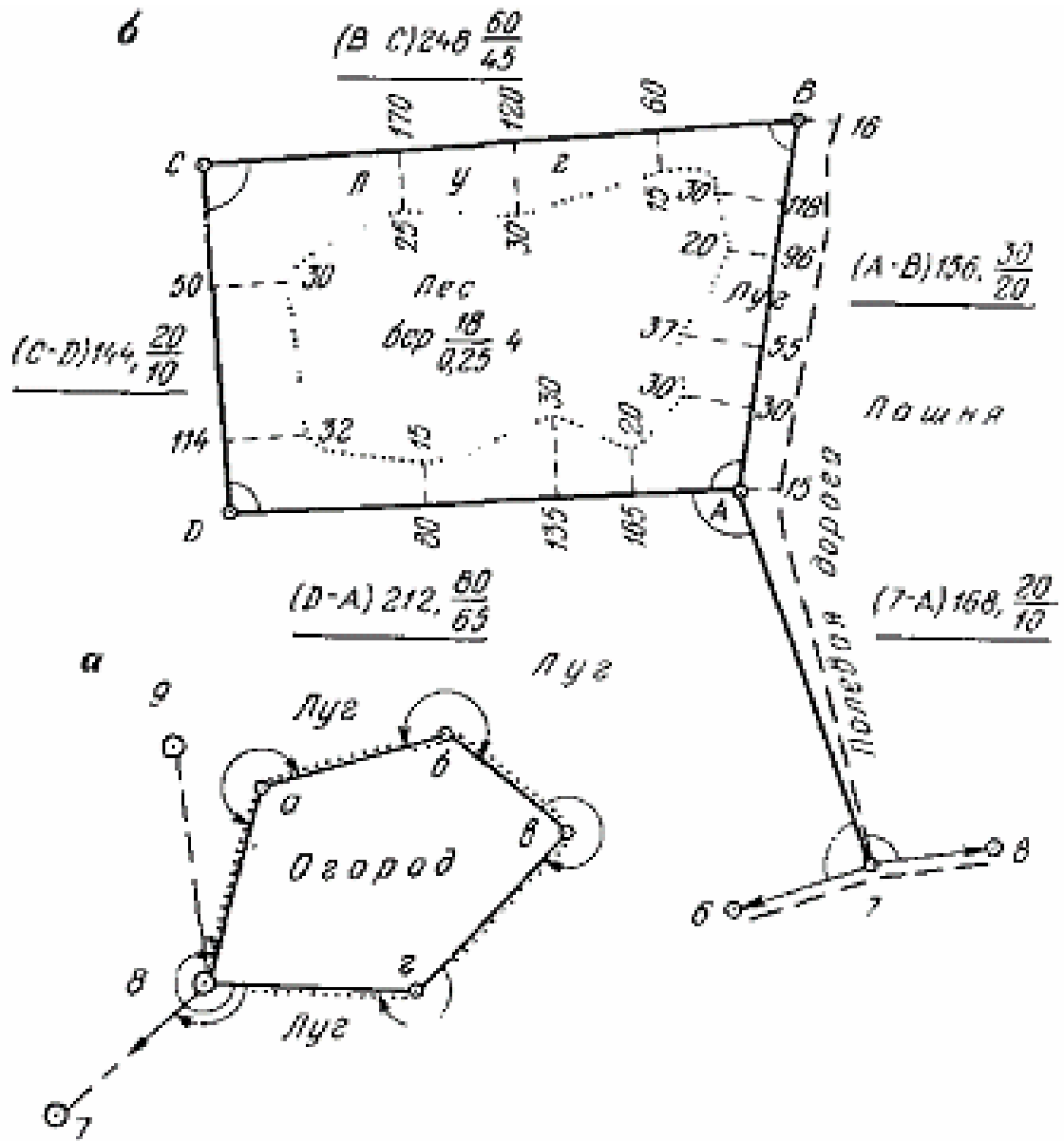


Рис. 8.6. Абрис съемки способом обхода (а) и способом обхода в сочетании со способом перпендикуляров (б):

На рис. (а) 7, 8, 9 – пункты основного теодолитного хода; 8, а, б, в, г – пункты дополнительного съемочного хода, совпадающие с точками контура.

На рис. (б) точки А, D, С, В – точки дополнительного съемочного хода, не совпадающие с точками контура. Контур снимается способом перпендикуляров со сторон дополнительного съемочного хода ADCB.

После окончания полевых измерений и составления абриса по материалам съемки составляется план теодолитной съемки (рис. 8.7).

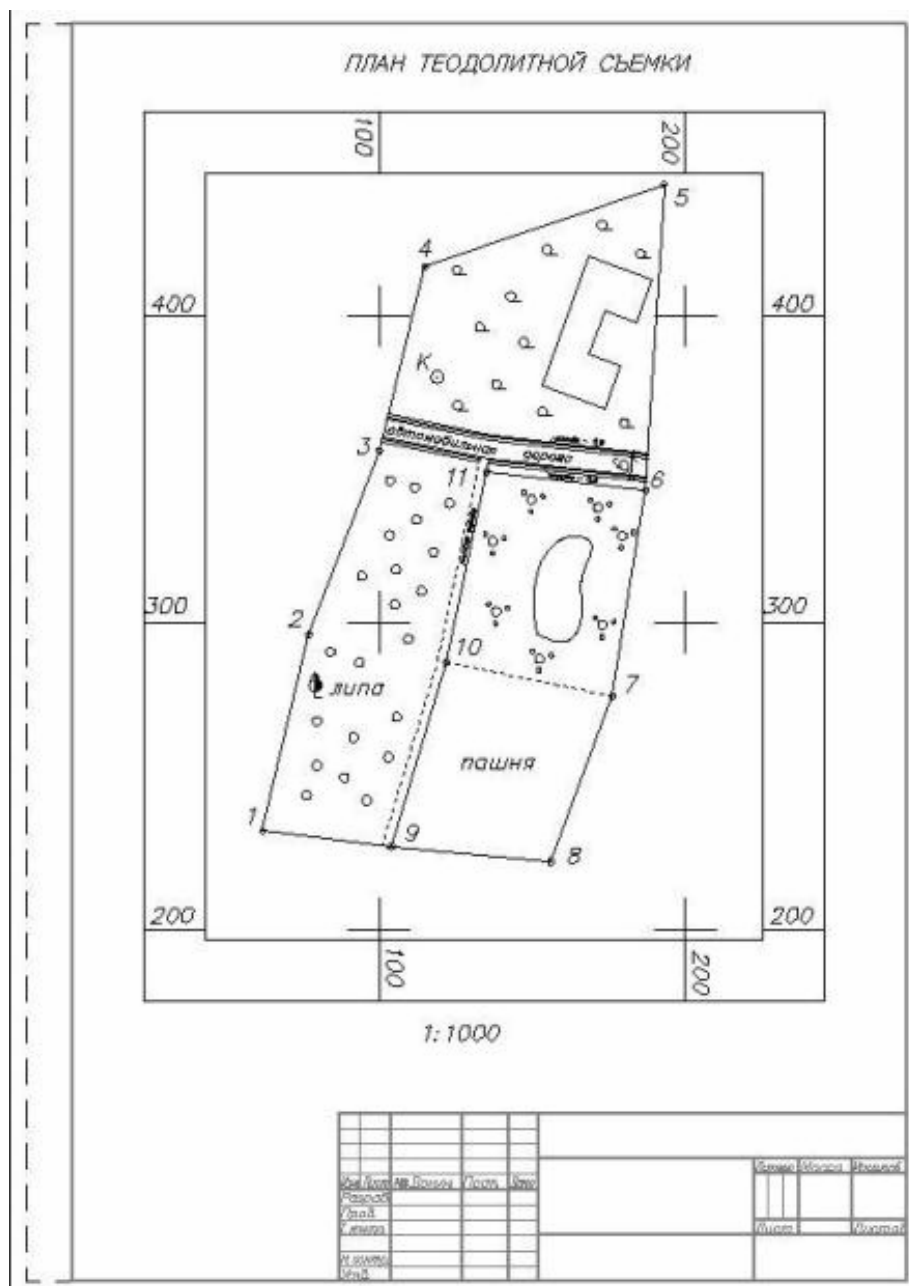


Рис. 8.7. План теодолитной съемки

### 8.3.2. Тахеометрическая съемка местности

Тахеометрическая съемка (тахеометрия – быстрое измерение) в настоящее время является наиболее распространенным видом наземной съемки. Она выполняется с помощью тахеометров или теодолитов. Тахеометры предназначены для измерения горизонтальных, вертикальных углов (превышений) и расстояний. Предпочтение использования тахеометров

при выполнении съемки объясняется внедрением в производство электронных тахеометров-автоматов, которые позволяют автоматизировать процесс выполнения полевых работ, математической обработки и графического оформления.

В процессе тахеометрической съемки ситуацию и рельеф снимают одновременно, план местности составляют в камеральных условиях. Таким образом, **тахеометрическая съемка отличается от теодолитной съемки тем, что в результате ее выполнения на плане и карте должны быть отображены ситуация и рельеф местности, а в теодолитной – только ситуация.** Для получения превышений между точками снимаемой местности в тахеометрической съемке измеряется еще и вертикальный угол.

### **8.3.2.1 Создание планово-высотного съемочного обоснования для тахеометрической съемки**

Съемочным обоснованием тахеометрической съемки служит теодолитно-нивелирный ход (обязателен при съемках масштаба 1 : 500, 1 : 1 000) или тахеометрический ход (при съемках масштаба 1 : 2 000 – 1 : 5 000). Теодолитно-нивелирный ход получается, когда по пунктам теодолитного хода прокладывают с помощью нивелира ход технического нивелирования. В результате пункты теодолитного хода получают не только плановые координаты  $x$ ,  $y$ , но и высоту  $H$ , найденную из геометрического нивелирования. Пункты тахеометрического хода также имеют не только плановые координаты  $x$ ,  $y$ , но и высоту  $H$ . Но в отличие от предыдущего случая высоты пунктов тахеометрического хода получены из тригонометрического нивелирования.

Эти ходы должны быть привязаны в плане и по высоте к пунктам государственной или местной опорной сети (плановой и высотной).

В данном курсе мы рассматриваем проложение тахеометрического хода и выполнение тахеометрической съемки с помощью теодолита.

**Методика проложения тахеометрического хода с помощью теодолита** следующая:

1. На каждом пункте хода измеряют горизонтальный угол, углы наклона на заднюю и переднюю точки и дальномерное расстояние прямо и обратно.

– Расстояния измеряются нитяным дальномером: допуск на расхождение расстояний прямо и обратно равен  $1/300$ .

– Горизонтальные и вертикальные углы измеряются при КЛ и КП. Расхождение значений углов при разных кругах не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита, т.е для 2Т30 и 4Т30 –  $1'$ . Вертикальные углы в тахеометрическом ходе также измеряются прямо и

тикальные углы в тахеометрическом ходе также измеряются прямо и обратно.

– Превышения между точками определяют методом тригонометрического нивелирования. Расхождение значений превышений, полученных в прямом и обратном направлениях, не должно быть более 4 см на 100 м.

Уравнивание тахеометрического хода выполняют отдельно для координат (как в теодолитном ходе) и превышений (как в высотном ходе). Допустимые невязки вычисляют по следующим формулам:

– **угловую**

$$f_{\beta \text{ don.}} = 1' * \sqrt{n}; \quad (8.4)$$

– **абсолютную**

$$f_{S \text{ don.}} = \frac{\sum S}{400 * \sqrt{n}}; \quad (8.5)$$

– **высотную**

$$f_{h \text{ don. CM}} = \frac{0,04 * \sum S}{\sqrt{n}}. \quad (8.6)$$

Здесь  $n$  – число измеренных углов хода;

$\sum S$  – длина хода в метрах.

Требования, предъявляемые к тахеометрическому ходу даны в табл. 8.4.

Таблица 8.4

**Требования, предъявляемые к тахеометрическому ходу**

Масштаб съемки	Допустимые значения		
	Длины хода м	Длины стороны, м	Число сторон в ходе
1 : 5 000	1 200	300	6
1 : 2 000	600	200	5
1 : 1 000	300	150	3
1 : 500	200	100	2

### 8.3.2.2. Методика выполнения тахеометрической съемки

Тахеометрическая съемка выполняется с пунктов съемочного обоснования полярным способом (рис. 8.8). Теодолит центрируют над пунктом  $A$ , горизонтируют, приводят трубу в рабочее положение и ориентируют на соседний пункт  $B$  съемочного обоснования, т.е. устанавливают на горизонтальном лимбе отсчет  $0^\circ 0'$  при наведении трубы на этот пункт. Таким образом, полюсом полярной местной системы координат является пункт  $A$ , а направление полярной оси совмещается с направлением  $AB$ .

Трубу теодолита наводят на рейку, установленную в какой-либо точке местности (пикет), и измеряют три величины, определяющие положение снимаемой точки в плане и по высоте: горизонтальный полярный угол  $\beta$ , угол наклона  $\nu$  и дальномерное расстояние  $S$ .

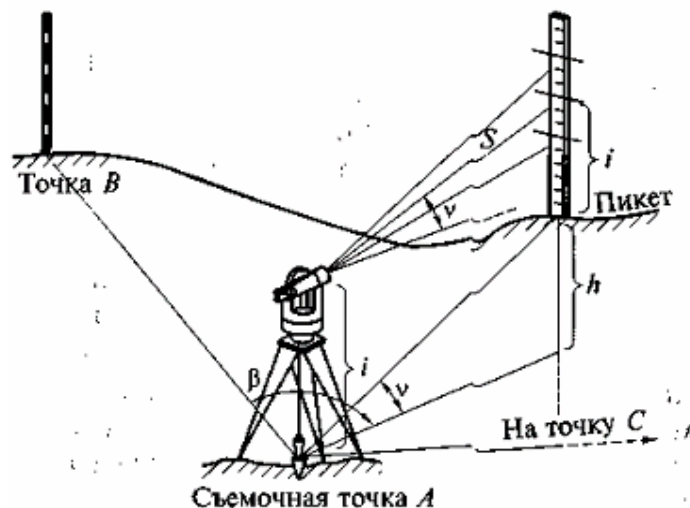


Рис. 8.8. Схема работы на съемочной точке А при тахеометрической съемке

Затем вычисляют горизонтальное проложение и превышение. Напомним формулы для случая, когда расстояние определяется по нитяному дальномеру.

$$D = S \cdot \cos^2(\nu), \quad (8.7)$$

где  $D$  – горизонтальное проложение;  
 $S$  – наклонное расстояние, полученное по нитяному дальномеру;

$$h = S \cdot \cos^2(\nu) \cdot \operatorname{tg}(\nu) + i - V = 0,5S \cdot \sin(2\nu) + i - V, \quad (8.8)$$

где  $\nu$  – угол наклона;  
 $i$  – высота теодолита;  
 $V$  – высота визирования.

Часто при съемке делают, чтобы высота теодолита была равна высоте визирования ( $i = V$ ). Тогда формула для определения превышения упрощается:

$$h = 0,5S \cdot \sin(2\nu). \quad (8.9)$$

Точка установки рейки называется пикетом; различают высотные и плановые пикеты.

**Высотные пикеты** располагают во всех характерных точках и линиях рельефа (рис. 8.9): на вершинах гор и холмов, на дне котловин и впадин, по линиям водослива лощин и водораздела хребтов, у подошв гор и хреб-

тов, у бровок котловин и лощин, в точках седловин, на линиях перегиба скатов и т.п. Расстояние между высотными пикетами не должно превышать: 40 мм на плане при масштабе съемки 1 : 500 (20 м на местности), 30 мм – при масштабе 1 : 1 000 (30 м на местности), 20 мм – при масштабе 1 : 2 000 (40 м на местности), чтобы при рисовке рельефа было удобно выполнять интерполирование горизонталей. Главное условие выбора высотных пикетов – чтобы местность не имела между соседними пикетами перегибов ската.

Чем больше высотных пикетов, тем легче рисовать рельеф на плане, но не надо забывать, что объем выполненной работы определяется не числом пикетов, а заснятой площадью в гектарах или в квадратных километрах. Поэтому пикетов надо набирать столько, сколько требуется для правильной рисовки рельефа.

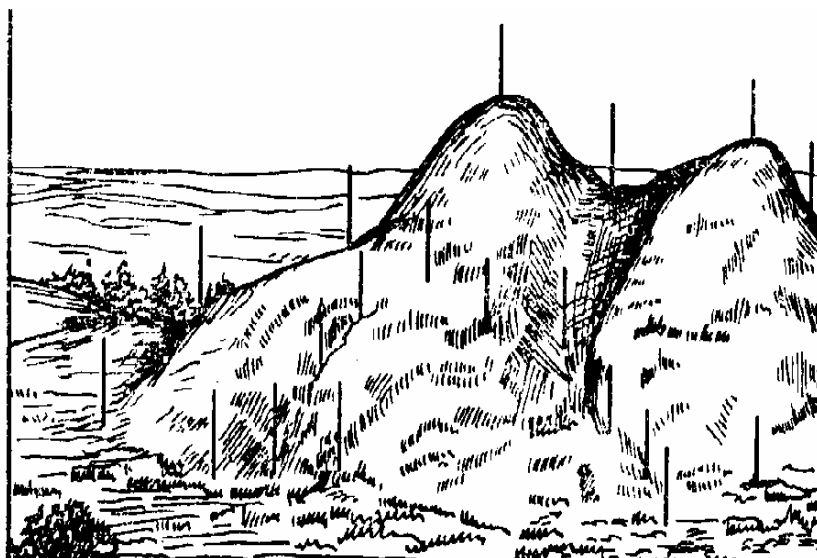


Рис. 8.9. Выбор пикетов при съемке рельефа  
Пикеты на рисунке показаны в виде вертикально стоящих реек

**Плановые пикеты** располагают на контурах и объектах местности; иногда плановые пикеты называют речными точками. При замене криволинейных контуров ломаными линиями ошибка спрямления не должна превышать 0,5 мм в масштабе плана.

Требуемая точность измерения горизонтальных углов и расстояний при тахеометрической съемке такая же, как и при горизонтальной съемке:

$$m_{\beta} = 24', \quad \frac{m_s}{S} = \frac{1}{150}.$$

Допустимая ошибка измерения угла наклона  $m_v = 10'$ .



Поскольку требования к точности измерений при тахеометрической съемке невысокие, то измерения при съемке пикетов выполняют по упрощенной методике:

- горизонтальные углы измеряют при одном положении круга;
- расстояния, измеряемые по нитяному дальномеру, округляют до целых метров при съемке в масштабах 1 : 2 000 или 1 : 5 000; или до 0,1 м при съемке масштаба 1 : 1 000 и 1 : 500;
- углы наклона измеряют при одном положении круга (как правило, левом).

Все результаты измерений записывают в журнал тахеометрической съемки (табл. 8.5); затем там же вычисляют углы наклона, горизонтальные проложения, превышения пикетов относительно точки стояния теодолита и отметки пикетов. Одновременно с ведением журнала составляют схематический чертеж местности – **кроки**, на котором показывают все заснятые с этой станции пикеты, контуры, ситуацию, формы рельефа, направления скатов. Иногда кроки рисуют до начала съемки, намечая на нем плановые и высотные пикеты, и затем уже ведут съемку в соответствии с ними.

По окончании работы на станции контролируют положение лимба; последний контрольный отсчет записывают в журнал.

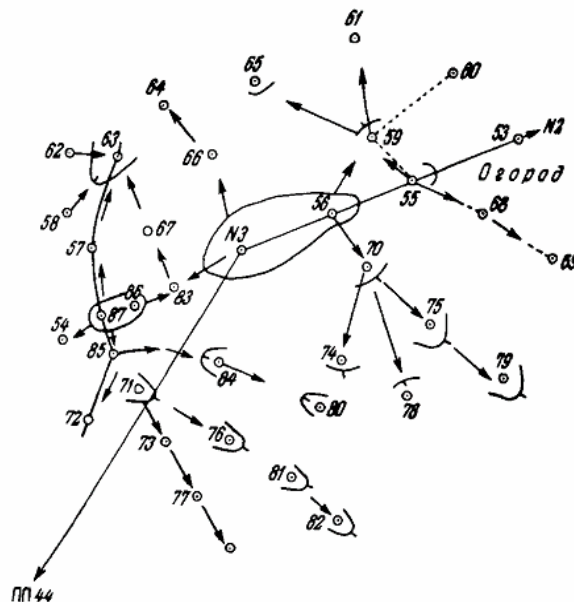


Рис. 8.10. Кроки для тахеометрической съемки:

N3, ПП4, N2 – точки тахеометрического хода (соответственно, точка стояния, предыдущая, последующая); 55, 56... 87 – пикеты. Стрелками показаны направления ската

Таблица 8.5

## Журнал тахеометрической съемки, ст. А

$H_A = 79,85$  м, ориентирование на ст. В (горизонтальный круг  $0^\circ 00'$ )

$i = 1,40$  м, КЛ =  $2^\circ 42'$ , КП =  $-2^\circ 44'$ ; МО =  $-1'$ . Измерения выполнены при КЛ.

№№ точек	Отсчеты			Угол наклона $V = \text{КЛ}-\text{МО}$	Высота виз-я	Гор. положение, м (Ф. 4)	$h$ , м	Превышение $h$ , м	Отметка $H$ , м $H_i = H_A + h_i$	Примечание
	по рейке, $S$ , м	по гор. кругу	по верт. кругу							
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	И
Ст.В	–	<b>00°00'</b>								
1	10,0	<b>50°50'</b>	0°16'	0°17'	<i>i</i>	<b>10.0</b>		0.05	<b>79.90</b>	Ручей
2	16,9	<b>19°25'</b>	1°55'	1°56'	<i>i</i>	<b>16.9</b>		0.57	<b>80.42</b>	Ручей, тропа
3	12,4	<b>340°02'</b>	4°08'	4°09'	<i>i</i>	<b>12.4</b>		0.90	<b>80.75</b>	тропа
4	25,1	<b>355°15'</b>	2°50'	2°51'	<i>i</i>	<b>25.1</b>		1.25	<b>81.10</b>	
5	35,9	<b>5°00'</b>	2°27'	2°28'	<i>i</i>	<b>35.9</b>		1.55	<b>81.40</b>	Забор
6	28,0	<b>18°50'</b>	2°40'	2°41'	<i>i</i>	<b>28.0</b>		1.31	<b>81.16</b>	
7	36,5	<b>40°23'</b>	2°26'	2°27'	<i>i</i>	<b>36.5</b>		1.56	<b>81.41</b>	
8	43,6	<b>53°24'</b>	2°35'	2°36'	1.60	<b>43.6</b>	1.98	1.78	<b>81.63</b>	
9	36,5	<b>66°07'</b>	2°28'	2°29'	<i>i</i>	<b>36.5</b>		1.58	<b>81.43</b>	тропа
10	23,2	<b>48°00'</b>	2°19'	2°20'	<i>i</i>	<b>23.2</b>		0.95	<b>80.80</b>	
11	20,2	<b>80°56'</b>	0°52'	0°53'	<i>i</i>	<b>20.2</b>		0.31	<b>80.16</b>	Граница леса
12	32,5	<b>86°30'</b>	1°08'	1°09'	<i>i</i>	<b>32.5</b>		0.65	<b>80.50</b>	То же
13	27,2	<b>101°12.5'</b>	-1°42'	-1°41'	<i>i</i>	<b>27.2</b>		-0.80	<b>79.05</b>	Ручей, берег озера
14	14,7	<b>93°05'</b>	-2°02'	-2°01'	<i>i</i>	<b>14.7</b>		-0.52	<b>79.33</b>	Ручей
15	10,7	<b>191°30'</b>	-4°14'	-4°13'	<i>i</i>	<b>10.7</b>		-0.79	<b>79.06</b>	Берег озера
Ст.В		<b>00°00'</b>								



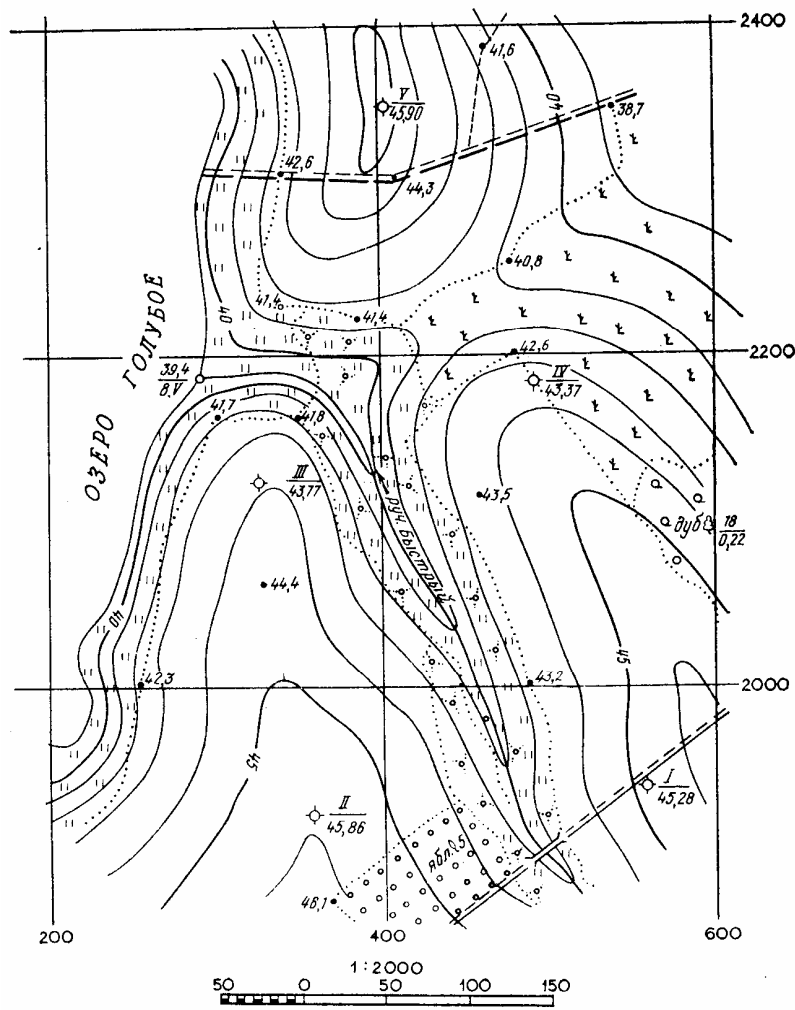


Рис. 8.12. План тахеометрической съемки

### 8.3.3. Мензуральная съемка местности

#### 8.3.3.1. Сущность и приборы для производства мензуральной съемки

Как мы установили выше, при тахеометрической съемке положение снимаемой точки местности определяется ее полярными координатами (в плане) и высотой, полученными по результатам измерения теодолитом горизонтального (полярного) угла, расстояния и вертикального угла. План снятого участка строится в камеральных условиях, причем полярные углы строятся от стороны теодолитного хода (полярной оси) с помощью транспортира (или по хордам стягивающих их дуг), а расстояния до пикетов откладываются по масштабной линейке. При мензуральной съемке план участка местности создается прямо в поле, т.е. результаты съемки ситуации и рельефа наносят на план на каждом пункте, где установлен прибор для съемки. При этом горизонтальные углы не измеряются, а строятся на плане непосредственно в поле. Поэтому мензуральная съемка еще называется уг-

**лоначертательной.** Результаты съемки предметов местности и рельефа наносятся на план непосредственно в поле на каждой станции. Для выполнения мензульной съемки применяют мензулу, кипрегель и рейку; внешний вид комплекта приборов дан ниже (рис. 8.13).

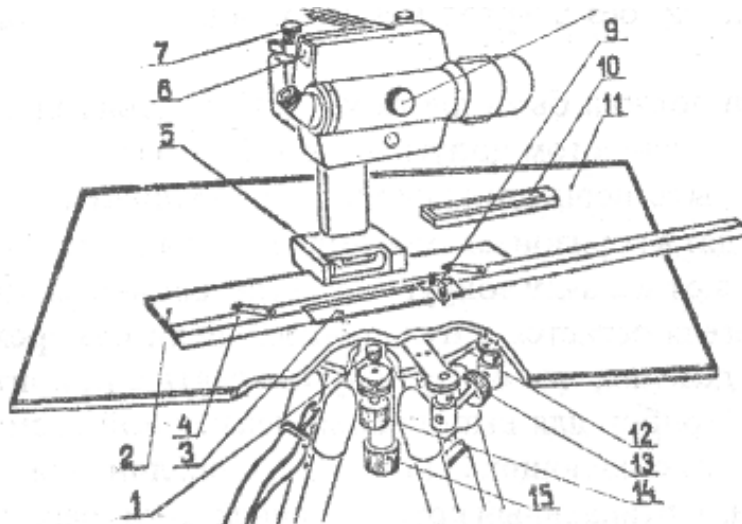


Рис. 8.13. Комплект приборов для мензульной съемки: кипрегель с линейкой; мензула с планшетом, установленным на штатив (столлик):

1 – винт; 2 – линейка основная; 3 – линейка масштабная; 4 – линейка дополнительная; 5 – уровень; 6 – уровень зрительной трубы; 7 – зеркало уровня вертикального круга; 8 – маховичок трибки; 9 – штифт наколочный; 10 – буссоль; 11 – мензульная доска; 12 – диск; 13 – винт наводящий; 14 – винт; 15 – винт закрепительный

Мензула представляет собой столик, который устанавливают на станциях выполнения съемки. Предварительно на мензульную доску наклеивают лист высококачественной чертежной бумаги; в этом виде она называется планшетом. Кипрегель по существу представляет собой верхнюю часть тахеометра. Основными частями его являются длинная линейка (алидада), на которой с помощью колонки укреплена зрительная труба и вертикальный угломерный круг; на линейке имеется цилиндрический уровень. Труба и вертикальный круг имеют общую ось вращения, которая при правильной установке кипрегеля занимает горизонтальное положение; визирная ось трубы при вращении ее вокруг своей оси образует отвесную коллимационную плоскость.

Для построения на планшете горизонтальной проекции угла мензулу устанавливают на планшете в точке *B* так, чтобы верхняя плоскость планшета занимала горизонтальное положение (нивелируют планшет), а точку *б* планшета центрируют над соответствующей ей точкой *B* местности (центрируют планшет). Далее прикладывают скошенный край линейки кипрегеля к точке *б* планшета и, поворачивая кипрегель вокруг нее, наводят трубу

на точку  $A$  местности и прочерчивают остро отточенным карандашом вдоль края линейки линию  $ba'$ . Аналогично получают на планшете сторону  $bc'$  угла  $ABC$ . Прочерченные на планшете направления  $ba'$  и  $bc'$  параллельны горизонтальным проложениям  $BA$  и  $BC$  местности, а угол  $a'bc'$  является горизонтальной проекцией угла  $ABC$  местности. Сравнивая процесс построения угла на планшете с процессом измерения его теодолитом, видим, что роль горизонтального угломерного круга в данном случае выполняет приведенный в горизонтальное положение планшет, а отсчет по кругу заменяется прочерчиванием направления вдоль края линейки кипрегеля.

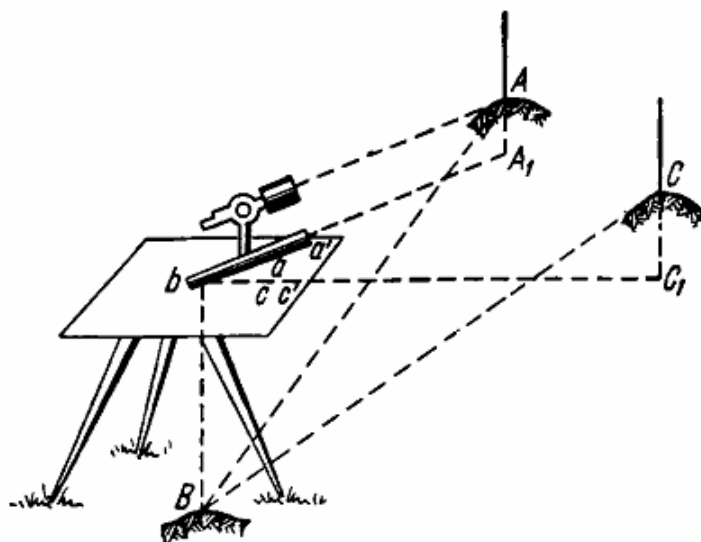


Рис. 8.14. Принцип построения на планшете горизонтальной проекции угла  $ABC$  при мензуральной съемке

Получив на планшете направления на точки местности  $A$  и  $C$ , нетрудно далее изобразить эти точки на планшете, измерив расстояние до них  $D_1$  и  $D_2$  от точки стояния мензулы. Указанные расстояния обычно измеряют имеющимся в трубе кипрегеля нитяным дальномером. По измеренным наклонным расстояниям вычисляют их горизонтальные проложения, которые и откладывают далее от точки  $b$  в масштабе плана на прочерченных направлениях  $ba'$  и  $bc'$ , получая на планшете точки  $a$  и  $c$ , соответствующие точкам  $A$  и  $C$  местности. Высоты точек получают тригонометрическим, а при слабо выраженном рельефе геометрическим нивелированием; их подписывают около соответствующих им точек на плане.

Указанным выше способом на станции выполняют съемку всех непосредственно видимых с нее характерных точек рельефа, предметов и контуров. Затем, руководствуясь отметками точек и глядя на снимаемую местность, изображают на планшете рельеф горизонталями, а ситуацию (контурные и местные предметы) топографическими условными знаками.

Мензульная съемка выполняется полярным способом, при этом направление полярной оси задается направлением, по которому ориентирован планшет.

### **8.3.3.2. Устройство и поверки мензулы**

Как говорилось выше, мензула состоит из штатива, подставки и планшета. Штатив обычно деревянный, укороченный, с нераздвижными ножками; можно использовать и обычный штатив для теодолита. Металлическая или деревянная подставка имеет подъемные винты, а также закрепительный и наводящий винты для вращения планшета вокруг оси подставки. Мензульный планшет – это доска размером 60х60х3 см; она имеет гнезда с резьбой для скрепления с подставкой. На планшет наклеивают чертежную бумагу высокого качества (ватман). В настоящее время применяют прикрепляемый к планшету струбцинами или гвоздями дюралевый лист, на котором наклеен ватман.

#### **Поверки мензулы:**

- Мензула должна быть устойчивой, без люфтов в винтах, в наконечниках ножек штатива и других местах.
- Верхняя поверхность планшета должна быть плоской. Это условие проверяется линейкой; просвет между линейкой и планшетом допускается 0,5 – 1,0 мм.
- Плоскость планшета должна быть перпендикулярна оси вращения подставки.

Порядок выполнения: подъемными винтами планшет приводят в горизонтальное положение и затем, освободив закрепительный винт, медленно вращают мензулу вокруг оси. Если условие выполняется, то пузырек уровня на линейке кипрегеля остается в нульпункте. Если пузырек уровня уклоняется от нульпункта более трех делений, то мензулу нужно сдать в ремонт.

### **8.3.3.3. Устройство и поверки кипрегеля**

Прибор для выполнения мензульной съемки называется кипрегелем. Кипрегель состоит из следующих основных частей: линейка, колонка, ось вращения трубы, зрительная труба, вертикальный круг. На линейке кипрегеля старых моделей имеются цилиндрический уровень и поперечный масштаб; линейка кипрегеля новых моделей раздвижная и без поперечного масштаба.

#### **Поверки кипрегеля:**

1. Нижняя поверхность линейки должна быть плоской, а ее скошенное ребро – прямой линией.

Порядок выполнения: для проверки прямолинейности скошенного ребра проводят по линейке линию, затем поворачивают кипрегель на 180°

и проводят еще одну линию; эти линии должны совпадать или быть строго параллельны.

2. Ось цилиндрического уровня на линейке должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Порядок выполнения: прочерчивают по линейке линию и приводят пузырек уровня в нульпункт; затем поворачивают кипрегель на  $180^\circ$  и ставят на планшет, прикладывая линейку к проведенной линии. Если пузырек сместился, то половину смещения устраняют подъемными винтами подставки, а вторую половину – исправительными винтами уровня.

3. Визирная линия трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы (поверка коллимационной ошибки).

Порядок выполнения: наводят трубу на удаленную точку при КЛ и прочерчивают направление по линейке. Затем поворачивают кипрегель на  $180^\circ$ , переводят трубу через зенит, наводят ее на точку при КП и опять прочерчивают направление по линейке. Если обе линии совпадают, условие соблюдается. В противном случае проводят среднее направление, совмещают с ним линейку кипрегеля и исправительными винтами сетки нитей смещают вертикальную нить так, чтобы она проходила через изображение точки в поле зрения трубы.

4. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Эта поверка соответствует поверке равенства подставок теодолита. Завод гарантирует выполнение этого условия, поэтому при его нарушении кипрегель нужно сдать в ремонт.

5. Вертикальная нить сетки нитей должна совпадать с коллимационной плоскостью кипрегеля, т.е. занимать вертикальное положение (это условие проверяется так же, как у теодолита).

6. Место нуля вертикального круга должно быть малым по величине (желательно  $0^\circ 0'$ ) и постоянным.

Кроме выполнения поверок, нужно определить фактическое значение коэффициента нитяного дальномера.

#### **8.3.3.4. Кипрегель-автомат**

Кипрегель-автомат в отличие от простого кипрегеля позволяет определять по дальномеру горизонтальное проложение линии, а также превышение пикета относительно горизонта инструмента (рис. 8.15). Теория кипрегеля-автомата такая же, как и теория тахеометра-автомата.

На трубе кипрегеля-автомата крепится цилиндрический уровень, который дает возможность использовать кипрегель в качестве нивелира. Если местность вокруг точки установки мензулы не имеет больших перепадов высот, то превышения высотных пикетов можно определять через горизонт прибо-



ра. Для этого устанавливают пузырек уровня на трубе в нульпункт и берут отсчеты по рейке. Отметки пикетов вычисляют по формулам:

$$H_{\Gamma} = H_{cm} + i, \quad (8.10)$$

$$H_{ПК} = H_z - b, \quad (8.11)$$

где  $H_{cm}$  – отметка пункта установки мензулы (станции);

$i$  – высота прибора (расстояние по вертикали от центра пункта до оси вращения трубы кипрегеля);

$H_z$  – горизонт прибора;

$H_{ПК}$  – отметка пикета;

$b$  – отсчет по рейке, установленной на пикете.

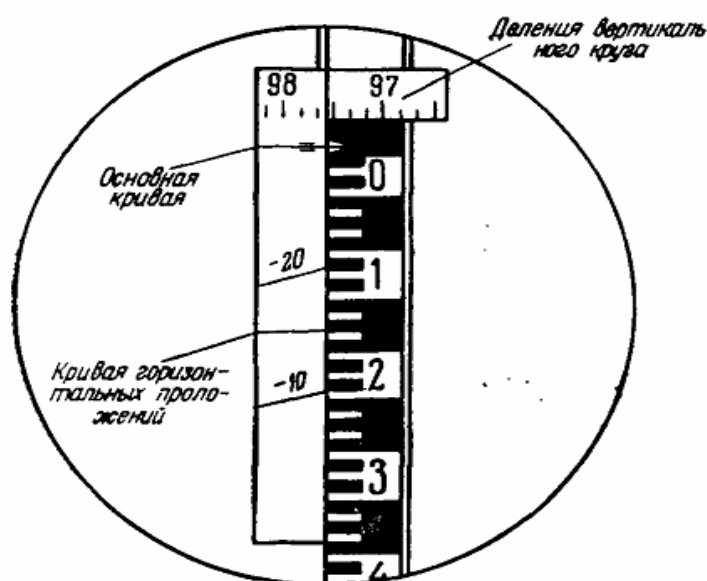


Рис. 8.15. Поле зрения трубы кипрегеля-автомата (изображение обратное): отсчет по вертикальному кругу  $97^{\circ} 33'$ , горизонтальное проложение  $17,8 \text{ см} * 100 = 17,8 \text{ м}$ ; превышение  $24,0 * (-10) = -2,40 \text{ м}$  или  $12,0 * (-20) = -2,40 \text{ м}$

Использование кипрегеля в качестве нивелира требует, чтобы выполнялось **главное условие нивелира: ось уровня при трубе должна быть параллельна визирной линии трубы**. Это условие проверяется двойным нивелированием вперед на расстоянии 80 – 100 м. Если величина  $x$  окажется больше 1 см, то исправительными винтами уровня смещают его относительно трубы.

### Ошибки графических построений

Положение точки на планшете обычно фиксируют наколом иглы циркуля-измерителя. Диаметр накола имеет размеры 0,1 – 0,2 мм; чтобы накол не потерять, его обводят кружком диаметром 2 – 3 мм. Не следует ставить ножки циркуля наклонно, чтобы накол не разрабатывался.

Толщина линии, прочерченной твердым остро отточенным карандашом, в лучшем случае равна 0,1 мм. Ошибка накола точки на пересечении двух линий зависит от угла, под которым пересекаются эти линии. Наименьшая ошибка в положении точки получается при угле пересечения  $90^\circ$ ; она оценивается величиной 0,08 мм. При угле пересечения  $45^\circ$  ошибка увеличивается до 0,2 мм. Отсюда вытекает важное правило: при определении положения точек угловой засечкой следует добиваться, чтобы угол засечки был близок к  $90^\circ$  (практически от  $30^\circ$  до  $150^\circ$ ).

Сформулируем практические правила, которым надо следовать при графическом оформлении результатов мензуральной съемки:

- диаметр накальваемых точек должен быть как можно меньше;
- линии нужно проводить твердым остро отточенным карандашом по далеко разнесенным точкам;
- углы засечек и вообще всех пересекающихся линий должны быть близки к  $90^\circ$ .

#### **8.3.3.5. Создание съемочного обоснования для мензуральной съемки**

Съемочное обоснование для мензуральной съемки создают на основе пунктов опорной геодезической сети, т.е. пунктов ГГС и сетей сгущения. Для построения съемочного обоснования разрешается применять теодолитные и тахеометрические ходы, триангуляционные построения, различные засечки и, кроме того, мензуральные ходы и геометрическую сеть. Первые четыре вида образуют так называемое **аналитическое съемочное обоснование**, т.к. координаты его пунктов получают из уравнивания конкретного геодезического построения. Последние два вида относятся к **графическому съемочному обоснованию**. Применение графического съемочного обоснования позволяет уменьшить плотность аналитического обоснования.

Построение аналитического съемочного обоснования для мензуральной съемки ничем не отличается от разобранных выше планового съемочного обоснования для теодолитной съемки. Поэтому остановимся на графическом съемочном обосновании для мензуральной съемки.

#### **Мензуральный ход**

Мензуральный ход прокладывается между пунктами аналитического обоснования и имеет ограниченную длину, зависящую от масштаба съемки (например, 500 м при масштабе 1 : 2 000 [14]). Положение пунктов мензурального хода определяют графически с помощью кипрегеля. Расстояние между пунктами измеряют нитяным дальномером в прямом и обратном направлениях; допустимое расхождение между  $S_{np}$  и  $S_{обр}$  не должно превышать  $1/200$  от измеряемого расстояния; при съемке в масштабе 1 : 500

расстояния следует измерять мерной лентой или рулеткой. Направления на пункты прочерчивают по линейке кипрегеля.

Поскольку мензульный ход прокладывают между известными пунктами, положение которых на планшете уже зафиксировано, может появиться невязка хода (рис. 8.16).

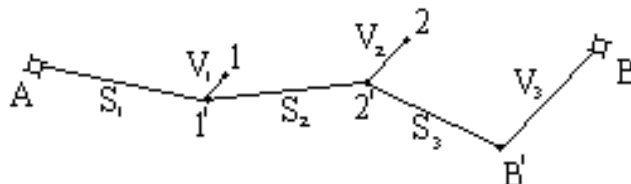


Рис. 8.16. Распределение невязки в мензульном ходе  
( $A, B$  – твердые точки аналитического съемочного обоснования, нанесенные на планшет)

Допустимая линейная невязка мензульного хода на планшете равна 0,8 мм; она распределяется на все пункты хода методом параллельных линий.

$$V_1 = \frac{-S_1 * f_s}{\sum S};$$

$$V_2 = \frac{-(S_1 + S_2) * f_s}{\sum S};$$

$$V_3 = \frac{-(S_1 + S_2 + S_3) * f_s}{\sum S} = -f_s, \quad (8.12)$$

где  $S_1, S_2, S_3$  – длины сторон мензульного хода, м;

$f_s$  – линейная невязка хода на планшете, мм;

$\sum S$  – длина мензульного хода, м;

$V_1, V_2, V_3$  – поправки к положению пунктов хода на планшете, мм.

Превышения между пунктами мензульного хода определяют кипрегелем или нивелиром в прямом и обратном направлениях; расхождение допускается в пределах 4 см на 100 м расстояния. Допустимая высотная невязка мензульного хода подсчитывается по формуле ( $n$  – количество сторон в ходе)

$$f_{h \text{ доп.}} = \frac{0,04 * \sum S}{\sqrt{n}} \text{ (см)}. \quad (8.13)$$

Невязка распределяется в превышения между пунктами хода с обратным знаком пропорционально длинам сторон.

**Геометрическая сеть** развивается при мензульной съемке в масштабе 1 : 5 000 и мельче. Методика ее создания ясна из рис. 8.17.

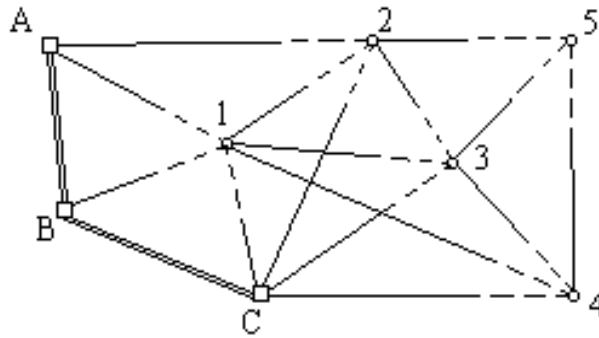


Рис. 8.17. Графический метод создания съемочного обоснования в виде геометрической сети:

$A, B, C$  – пункты аналитического съемочного обоснования;  $1 \dots 5$  – пункты графического съемочного обоснования)

С пунктов аналитического съемочного обоснования  $A, B, C$  строят графическую прямую угловую засечку на точку 1. Далее после получения положения точки 1 на планшете используют ее как исходную и точку 2 получают аналогично предыдущему случаю с точек  $A, 1, C$  и т.д.

Отметки пунктов геометрической сети получают из ходов технического нивелирования или из высотных ходов.

### 8.3.3.6. Подготовка планшета и мензулы к работе

Подготовка планшета к съемке состоит из следующих процессов:

1. До начала съемки в камеральных условиях на планшет наносят координатную сетку и все пункты опорной сети и пункты аналитического съемочного обоснования.

2. Затем выходят в поле и строят графическое съемочное обоснование.

3. За границей плана проводят ориентирные линии.

**Установка мензулы на станции** включает три операции: центрирование, горизонтирование и ориентирование.

**Центрирование мензулы** выполняют с помощью центрировочной вилки.

Центрировать мензулу достаточно с точностью  $0,05 \text{ мм} * M$ , где  $M$  – знаменатель масштаба съемки.

#### **Допуски на ошибку центрирования:**

- для масштабов  $1 : 1\,000$  и  $1 : 500$  – 5 см,
- для масштаба  $1 : 2\,000$  – 10 см,
- для масштаба  $1 : 5\,000$  – 25 см.

Планшеты масштаба  $1 : 5\,000$  и мельче можно центрировать на глаз.

**Горизонтирование планшета** – приведение его верхней плоскости в горизонтальное положение. Оно выполняется с помощью уровня на линейке кипрегеля и подъемных винтов подставки мензулы.

Планшет горизонтируют так, чтобы отклонение пузырька уровня от нуля не превышало трех делений при произвольной установке кипрегеля на планшете.

Перед горизонтированием планшета нужно обязательно выполнить проверку уровня на линейке кипрегеля и проверку перпендикулярности плоскости планшета оси вращения подставки.

**Ориентировать планшет** – значит установить его так, чтобы имеющиеся на нем линии были параллельны горизонтальным проложениям соответствующих линий местности. Ориентирование планшета выполняют с помощью кипрегеля по линиям, соединяющим пункты съемочного обоснования.

### 8.3.3.7. Производство мензульной съемки

Мензульная съемка выполняется с пунктов съемочного обоснования; способы съемки – полярный и засечек. Порядок производства мензульной съемки на станции следующий:

1. Приводят мензулу в рабочее положение (горизонтируют, центрируют, ориентируют).

2. Измеряют высоту инструмента  $i$  (высота мензульного столика над точкой + высота от мензулы до оси вращения кипрегеля) и отмечают ее на рейке.

3. Исполнитель намечает места пикетов и дает задание реечнику в каком порядке их обходить (**Плановые пикеты** – на изгибах контуров, дорог, пересечениях и ответвлениях дорог, у канав, углов изгородей и строений, у отдельных объектов и т.п. **Высотные пикеты** – на характерных точках и линиях рельефа, на перегибах скатов).

Расстояние между высотными пикетами на ровных участках не должно превышать 20 мм на плане; на один квадратный дециметр плана обычно набирают не менее 25 высотных пикетов.

4. На каждой станции после полного набора пикетов проводят контурные линии, наносят условные знаки объектов местности, проводят горизонтали и только после этого переходят на другой пункт съемочного обоснования.

Ежедневно составляют **кальку высот**, на которую копируют все высотные пикеты, а также **кальку контуров**.

### Сводка планшетов по рамкам

После окончания мензульной съемки выполняют сводку по рамкам соседних планшетов. Процесс сводки планшетов заключается в следующем. На полоску кальки копируют с планшета углы рамок трапеции, координатную сетку, ситуацию и рельеф в зоне шириной 24 мм: 20 мм внутри рамки и 4 мм за рамкой. Кальки двух соседних планшетов накладывают

одна на другую и сличают. При допустимых расхождениях устанавливают окончательное положение контуров и горизонталей и переносят его на планшеты. При недопустимом расхождении все разногласия устраняются прямо на местности при повторной съемке.

#### **8.3.4. Высотная съемка, ее сущность и виды.**

##### **Нивелирование поверхности**

При высотной (нивелирной) съемке выполняется определение высотного (вертикального) положения характерных точек местности. В тахеометрической съемке высотное положение снимаемых точек местности определяется тригонометрическим нивелированием. Но это выгодно только в случае съемки крупных форм рельефа (оврагов, балок, горной местности). Однако при слабо выраженном рельефе необходимо повысить точность высотной съемки, что достигается **нивелированием поверхности**, при котором высотное положение снимаемых точек местности определяется геометрическим нивелированием.

**Нивелирование поверхности** заключается в том, что на ней создается сеть точек, для которых определяют плановое и высотное положение с целью отображения с необходимой точностью рельефа и основных контуров. Плановое положение контуров и предметов определяется с помощью теодолита или дальномеров, а высоты – из геометрического нивелирования технического класса точности.

Существуют следующие способы нивелирования поверхности: по квадратам, параллельным линиям (по магистралям) и способ полигонов.

##### **8.3.4.1. Нивелирование поверхности по квадратам**

Способ нивелирования поверхности по квадратам широко применяется в строительстве, а также на открытой местности со слабо выраженным рельефом. Основой для производства нивелирования является сеть квадратов (рис. 8.18), разбиваемая на местности. В зависимости от характера местности, высоты сечения рельефа, масштаба и назначения съемки, длина стороны квадрата колеблется от 10 до 200 м. Каждая точка закрепляется забитым вровень с землей колышком, рядом забивается сторожок, на котором подписывается номер точки (1, а, 1, б, 1, в ... 2, а и т.д.).

При нивелировании больших участков сторона квадратов может быть 100 или 200 м.

Построение сетки квадратов выполняют с помощью теодолита и мерной ленты.

Квадраты со стороной 100 – 200 м нивелируют каждый в отдельности (рис. 8.18). Нивелир устанавливают примерно посередине квадрата и производят отсчеты по рейкам, установленным на вершинах квадратов.

Отсчеты, произведенные по рейкам, удобно записывать на схеме сети квадратов  $(a_1, b_1, a_2, b_2)$ . Кроме вершин квадратов, нивелируют места перегибов рельефа. Каждую сторону квадрата нивелируют дважды, что позволяет контролировать результаты нивелирования.

$$((a_1 + b_2) - (a_2 + b_1)) \leq 5 \text{ мм.}$$

За окончательные значения принимают средние значения превышений из двух измерений.

После контроля отсчетов вычисляют превышения по сторонам квадратов, превышения суммируют по каждому из квадратов, увязывают, т.е. распределяют полученную невязку по превышениям и вычисляют отметку каждой вершины квадрата. Для определения отметок вершин квадратов в принятой системе высот необходимо заранее передать отметку на одну из вершин квадрата (например,  $a_1$ ) от опорного нивелирного репера. Полученную таким образом отметку вершины  $H_{a1}$  принимают за исходную.

Нивелирование поверхности по квадратам с короткими сторонами (10, 20, 40 и т.д.) метров предусматривает нивелирование с одной станции вершин нескольких квадратов (рис. 8.18). При этом каждые две смежные станции должны иметь общие связующие точки.

Для контроля отсчеты берут по черной и красной сторонам реек. Отсчеты записывают либо в нивелирный журнал, либо непосредственно на схему возле каждой вершины квадрата (рис. 8.19). Горизонт прибора вычисляют, как правило, от исходного репера по формуле

$$ГП_I = H_{P_{n1}} + a, \quad (8.14)$$

где  $a$  – отсчет по рейке на репере 1.

На рис. 8.19 исходный репер совмещен с вершиной квадрата  $A3$  и имеет отметку  $H_{P_n} = 150,074$  м. Отметки горизонтов прибора для ст. I для черной ( $ГП_ч$ ) и красной  $ГП_к$  сторонам реек получены следующим образом:

$$ГП_ч = 150,074 + 1,613 = 151,687 \text{ м;}$$

$$ГП_к = 150,074 + 6,295 = 156,369 \text{ м.}$$

Общие нивелирные стороны (контрольные превышения) выделены:  $A3-б3$ ,  $в1-в2$ ,  $в4-Г4$ .

Отметки вершин со ст. I вычисляются через горизонт прибора:

$$H_{A1} = 151,687 - 1,898 = 149,789 \text{ м (по черной стороне);}$$

$$156,369 - 6,582 = 149,787 \text{ (по красной стороне) и т.д.}$$

Результаты нивелирования контролируют по невязкам опорных ходов, составленных по связующим сторонам и увязывают.

$$f_{\text{н\ddot{o}н.}} \leq 10 \text{ мм } \sqrt{n}, \text{ где } n - \text{ число станций.}$$

По результатам нивелирования поверхности составляют план (рис. 8.21).

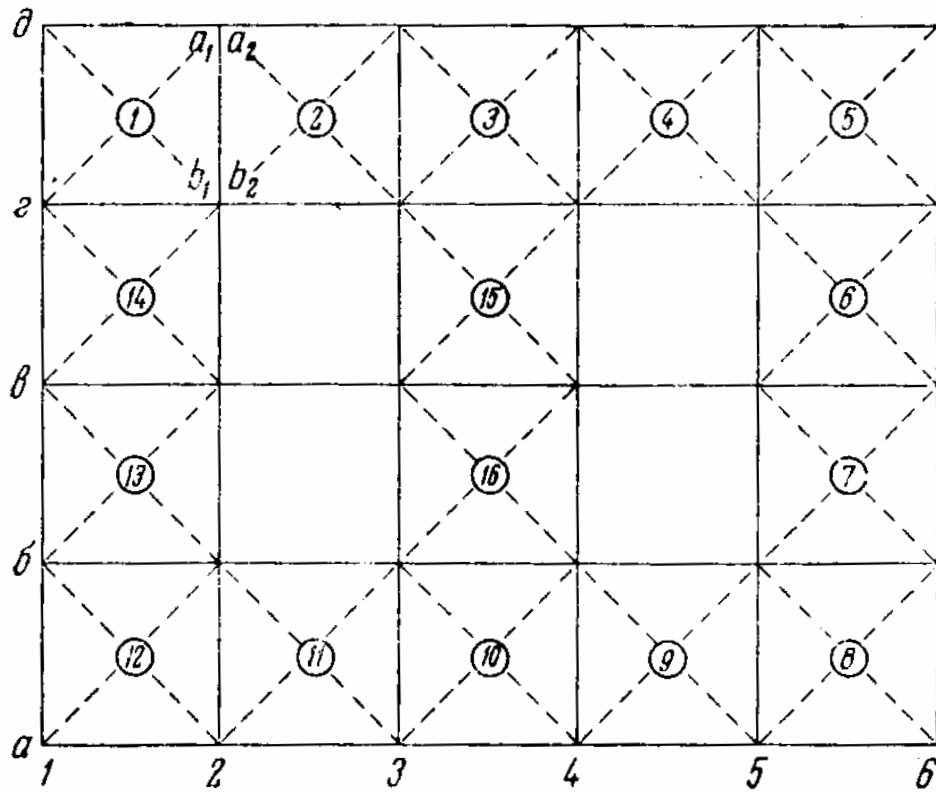


Рис. 8.18. Схема нивелирования поверхности по квадратам со сторонами более 100 м:  
 $a_1, a_2 \dots a_б; b_1 \dots b_б; \dots$  – название вершин квадратов (номера точек); 1, 2, ... 14 – места постановки нивелира;  $a_1, b_1, a_2, b_2 \dots$  – отсчеты по рейкам

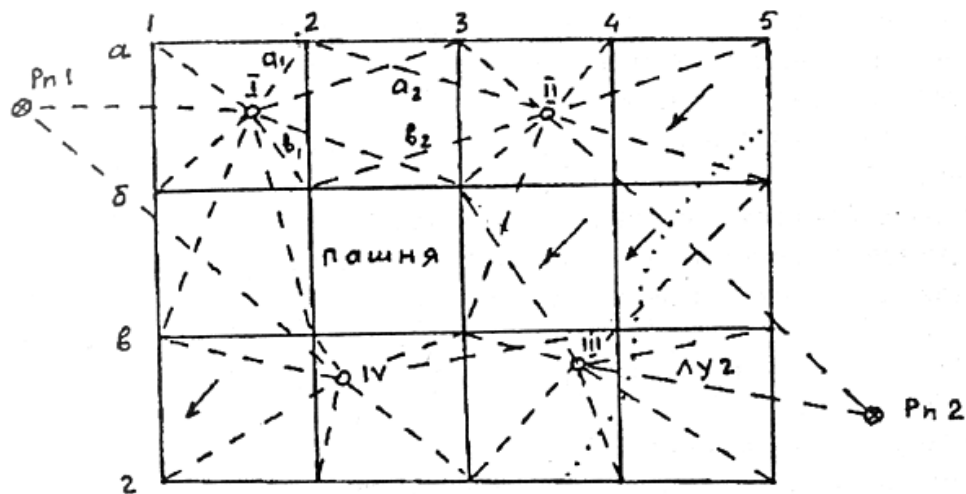


Рис. 8.19. Нивелирование поверхности по квадратам с короткими сторонами (20 м):  
 $P_{n1}, 2$  – исходные репера с известными отметками  $H_1, H_2$ ; I, II, III, IV – места постановки нивелира;  
 ----- – направления на рейку с каждой постановки нивелира для взятия отсчетов ( $a_1, b_1, a_2, b_2 \dots$ ). Стрелками показаны направления скатов



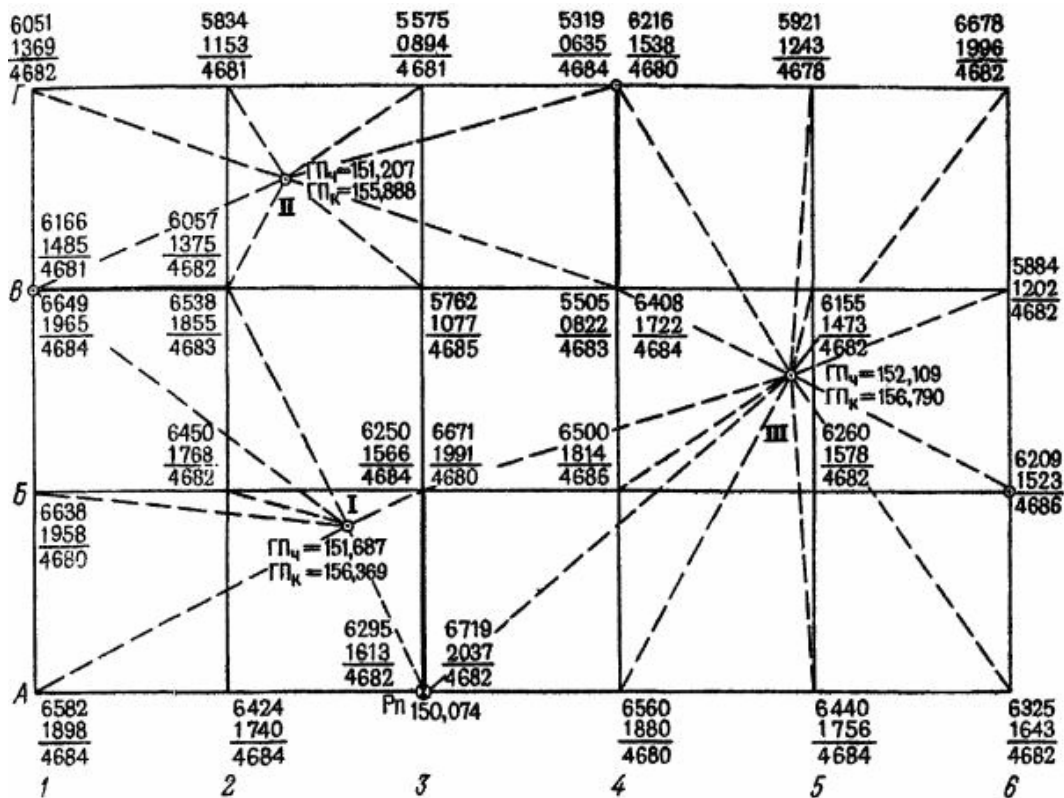


Рис. 8.20. Схема нивелирования поверхности по квадратам с короткими сторонами и записью отсчетов:

I, II, III – места постановки нивелира.

6295

$\frac{1613}{4682}$  – отсчеты по красной и черной сторонам рейки и пяточная разность

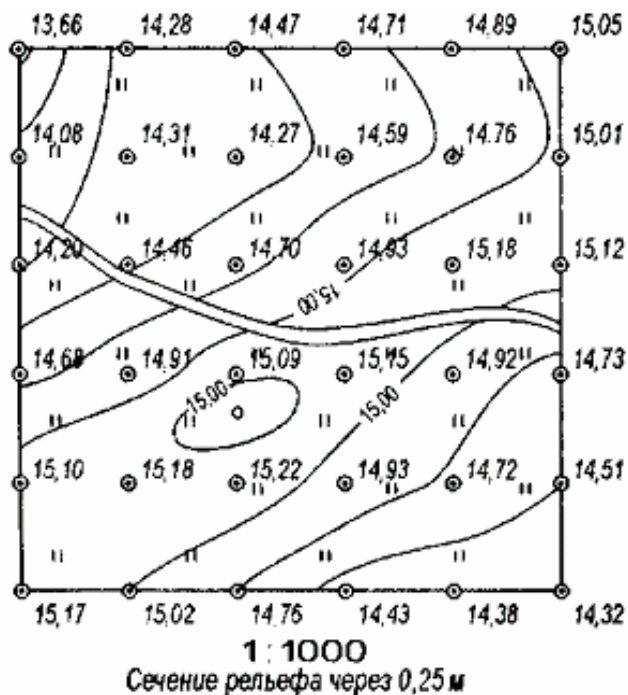


Рис. 8.21. План нивелирования поверхности

#### **8.3.4.2. Способы параллельных линий, магистралей с поперечниками, полигонов**

**Способ параллельных линий** применяют при съемке равнинной или слегка всхолмленной местности, заросшей лесом или кустарником. При этом обычно посередине снимаемого участка прокладывают основную или магистральную ход, либо два взаимно перпендикулярных основных хода (рис. 8.22, *а*), которые привязываются к пунктам планово-высотной сети. Перпендикулярно к линиям основных ходов разбивают параллельные съемочные ходы, по которым в характерных точках закрепляют пикеты. Расстояния между съемочными ходами и между пикетами зависят от назначения съемки и требуемой точности и обычно составляют 50 – 100 м.

Магистральные ходы нивелируют прямо и обратно, съемочные – только прямо по допускам технического нивелирования. При обработке вначале вычисляют и уравнивают точки магистральных (основных) ходов, затем – пикеты съемочных ходов.

**Способ магистралей с поперечниками** (см. рис. 8.22, *б*) применяют в условиях пересеченной местности при съемке линейных сооружений (каналов, дорог и т.д.). По характерным линиям рельефа (например, по линиям тальвега лощины или балки) прокладывают основной магистральный планово-высотный ход *ABCDE* с привязкой к пунктам планово-высотной сети и разбивают пикетаж (°) в характерных точках. При необходимости от основной магистрали разбивают поперечные магистрали по ответвлениям *BB'*, *CC'* и т.д. Перпендикулярно к магистральным линиям разбивают поперечники, густота и протяженность которых зависит от характера местности. Одновременно с разбивкой пикетажа от линий магистралей и поперечников ведется съемка ситуации с составлением абриса.

Нивелирование основной магистрали и ее поперечников проводят так же, как нивелирование трассы, т.е. прямо и обратно по допускам технического нивелирования. Нивелирование пикетов по дополнительным магистралям выполняют одиночными ходами, прокладываемыми от точек основной магистрали.

По результатам нивелирования, представленным на рис. 8.22, *а* и 8.22, *б* составляют соответствующие планы.

**Способ полигонов** применяют на открытой местности с ясно выраженными формами рельефа. По характерным линиям рельефа прокладывают теодолитно-нивелирные ходы в виде полигонов с разбивкой пикетажа. Число высотных точек должно обеспечивать проведение горизонталей с заданной высотой сечения рельефа. Ходы увязывают по принципу от общего к частному.

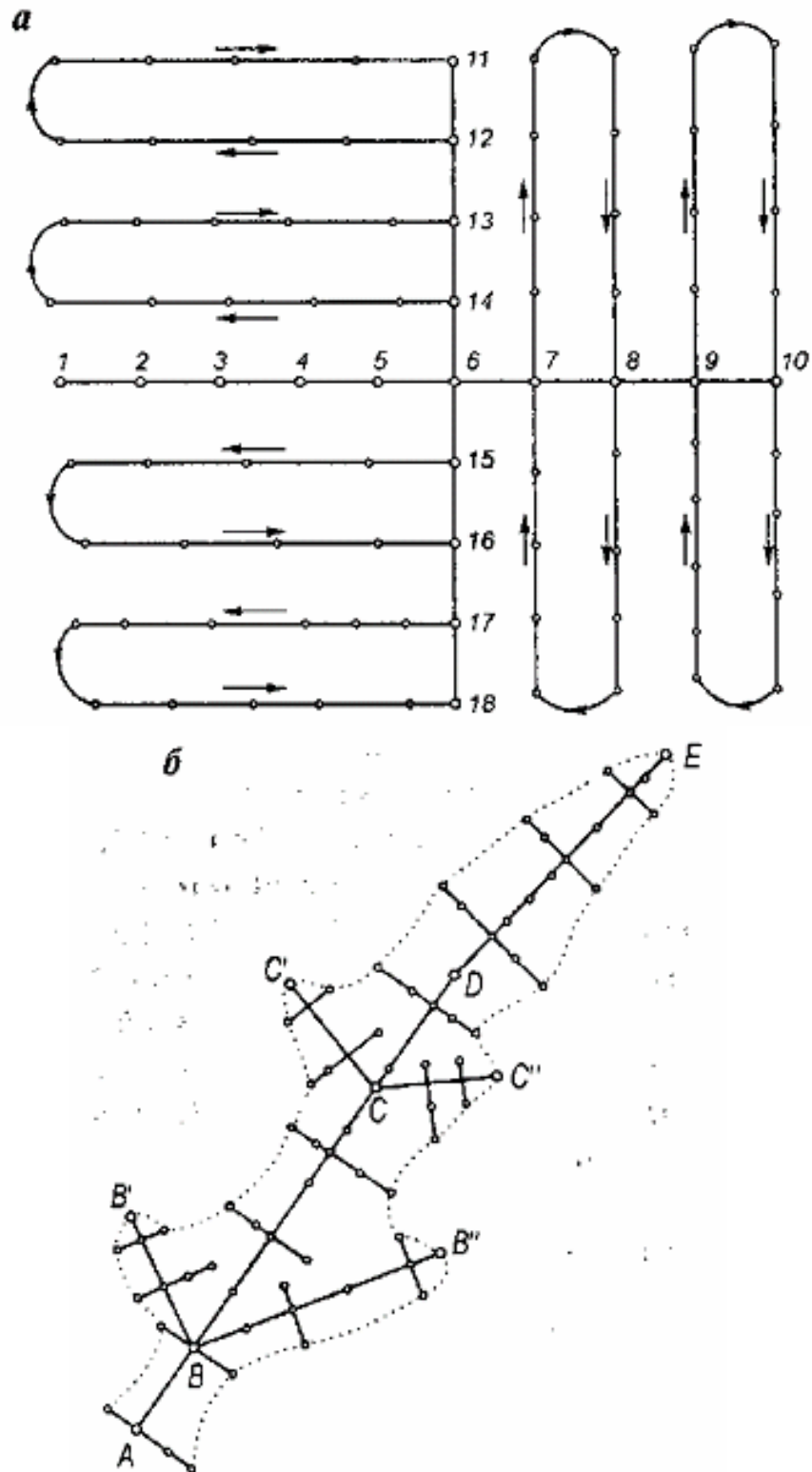


Рис. 8.22. Схемы нивелирования поверхности:  
*а* – способ параллельных линий; *б* – способ магистралей с поперечниками.  
*а)* 1-10 и 11-18 – два магистральных (основных) взаимно-перпендикулярных хода с промежуточными точками (2, 3...10; 11, 12, ... 18 ); 18-17, ... 12-11, 7-8-7, 9-10-9 параллельные съемочные ходы с пикетами (•) в характерных точках;  
*б)* A-B-C-D-E – магистральный планово-высотный ход; BB'... – поперечные магистрали со съемочными ходами

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## Лабораторная работа № 1 ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ

**Задание 1.** Масштабы планов и карт. Определение длины линии по плану или карте (2 ч).

**Задание 2.** Изображение ситуации и рельефа на топографических картах и планах. Условные знаки (4 ч).

**Задание 3.** Ориентирование линий. Определение географических и прямоугольных координат точек, заданных на топографической карте (2 ч).

При выполнении различных народно-хозяйственных задач используются топографические карты и планы, по которым решаются различные задачи, основными из которых являются:

- определение географических и прямоугольных координат точек;
- определение длины, дирекционного угла, истинного или магнитного азимута линии;
- определение отметки точки, крутизны ската, построение профиля по заданному на карте направлению;
- проектирование линии с заданным уклоном.

**Топографическим планом** называют чертеж земной поверхности, дающий в уменьшенном и подобном виде изображение небольшого участка местности, контуров и форм рельефа, в пределах которого кривизна уроненной поверхности относимости не учитывается. Предметы и контуры изображаются картографическими условными знаками.

Планы составляются с изображением ситуации и рельефа и без изображения рельефа; планы без изображения рельефа называют **ситуационными**, или **контурными**.

**Картой** называют уменьшенное и по возможности минимально искаженное из-за кривизны Земли изображение значительных территорий земной поверхности на плоскости, построенное по определенному математическому закону (т.е. в картографической проекции, подобранной под условием минимального искажения). В геодезии чаще всего пользуются равноугольными (или иначе – конформными) проекциями, сохраняющими без искажений углы и очертания малых объектов.

**Профиль** местности – это уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению.

Для удобства пользования карты и планы составляют в определенных **масштабах**.

## **Задание 1**

### **Масштабы планов и карт.**

#### **Определение длины линии по плану или карте**

**Масштабом** карты или плана называется отношение длины линии на плане (карте) к горизонтальному проложению этой линии на местности (проекции линии на горизонтальную поверхность).

В Беларуси принят следующий ряд масштабов топографических карт: 1:1 000 000; 1:500 000; 1:300 000; 1:200 000; 1:100 000; 1:50 000; 1:25 000; 1:10 000; для планов: 1:5 000; 1:2 000; 1:1 000; 1:500.

По масштабам карты условно подразделяются на: 1) крупномасштабные (1:100 000 и крупнее); 2) среднемасштабные (от 1:200 000 до 1:1 000 000) и 3) мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000). Чем крупнее масштаб карты, тем более точно и полно, с меньшим обобщением на ней изображается ситуация рельеф местности.

Масштабы бывают численные и графические. Графические – делятся на линейные и поперечные.

**Численный масштаб** – дробь, числитель которой единица, а знаменатель – число, показывающее степень уменьшения линии и предмета при изображении их на плане (карте). На каждом листе карты или плана подписывается его численный масштаб в виде: 1:1 000; 1:5 000; 1:10 000 и т.д.

При сравнении двух или нескольких численных масштабов между собой следует иметь в виду, что чем меньше знаменатель, тем крупнее масштаб плана (карты) и, наоборот, чем больше знаменатель, тем мельче масштаб.

Пересчет длины  $AB$  горизонтальной проекции линии местности в длину соответствующей линии  $ab$  на плане (карте) выполняется на основании формулы

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{AB} \quad (1)$$

где  $m$  – знаменатель масштаба.

Так, если необходимо отложить на плане горизонтальное проложение  $AB$ , то вычисляют

$$ab = \frac{AB}{m},$$

если же требуется определить по плану (карте) длину горизонтального проложения линии на местности, то пользуются формулой

$$AB = m \cdot ab$$

### Пример 1

Дано:  $1 : m = 1:10\ 000$ ,  $AB = 120$  м; определить длину линии на карте.

$$ab = \frac{120 \text{ м}}{10\ 000} = 0,012 \text{ м} = 1,2 \text{ см.}$$

### Пример 2

Дано:  $1:m = 1:10\ 000$ ;  $ab = 2,4$  см, определить горизонтальное проложение линии на местности.

$$AB = 10\ 000 \cdot 2,4 \text{ см} = 24\ 000 \text{ см} = 240 \text{ м.}$$

Наряду с представлением масштаба в виде дроби (численного масштаба) пользуются именованным масштабом – его словесным описанием, например: «в одном сантиметре 20 метров», что соответствует масштабу  $1:2\ 000$ .

**Линейный масштаб** представляет собой шкалу, деления которой подписаны применительно к данному численному масштабу. Им пользуются при нанесении проекций линий на чертеж, а также при измерении длины линии по чертежу. Применение линейного масштаба не требует вычислений по формуле (1).

Построение линейного масштаба выполняют следующим образом. На прямой линии несколько раз откладывают одно и то же расстояние в сантиметрах, называемое **основанием масштаба**. Его обычно берут длиной в 2 см. Первое основание делят на 10 равных частей и на правом его конце пишут нуль, а на левом – то число метров или километров, которое на проекции соответствует в заданном масштабе основанию. Вправо от нуля деления масштаба подписывают значения соответствующих расстояний на местности. Так, на рис. 1 изображен линейный масштаб для численного масштаба  $1:50\ 000$ .

При пользовании линейным масштабом правую ножку циркуля ставят на нулевое деление или на одно из делений справа от нуля в зависимости от длины измеряемой линии. Левая ножка циркуля в общем случае располагается в пределах первого основания, имеющего мелкие деления. Отсчет расстояния происходит с оценкой на глаз десятых долей наименьшего деления (в данном случае – 10 м). По горизонтальным размерным линиям на рис. 1 легко определить, где находились ножки циркуля при измерении отрезков указанной длины.

Например, для масштаба 1:50 000 основание 2 см, т.к. в 1 см карты – 500 м, в 2 см – 1 000 м, или в 2 см – 1 км. При вычерчивании следует очень точно разделить основание линейного масштаба на части, используя при этом методику деления отрезка с помощью измерителя, треугольника и линейки.

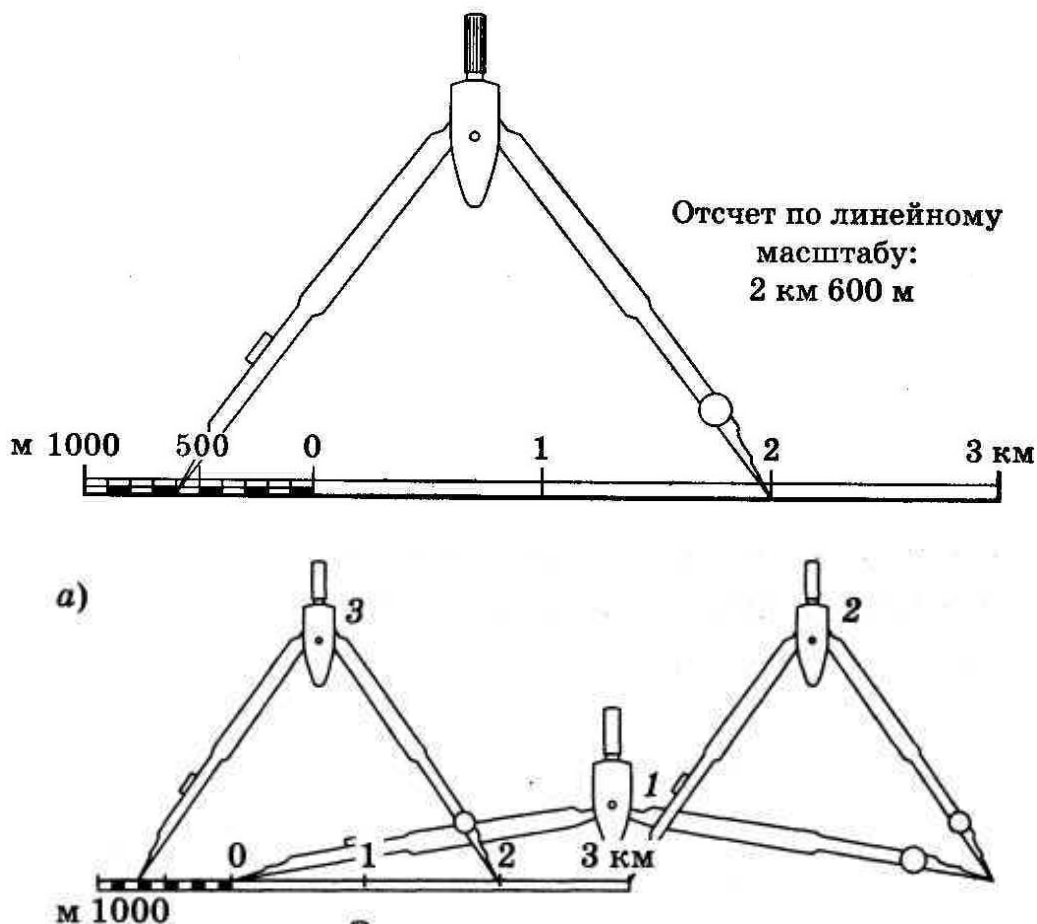


Рис. 1. Определение расстояния по линейному масштабу  
(2 км + 500 м + 100 м\*1):

a – определение больших расстояний с помощью измерителя и линейного масштаба

Если расстояние измерителя больше длины линейного масштаба, то нужно «сбросить» целое число километров (позиции измерителя 1 и 2), а остаток измерить обычным путем. К результату в позиции 3 нужно добавить число «сброшенных» километров. Полученный результат: 5 км и 700 м (2 км 700 м + 3 км) (см. рис. 1, а).

Для измерения расстояний с повышенной точностью используют специально построенный график, называемый **поперечным масштабом**.

**Поперечный масштаб** – график для измерения и откладывания расстояний на карте с предельной графической точностью (0,1 мм). Он повышает точность линейного масштаба карты в 10 раз и более (рис. 2, а – в).

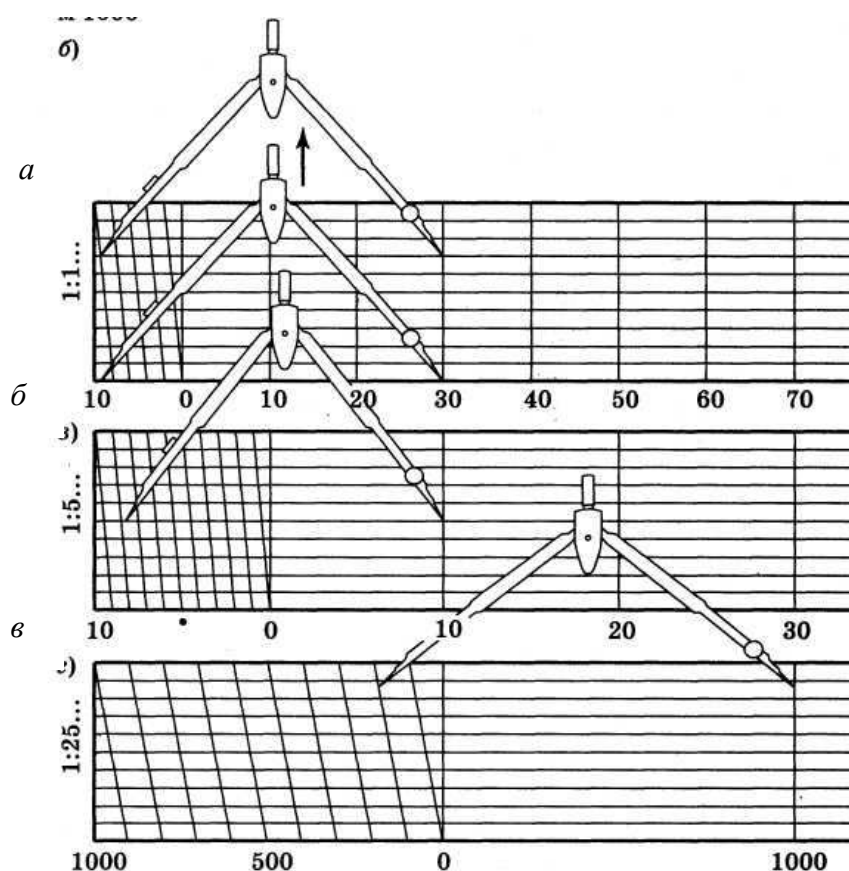


Рис. 2. Поперечные масштабы с различными основаниями

На рис. 2 нижняя горизонтальная прямая представляет собой линейный масштаб, аналогичный тому, который указывается на топографической карте. Выше этой прямой проведены еще десять горизонтальных прямых. Основание линейного масштаба (отрезок влево от нуля) разделено на десять или пять равных отрезков. К этим отрезкам проведены наклонные параллельные линии – трансверсали, позволяющие снимать отсчет с точностью до 0,01 основания масштаба.



На рис. 2, а показан поперечный масштаб для линейных масштабов 1:10... . Число нулей может быть любым. Перед вычислениями нужно оценить величину на местности основания линейного масштаба карты: для 1:1 000 000 – это 10 км, 1:100 000 – 1 км, для 1:10 000 – 100 м и т.д. Одно деление основания, в 5 раз меньшее, равно на местности соответственно 2 км, 200 м и 20 м. Каждое перемещение вверх по трансверсалим уточняет отсчет на 0,1 от деления основания. Для того чтобы выяснить длину отрезка, взятого по карте, измеритель перемещают вверх по трансверсалим, как показано на рис. 2, б. Отсчет длины линии в масштабе 1:1 000 000 – 39,4 км ( $30 \text{ км} + 2 \text{ км} \cdot 4 + 200 \text{ м} \cdot 7$ ); в масштабе 1:100 000 – 3 940 м ( $3 \text{ км} + 200 \text{ м} \cdot 4 + 20 \text{ м} \cdot 7$ ), или 3,94 км; в масштабе 1: 10 000 – 394 м ( $300 \text{ м} + 20 \text{ м} \cdot 4 + 2 \text{ м} \cdot 7$ ).

Для карт масштабов 1:50... основание масштаба 2 см (см. рис. 2, б). Перед работой нужно также оценить величину основания на местности в метрах. Для карт масштаба 1:50 000 2 см на карте соответствуют 1 000 м на местности, длина линии на рисунке 1,85 км ( $1 \text{ км} + 100 \text{ м} \cdot 8 + 10 \text{ м} \cdot 5$ ); для карты 1:500 000 2 см равны 10 км, длина линии 18,5 км ( $10 \text{ км} + 1 \text{ км} \cdot 8 + 100 \text{ м} \cdot 5$ ).

Для карт масштаба 1:25 000 (см. рис. 2, в) основание поперечного масштаба равно 4 см – 1 000 м, длина измеряемой линии на рисунке – 1 185 м, или 1 км 185 м ( $1 \text{ км} + 100 \text{ м} + 10 \text{ м} \cdot 8,5$ ).

Пользуясь поперечным масштабом, нужно следить за тем, чтобы при измерении отрезка концы обеих ножек циркуля всегда находились на одной и той же горизонтальной линии масштаба.

### Содержание задания

Определить расстояния на местности по картам различных масштабов для линий, заданных преподавателем, используя численный, линейный и поперечный масштабы. Результат определений оформить в виде табл. 1.

Таблица 1

**Определение расстояний на местности по картам различных масштабов**

Название линии	Масштаб карты	Длина линии на карте, см	Расстояние на местности, определенное по различным видам масштабов, м		
			численный	линейный	поперечный
1-2	1:50 000				
	1: 25 000				
	1: 10 000				

### **Пособия и принадлежности:**

1. Карты различных масштабов.
2. Карандаш, линейка, линейка с поперечным масштабом.

### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Определения карты, плана, масштабов (запись в тетради и знание наизусть).
2. Табл. 3.1, заполненная в соответствии с заданием преподавателя.
3. Анализ полученных результатов с оценкой применения каждого масштаба по удобству и точности.

## **Задание 2**

### **Изображение ситуации и рельефа на топографических картах и планах. Условные знаки**

#### **Картографические условные знаки**

Объекты местности на топографических планах и картах изображаются условными картографическими знаками.

Условные знаки можно разделить на три группы: площадные, немасштабные и линейные.

**Площадные условные знаки** применяются для заполнения площадей объектов, выражающихся в масштабе карты, как, например, пашни, луга, леса, озера и т.п. Площадные условные знаки изображают предметы, подобными оригиналу, и по ним можно определить размеры и форму предметов; контуры предметов обозначаются точечным пунктиром или тонкой сплошной линией, а площади внутри контура заполняются площадными условными знаками.

**Линейные условные знаки** применяются для изображения объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты, например, дороги, реки, каналы и т.д. Местоположение оси линейного объекта соответствует геометрической оси знака.

**Немасштабные условные знаки** применяются для изображения объектов, площади которых не выражаются в масштабе карты, например, мосты, указатели дорог, километровые столбы, колодцы, родники, геодезические пункты, различные ориентиры и т.д. Как правило, немасштабные знаки определяют местоположение объектов (центр знака – для знаков правильной геометрической фигуры; середина основания – для знаков в виде перспективного изображения – труба завода, ветряная мельница, цер-

ковь; вершина угла – для знаков с прямым углом в основании), и по ним нельзя судить об их размерах.

Все картографические условные знаки дополняются значками и цифровыми данными (пояснительными надписями), дающими характеристики предметов, например, глубину и скорость течения рек, грузоподъемность и ширину мостов, породу леса, характер дна брода, ширину и покрытие шоссейных дорог и т.д.

Для придания карте большей наглядности и читаемости пользуются различными цветами при изображении ее элементов: гидрографию, заболоченные участки отображают синим цветом; леса и сады – зеленым; огнеупорные здания, шоссейные дороги – красным; неогнеупорные постройки и улучшенные грунтовые дороги – оранжевым; рельеф – коричневым. Все остальные местные предметы изображают черным цветом.

Хорошее знание условных знаков дает возможность легко представить изображаемую местность (рис. 3, 4 и 5).

#### **Содержание задания:**

1. Изучение условных знаков по топографической карте.
2. Чтение ситуации по карте.

#### **Пособия и принадлежности:**

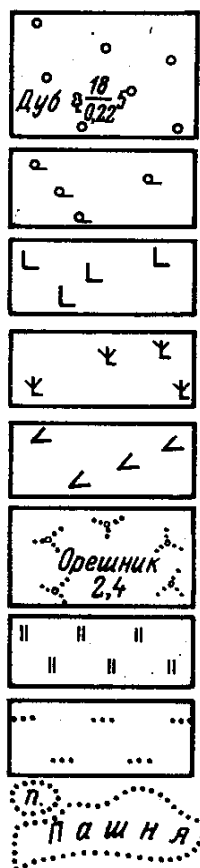
- Лист топографической карты с условными знаками.
- Таблицы условных знаков.

**Первый пункт задания** необходимо выполнить в соответствии с заданием 2. Во **втором пункте задания** студенты вдоль указанного преподавателем на карте маршрута определяют вид и смысловое значение условных знаков, главные точки (линии) немасштабных условных знаков, значения пояснительных подписей по нижеприведенному образцу для фрагмента топографической карты (рис. 6).

**Маршрут:** шоссейная дорога от южного обреза карты до кирпичного завода в пределах полосы шириной 4 см.

#### **Описание маршрута**

Маршрут проходит по асфальтированной шоссейной дороге. Ширина покрытия части дороги 13 м, между кюветами 17 м. местоположение дороги соответствует геометрической оси условного знака. Дорога проходит через мост. Главная точка знака – центр симметрии. Длина моста 25 м, ширина 13 м, грузоподъемность 45 т. Далее дорога проходит через населенный пункт Дубровка, в которой 24 двора, пересекает грунтовую дорогу, на которой мост длиной менее 3 м.



Лес. Лиственные породы: дуб — характеристика древостоя, числитель — средняя высота, м; знаменатель — средняя толщина ствола, 5 — среднее расстояние между деревьями, м

Редкие угнетенные низкорослые и карликовые леса.

Вырубленные участки леса (вырубки)

Горелые и сухостойные участки леса

Буреломы (ветровалы)

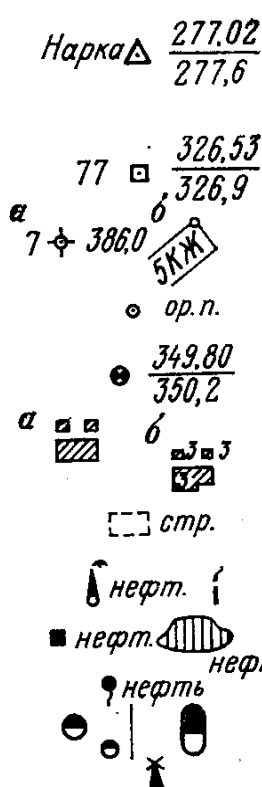
Сплошные заросли кустарников (орешник — название породы, 2, 4 — средняя высота, м)

Луговая травянистая растительность (высотой меньше 1 м)

Степная травянистая растительность

Пашни

Рис. 3. Пример площадных условных знаков



Пункты Государственной геодезической сети (числитель — отметка центра, знаменатель — отметка земли, Нарка — название пункта)

Пункты геодезических сетей сгущения и их номера

Точки плановых съемочных сетей: *a* — закрепленные на местности, *b* — на углах капитальных зданий

Ориентирные пункты

Реперы групповые

Постройки неогнестойкие жилые (деревянные, глинобитные): *a* — одноэтажные, *b* — выше одного этажа

Строящиеся здания

Нефтяные и газовые вышки. Газовые факелы

Нефтяные бассейны и ямы

Выходы нефти

Баки для горючего, цистерны, газгольдеры

Мельницы ветряные

Рис. 4. Пример внемасштабных условных знаков

	Резервуары сферические стальные для хранения нефти и газа
	Резервуары подземные железобетонные: а — для хранения нефти; б — для хранения воды
	Групповые установки по сбору нефти
	Концевые совмещенные сепарационные установки
	Кустовые насосные станции
	Аварийные бассейны для приема нефти
	Электрические, трансформаторные подстанции и будки
	Скважина: числитель — номер скважины, знаменатель — отметка устья
	Инженерно-геологические выработки: а — скважина, б — шурфы круглого сечения, в — шурфы прямоугольного сечения
	Трубопроводы (назначение: Г — газ, В — вода, Н — нефть): а — наземные, б — подземные
	Трубопроводы наземные на опорах
	Магистральные трубопроводы

Рис. 5. Пример условных знаков для специальных планов

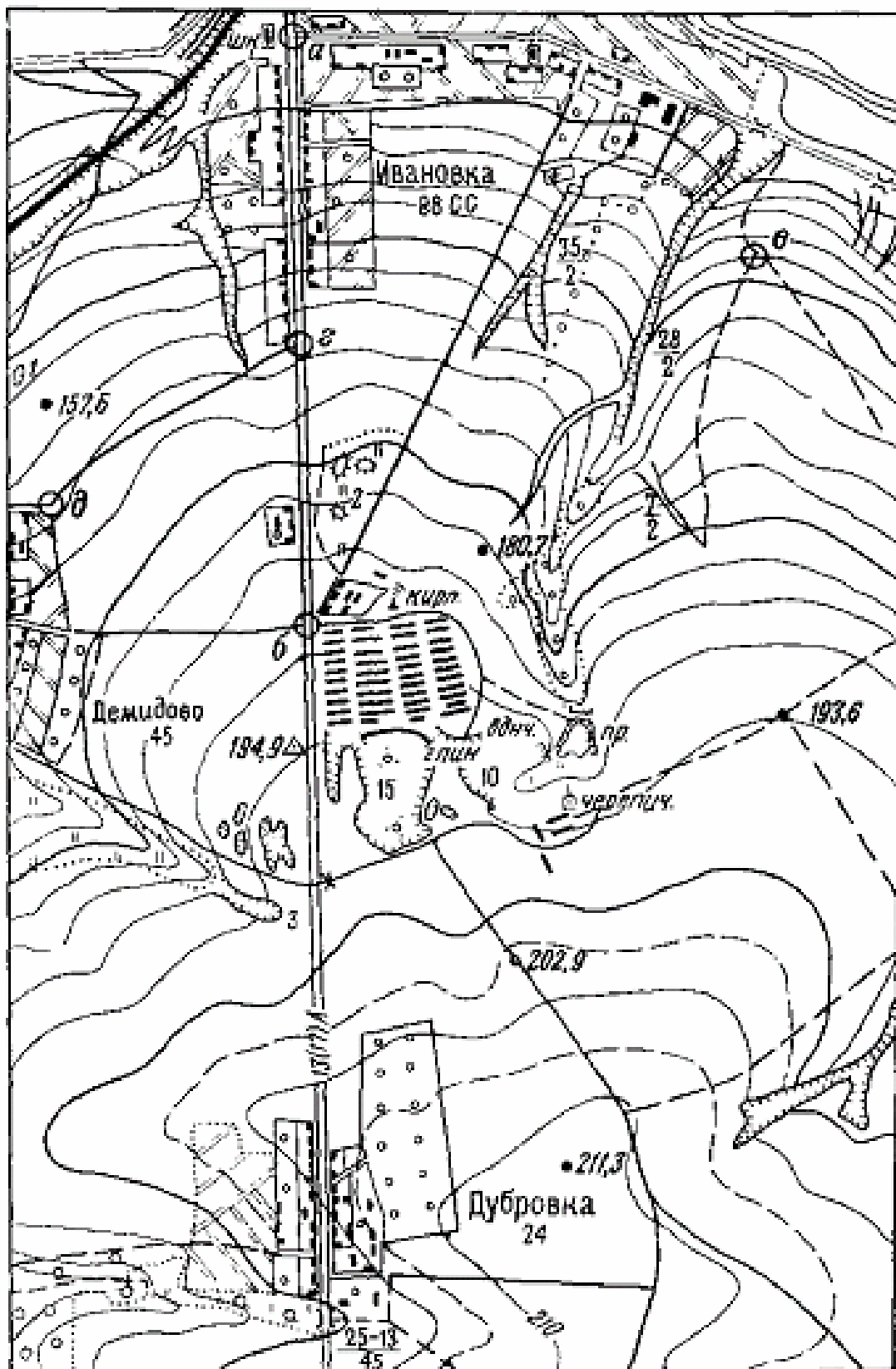


Рис. 6. Часть листа карты масштаба 1:25 000  
для описания ситуации вдоль маршрута (для образца)

К западу по маршруту: поле, луг с редкими деревьями, огороды, полевая дорога, поля, ямы, пункт государственной геодезической сети (главная точка – центр знака), 194,9 – отметка земли в метрах.

К востоку: поле, полевая дорога, фруктовый сад, поле, открытая разработка глины – глубина 15 м, постройки кирпичного завода, труба (главная точка – середина основания знака) завода.

### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Описание условных знаков: назначение, классификация, пояснительные надписи.
2. Копия фрагмента карты по маршруту.
3. Описание маршрута.

### **Изображение рельефа на топографических картах и планах**

Рельефом называют совокупность неровностей земной поверхности. Он исключительно сложен для изображения, причем эта сложность обусловлена тем, что обычно рельеф рассматривается в перспективе, а изображается ортогонально на плоскости.

Рельеф местности – важнейший элемент содержания топографических планов и карт. Учету рельефа при проектировании и строительстве всех видов инженерных сооружений придается первостепенное значение. На современных топографических планах и картах рельеф изображается горизонталями. **Горизонталь – это линия, соединяющая точки с равными высотами на карте.** Понятие о ней можно получить, если представить себе сечение физической поверхности Земли уроченной поверхностью  $P_0$  (рис. 7). Линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на горизонтальную плоскость, и будет горизонталью. Если поверхность  $P_0$  расположена на высоте  $H$  от основной уровенной поверхности Земли, принятой за начало счета абсолютных высот, то любая точка на замкнутой линии  $BCB$  (рис. 7) будет иметь одинаковую абсолютную высоту (отметку)  $H$ . Проекция этой линии на плоскость  $Q$  – также замкнутая линия  $bcb$  – представляет собой горизонталь на карте той же отметки  $H$ .

Разность отметок между двумя соседними горизонталями называется **высотой сечения рельефа** ( $h$ , см. рис. 7). Ее значение всегда указывается на топографической карте под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера рельефа высота сечения будет различной.

Расстояние между горизонталями в плане называется **заложением**. Чем меньше заложение на карте данного масштаба, тем круче склон на местности.

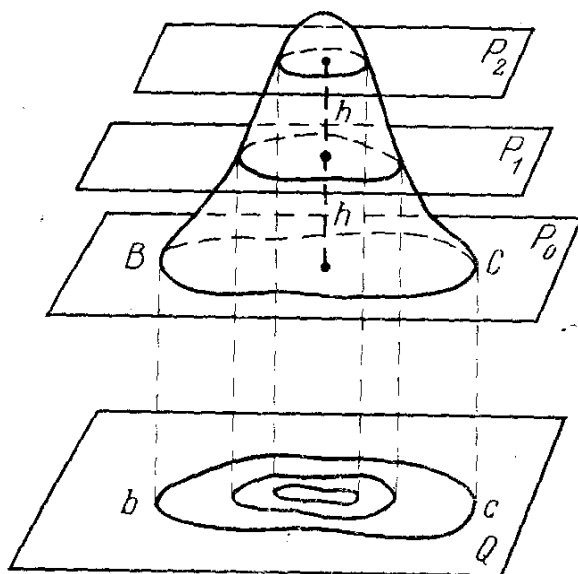


Рис. 7. Изображение рельефа горизонталями

Из многообразия форм рельефа местности можно выделить следующие наиболее характерные формы.

**Гора, холм** (рис. 8, а) – это возвышающаяся над окружающей местностью конусообразная форма рельефа, наивысшая точка которой называется **вершиной**. Вершина в виде площадки называется **плато**, а вершина остроконечной формы – **пиком**. Боковая поверхность горы (холма) состоит из **скатов**; линия слияния их с окружающей местностью называется **подшвой**, или **основанием**, горы (холма).

**Котловина**, или **впадина** (рис. 8, б), – чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление. Самая низкая точка котловины – **дно**. Боковая поверхность ее состоит из скатов; линия слияния их с окружающей местностью называется **бровкой**.

**Хребет** – возвышенность, вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении и имеющая два крутых ската (склона), пересечение которых образует ось хребта, называемую **водораздельной линией**, или **водоразделом** (рис. 8, в).

**Лощина** – вытянутое углубление местности, постепенно понижающееся в одном направлении. Самая низкая линия лощины расположена вдоль нее, в пересечении двух скатов, и образует **водослив**, или **талweg** (рис. 8, г). Разновидностями лощины являются **долина** – широкая лощина с пологими задернованными скатами, и **овраг** – узкая лощина с крутыми обнаженными скатами. Долины часто бывают ложем реки или ручья. Начальной стадией оврага является **промоина**, представляющая узкое углуб-



ление, образующееся под действием стекающей с возвышенностей воды. Овраг, заросший травой и кустарником, называется **балкон**.

**Седловина** (рис. 8, д) – пониженная часть местности между двумя соседними возвышенностями. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях. В горной местности седловины называют **перевалами**.

Вершина горы, дно котловины и самая низкая точка седловины называются характерными точками рельефа, а водораздел и тальвег – характерными линиями рельефа.

На рис. 8 показано, как изображаются горизонталями основные формы рельефа местности. Изображения горы и котловины, так же как и хребта и лощины, сходны между собой. Чтобы отличить их друг от друга, у некоторых горизонталей ставят **бергштрихи** – черточки, перпендикулярные к горизонтали, указывающие направление ската.

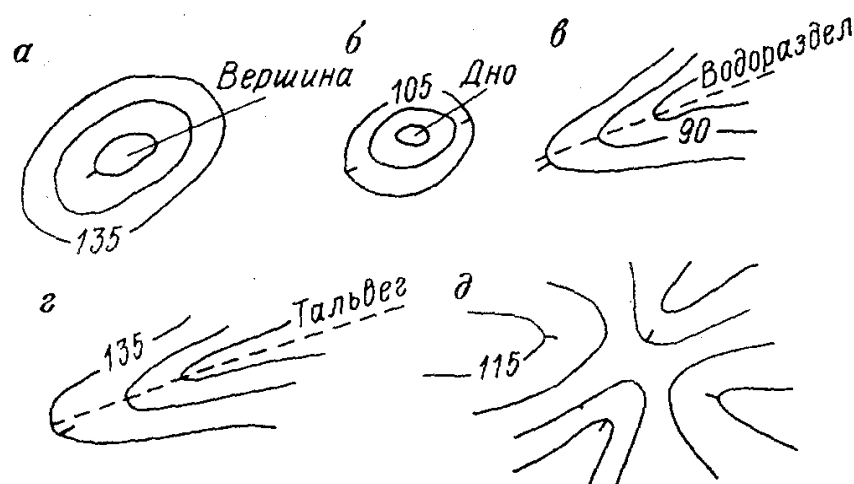


Рис. 8. Характерные формы рельефа

Отметки некоторых горизонталей подписывают на карте (см. рис. 8), при этом цифры располагают так, чтобы их верх был направлен в сторону повышения ската. Таким образом, по отметке одной горизонтали и известной высоте сечения рельефа можно определить отметки других горизонталей.

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

Если при данной высоте сечения рельефа некоторые характерные особенности его не могут быть выражены, то их показывают дополнитель-

ными горизонталями – полугоризонталями и четвертьгоризонталями, они проводятся соответственно через половину или четвертую часть принятого на карте значения высоты сечения рельефа.

Чтобы облегчить чтение горизонталей на карте, некоторые из них принято утолщать. При высоте сечения рельефа в 1; 5; 10 и 20 м принято утолщать каждую пятую горизонталь с отметками, кратными соответственно 5, 25, 50 и 100 м. При высоте сечения рельефа в 2,5 м утолщают каждую четвертую горизонталь с отметками, кратными 10 м.

### Построение профиля местности по заданному на карте направлению

Линия, вдоль которой необходимо построить профиль местности, называется профильной линией; она обычно задается. Пусть требуется построить профиль местности по линии *AB* (рис. 9). Профильную линию переносят на бумагу с сохранением масштаба карты и отмечают на ней точки 1, 3, 5, 7 и 9, в которых она пересекает горизонталь, а также характерные точки и линии рельефа (точки 2, 4, 6 и 8). Построенная линия называется основанием профиля. Во всех намеченных на основании профиля точках восстанавливают перпендикуляры, на которых и откладывают в выбранном масштабе взятые с карты высоты точек местности. Высоты точек 2, 4, 6 и 8 определяют интерполированием между соседними горизонталями по характерным линиям рельефа. Полученные точки соединяют плавной линией (рис. 10). Чтобы профиль был более выразительным, вертикальный масштаб его принимают в 10 и более раз крупнее масштаба карты. Обычно ординаты профиля уменьшают на одну и ту же величину, т.е. строят профиль не от нуля высот, а от так называемого **условного горизонта**. На профиле, изображенном на рис. 10, за условный горизонт принята высота, равная 100 м.

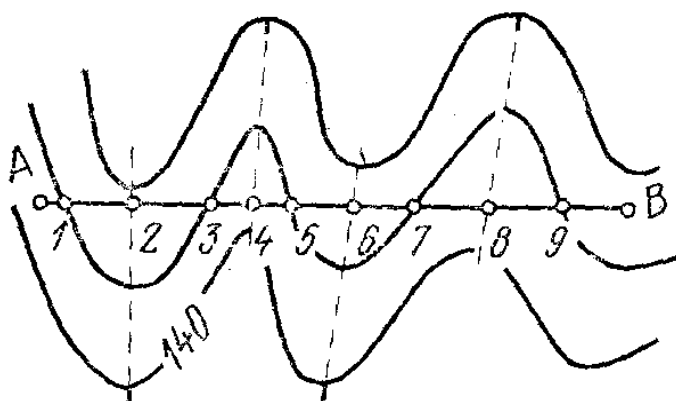


Рис. 9. Профильная линия

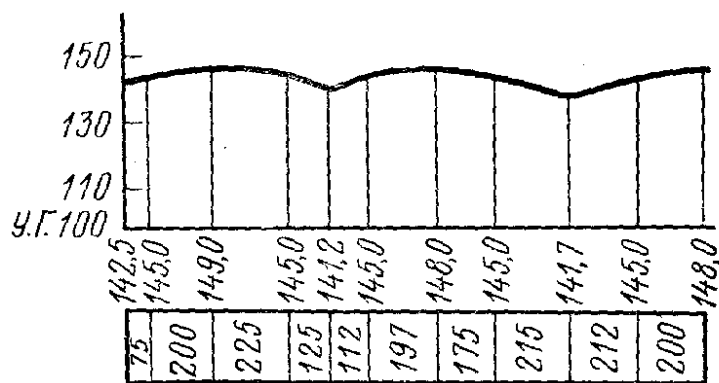


Рис. 10. Профиль местности

### Содержание задания:

1. Дать описание рельефа местности на участке карты, выданной преподавателем (формы рельефа, понятие горизонтали, сечение рельефа, определение отметки горизонталей, пояснительные надписи по рельефу).
2. Определить отметку точки местности на карте.
3. Построить профиль местности по заданному на карте направлению.

### Материалы, представляемые к сдаче:

1. Выкопировка участка карты с описанием рельефа.
2. Отметки точек.
3. Профиль местности.

### Задание 3

#### Ориентирование линий. Определение географических и прямоугольных координат точек, заданных на топографической карте

**Дирекционный угол направления** – это горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки, между северным направлением осевого меридиана и направлением линии на местности (угол  $\alpha$ , рис. 11).

На карте осевой меридиан совпадает с вертикальной линией километровой сетки. Поэтому дирекционный угол любой линии на плане или карте может быть определен непосредственным измерением угла между северным направлением вертикальной линии километровой сетки и направлением заданной линии с помощью транспортира.

**Истинный, или географический, азимут направления линии** – это горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки, между се-

верным направлением истинного меридиана, проведенного через начало этой линии, и ее направлением на местности (угол  $A$ , рис. 11).

Истинный меридиан на карте совпадает с направлением боковых рамок трапеции. Поэтому линии истинных меридианов в разных точках земной поверхности, даже в пределах одной трапеции, не параллельны между собой. Как правило, на карте истинный азимут вычисляют через дирекционный угол и среднюю величину сближения меридиана для трапеции:

$$A = \alpha \pm \gamma, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – сближение меридианов.

Для листов карт, расположенных к востоку от осевого меридиана,  $\gamma$  прибавляется к дирекционному углу, к западу – вычитается.

**Магнитный азимут направления линии** – это горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки, между северным направлением магнитного меридиана, проведенного через начало этой линии, и ее направлением на местности (угол  $A_M$ , рис. 11).

**Магнитный азимут  $A_M$**  направления линии определяется как

$$A_M = A - \delta_B \quad \text{и} \quad A_M = A + \delta_3, \quad (3)$$

где  $A, A_M$  – истинный и магнитный азимуты;

$\delta_B$  и  $\delta_3$  – восточное и западное склонения магнитной стрелки.

Значения углов сближения меридианов  $\gamma$  и склонения магнитной стрелки  $\delta$  приводятся под южной рамкой карты (рис. 11). Следует иметь в виду, что величина склонения указывается здесь на определенную дату. Если после этой даты прошло несколько лет, то необходимо учесть годовое изменение склонения, величина и направление которого также приводятся на карте.

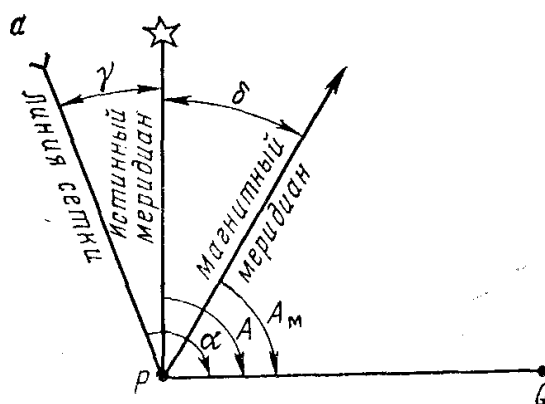


Рис. 11. График углов сближения меридианов и склонения магнитной стрелке

При необходимости величина сближения меридианов для точки на карте может быть вычислена по формуле

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

где  $\Delta\lambda$  – разность долготы данной точки и долготы осевого меридиана;  
 $\varphi$  – широта точки.

### Содержание задания

Определить значения дирекционного угла ( $\alpha$ ), истинного ( $A$ ) и магнитного ( $A_M$ ) азимутов направлений линий, заданных преподавателем, по карте М 1: ... .

### Материалы, представляемые к сдаче:

1. Определение и рисунок ориентирных направлений (дирекционного угла, магнитного и истинного азимутов).
2. Таблица со значениями ориентирных направлений.

**Географические координаты** любой точки могут быть определены по топографической карте. На каждом листе такой карты подписаны широты и долготы углов рамок листа. Кроме того, рамки как по широте, так и по долготе разбиты на минутные деления, которые, в свою очередь, разделены на десятки секунд, обозначенные точками. Для получения географических координат точки  $P$  (рис. 12) определяют по карте с помощью циркуля и линейного или поперечного масштаба отрезки  $m$  и  $n$  в метрах от этой точки соответственно до параллели  $54^\circ 41'$  и до меридиана  $18^\circ 05'$ , проведенных через концы минутных делений, а затем вычисляют эти же отрезки в угловой мере по формулам

$$\Delta\varphi = \frac{60''}{1855} m = \frac{60''}{1855} 555 = 18'';$$
$$\Delta\lambda = \frac{60''}{1075} n = \frac{60''}{1075} 429 = 24'',$$

где 1855 и 1075 – длины минутных делений соответственно по широте и долготе в метрах, взятые с карты,

$$m = 555 \text{ м}; n = 429 \text{ м}.$$

Тогда географические координаты точки  $P$  будут равны

$$\varphi = 54^\circ 41' + 18'' = 54^\circ 41' 18'';$$
$$\lambda = 18^\circ 05' + 24'' = 18^\circ 05' 24''.$$

Определить широту и долготу точки можно несколько иначе. Проводят через точку  $P$  истинный меридиан и, пользуясь минутной рамкой карты, считают, сколько минут и секунд заключено между западной рамкой карты и этим меридианом, оценивая секунды на глаз. Полученное число секунд и минут прибавляют к долготе западной рамки. Для получения широты, аналогично, через точку  $P$  проводят параллель, считают число минут и секунд, заключенное между южной рамкой и этой параллелью, и полученное число минут и секунд прибавляют к широте южной рамки.

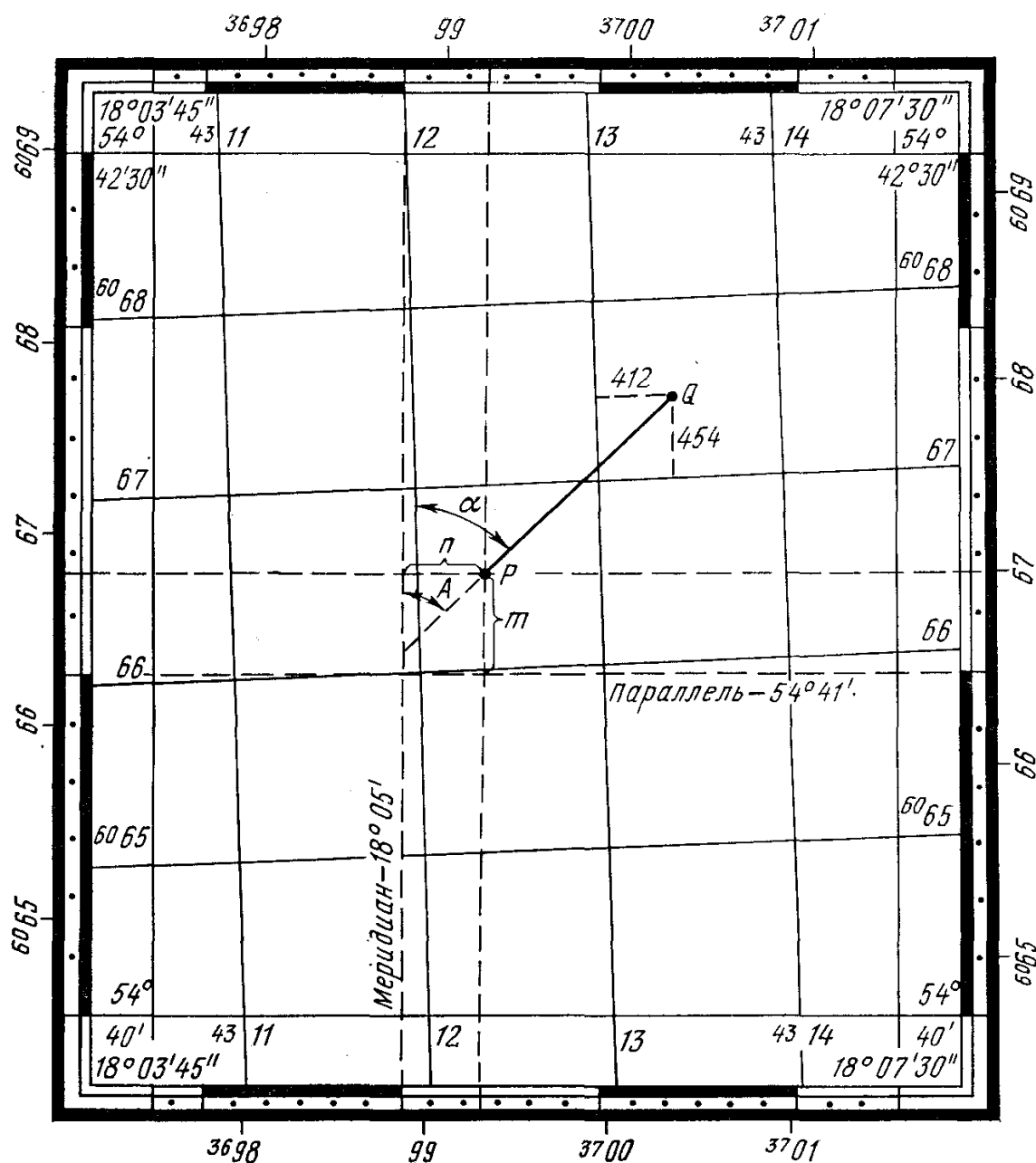


Рис. 12. Схема определения по карте географически и прямоугольных координат, дирекционного угла и азимута линии

Для определения **прямоугольных координат** точки по плану или карте пользуются координатной (километровой) сеткой, линии которой параллельны и перпендикулярны осевому меридиану зоны. Координаты вершин квадратов координатной сетки даны в зональной системе и подписаны на карте, например, запись 6065 означает, что абсцисса  $x = 6\ 065$  км от экватора, запись 4311 означает, что ордината  $y = 311$  км, цифра 4 указывает номер шестиградусной зоны. Расстояния от линий координатной сетки до точки по оси абсцисс и оси ординат измеряются с помощью измерителя и масштабной линейки в масштабе данного листа плана или карты. Например, прямоугольные координаты точки  $Q$  (рис. 12) будут:  $x = 6\ 067\ 454$  м;  $y = 4\ 313\ 412$  м.

**Длины отрезков** прямых линий между заданными точками на плане или карте измеряются с помощью циркуля и линейного или поперечного масштаба.

### **Содержание задания**

Определить прямоугольные и географические координаты трех точек, указанных преподавателем, по картам масштабов:

М 1: ...

М 1: ...

М 1: ...

### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Определение географических и прямоугольных координат. Пояснительные рисунки к ним.
2. Таблицы числовых значений прямоугольных и географических координат.

## Лабораторная работа № 2 УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ

### Устройство штатива и установка теодолита на штатив

Теодолит – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, измерения расстояний и магнитного азимута.

Для установки теодолита над вершиной измеряемого угла ножки штатива (рис. 13) раздвигают на нужную высоту, открепив винты 4. Штатив устанавливают так, чтобы верхняя плоскость головки штатива была бы примерно горизонтальной.

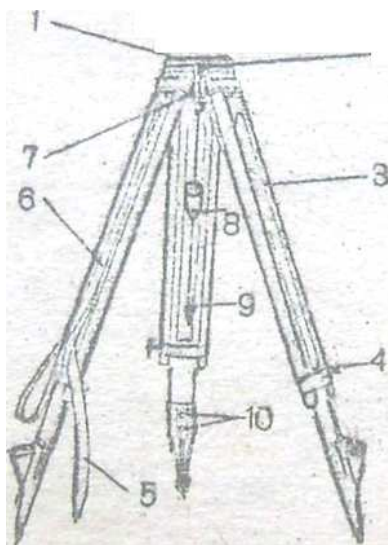


Рис. 13. Устройство штатива:

1 – головка штатива; 2 – болт; 3 – ножки;  
4 – закрепительный винт; 5 – 6 – ремни;  
7 – становой винт; 8 – пенал для отвеса; 9 – отвес;  
10 – винты крепления башмака

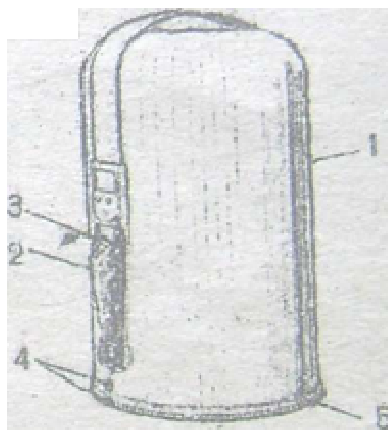


Рис. 14. Футляр теодолита:

1 – колпак; 2 – рукоятка замка; 3 – пружина замка; 4 – красные точки; 5 – дно футляра

Перед тем как открыть футляр (см. рис. 14), необходимо обратить внимание на положение красных точек на колпаке и дне футляра, которые совмещают при упаковке теодолита. Для того чтобы снять колпак, отжимают пружины замков 3 и поворачивают рукоятки 2 на  $90^\circ$  в направлении стрелки. Осторожно снимают колпак. В колпаке находится ориентир-буссоль.



Теодолит со штативом скрепляется станковым винтом 7 (см. рис. 13). Дно футляра является основанием подставки теодолита.

### Устройство теодолитов технической точности (ТЗ0, 2ТЗ0, 4ТЗ0)

**Технические характеристики теодолита 2ТЗ0:** имеет  $20^{\times}$  увеличение зрительной трубы, с полем зрения  $2^{\circ}$ , пределы визирования – от 1,2 м до  $\infty$ . Коэффициент дальномера  $K = 100 \pm 0,5$ . Средняя квадратическая ошибка измерения углов одним приемом: горизонтальных  $20''$ , вертикальных  $30''$ . Пределы измерения вертикальных углов от  $+60^{\circ}$  до  $-55^{\circ}$ . Погрешность ориентирования буссоли  $30''$ . Средняя квадратическая ошибка измерения превышения 15 мм на 100 м.

Устройство теодолита 2ТЗ0 показано на рис. 15.

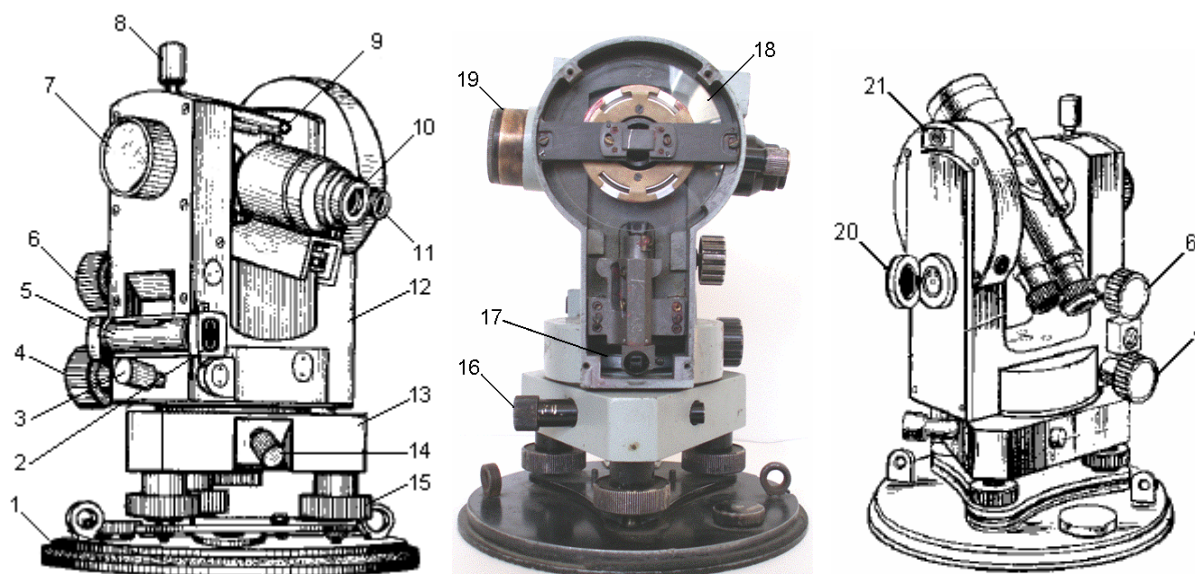


Рис. 15. Устройство теодолита 2ТЗ0:

1 – основание; 2 – исправительный винт цилиндрического уровня; 3, 4 – закрепительный и наводящий винты алидады; 5 – цилиндрический уровень; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – кремальера; 8 – закрепительный винт зрительной трубы; 9 – коллиматорный визир; 10 – окуляр зрительной трубы; 11 – окуляр отсчетного микроскопа; 12 – колонка; 13 – подставка; 14 – закрепительный винт лимба; 15 – подъемный винт; 16 – наводящий винт лимба; 17 – горизонтальный круг; 18 – вертикальный круг; 19 – объектив зрительной трубы; 20 – зеркальце для подсветки штрихов отсчетного микроскопа; 21 – посадочный паз для ориентир-буссоли

Основание 1 прикрепляется к штативу при помощи станкового винта (см. рис. 13, 15). Винты 15 и уровень 5 служат для приведения оси теодолита в отвесное, а горизонтального круга в горизонтальное положение. На подставке 13 имеются закрепительный 14 и наводящий 16 винты лимба.

Алидада закрепляется винтом 3, плавное вращение обеспечивается наводящим винтом 4. Положение трубы фиксируется закрепительным винтом 8, плавное перемещение – винтом 6. Нельзя полностью завинчивать и вывинчивать наводящие винты. Они работают при завинченных закрепительных винтах. Вращением диоптрийного кольца на окуляре зрительной трубы 10 добиваются резкого изображения сетки нитей (рис. 16). Рядом с окуляром зрительной трубы расположен окуляр микроскопа 11. Резкость изображения отсчетов достигается вращением, диоптрийного кольца на окуляре микроскопа, яркость изображения регулируется зеркалом подсветки 20. Для наводки на цель пользуются коллиматорным визиром 9, глаз должен быть на расстоянии 25 – 30 см от него. Резкость изображения наблюдаемого предмета достигается вращением винта фокусирующего устройства – кремальеры 7.

При упаковке теодолита красная точка на горизонтальном круге должна быть установлена на одной линии с красной точкой на дне футляра, труба повернута объективом вниз.

**Сетка нитей теодолита** – это в простейшем случае два взаимно перпендикулярных штриха, нанесенных на стеклянную пластинку, которая крепится к диафрагме трубы. Сетка нитей бывает разных видов; на рис. 16 показаны некоторые из них.

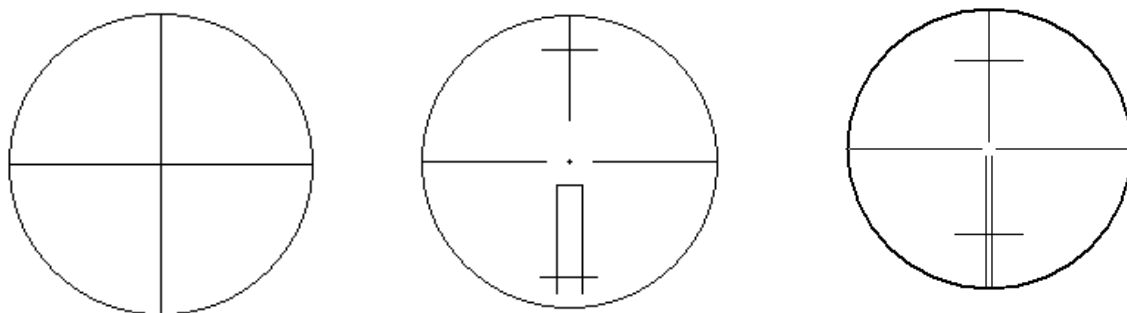


Рис. 16. Сетка нитей теодолитов

### **Отсчетные устройства теодолитов технической точности**

Отсчетное устройство теодолит Т30 со штриховым микроскопом представлено на рис. 17, а. Система отсчета односторонняя, в поле зрения микроскопа видим оцифровку лимба горизонтального круга «Г» от 0° до 359° через один градус против часовой стрелки. Каждый градус разделен на 6 частей по 10′. Вертикальный круг «В» имеет такую же оцифровку. Измеряя вертикальные углы при «КЛ» (вертикальный круг находится слева от зрительной трубы), прочитываем отсчеты от 0°, при «КП» (верти-

кальный круг находится справа от зрительной трубы) - от  $180^\circ$ . Отсчет берется по вертикальному штриху-индексу, оценка долей десятиминутного деления производится на глаз.

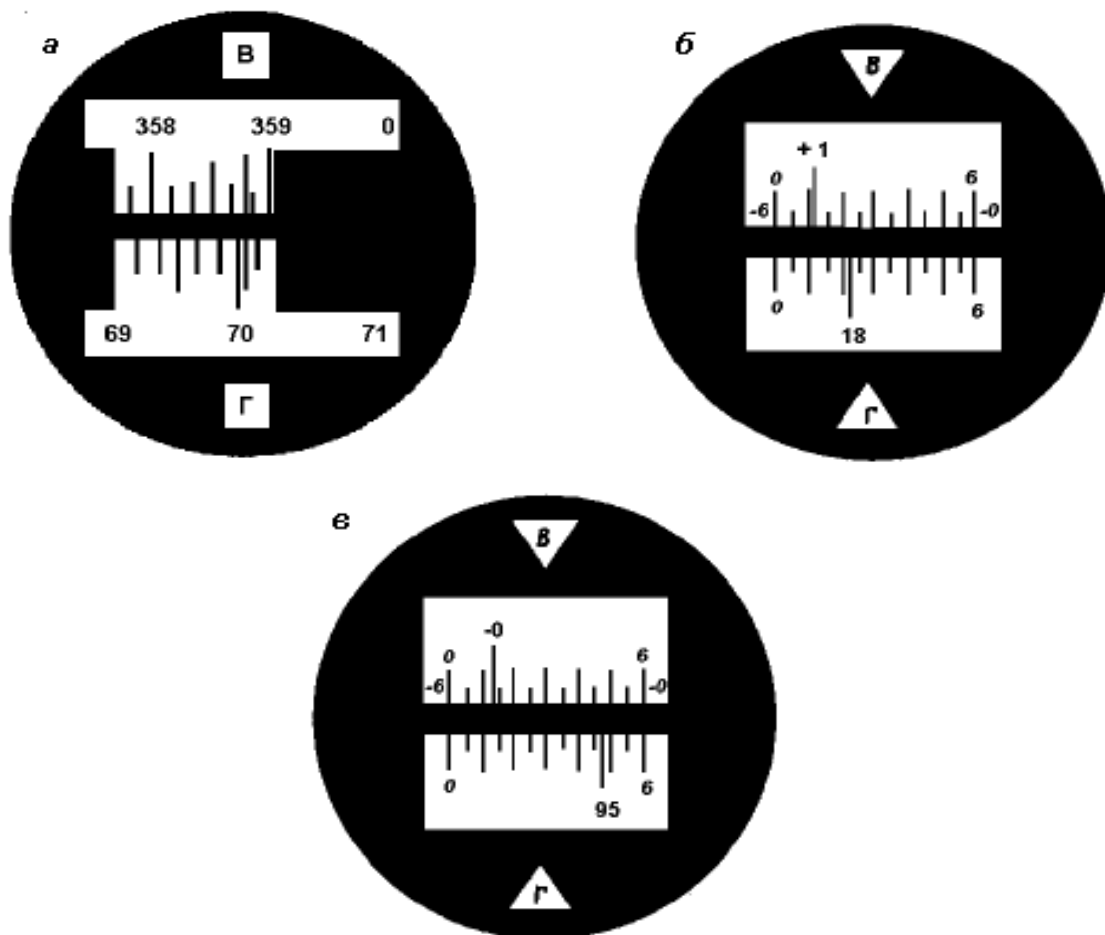


Рис. 17. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита:

*а* – поле зрения отсчетных устройств штрихового микроскопа с отсчетами по вертикальному кругу –  $358^\circ 48'$ , по горизонтальному –  $70^\circ 05'$  (теодолит Т30);

*б* – поле зрения отсчетных устройств шкалового микроскопа с отсчетами по вертикальному кругу –  $+1^\circ 11,5'$ , по горизонтальному –  $18^\circ 22'$  (теодолит 2Т30);

*в* – поле зрения отсчетных устройств шкалового микроскопа с отсчетами по вертикальному кругу –  $-0^\circ 46,5'$ , по горизонтальному –  $95^\circ 47'$  (теодолит 2Т30)

У теодолита 2Т30 (см. рис. 17, *б*, *в*) также односторонняя система отсчетов. Отсчетное устройство представлено шкаловым микроскопом с ценой деления шкалы  $5'$ . Горизонтальный круг оцифрован от  $0^\circ$  до  $359^\circ$  по часовой стрелке, вертикальный круг имеет секторную оцифровку от  $0^\circ$  до плюс  $75^\circ$  и от  $0^\circ$  до минус  $75^\circ$ . При измерении вертикальных углов основным положением является круг лево, когда значение угла получают с фактическим знаком, при круге право отсчеты получают с противоположным знаком.

По вертикальному кругу отсчеты для положительных углов наклона берут по верхней шкале слева направо от 0 до 6. Для отрицательных – по нижней шкале справа налево от -0 до -6.

### Установка теодолита в рабочее положение

Для приведения теодолита в рабочее положение следует выполнить следующие действия:

Сначала устанавливается штатив. После того как был установлен штатив, закрепляется теодолит с помощью станкового винта. Далее производят **центрирование**, т.е. совмещение острия отвеса с центром пункта. Штатив устанавливают таким образом, чтобы центр отверстия находился примерно по вертикали, проходящей через точку. Длина нити отвеса регулируется перемещением планки вдоль нити. Отклонение острия отвеса от точки местности не должно превышать 1 – 3 мм.

Затем производят **нивелирование** – приведение вертикальной оси теодолита в отвесное положение. Для этого:

1. Цилиндрический уровень горизонтального круга устанавливают параллельно линии, соединяющей два подъемных винта, и, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек уровня в середину ампулы (нуль-пункт) (рис. 18).

2. После этого поворачивают алидаду на  $90^\circ$ , устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и, действуя этим винтом, приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

3. После этого вращают алидаду и устанавливают ее в произвольное положение; пузырек уровня при этом должен оставаться в нуль-пункте.

Если все три условия выполнены, то установка теодолита в рабочее положение считается завершенной, если действия 1 – 3 не выполняются, следует повторить их заново до тех пор, пока ось вращения алидады не установится в вертикальное положение, т.е. пока пузырек уровня не будет находиться посередине.

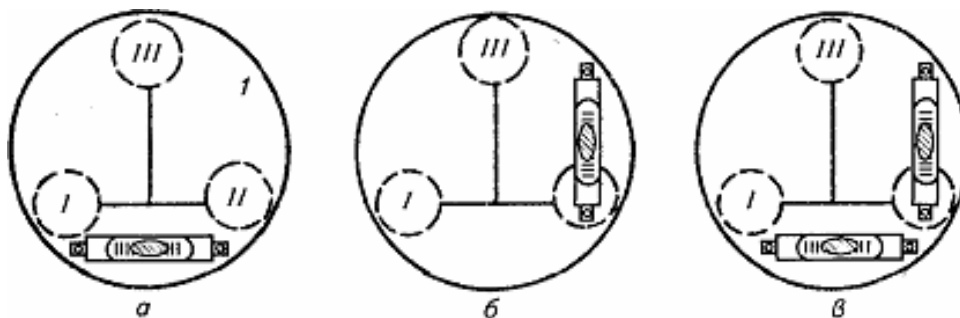


Рис. 18. Нивелирование теодолита

## Поверки и юстировки теодолитов технической точности

Поверка уровня или поверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня ( $UU_1$ ) при алидаде горизонтального круга к оси вращения теодолита ( $ZZ_1$ ) (рис. 19)

Поверку можно выполнить несколькими способами.

### Способ первый

Теодолит устанавливают на штатив и приводят в рабочее положение. Для этого поворотом алидады устанавливают проверяемый уровень по направлению, соединяющему два подъемных винта, например, 1 – 3 (рис. 19, а). Вращая их в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня на середину ампулы (в нуль-пункт). Снимают отсчет по горизонтальному кругу и поворачивают алидаду на  $180^\circ$  (рис. 19, б).

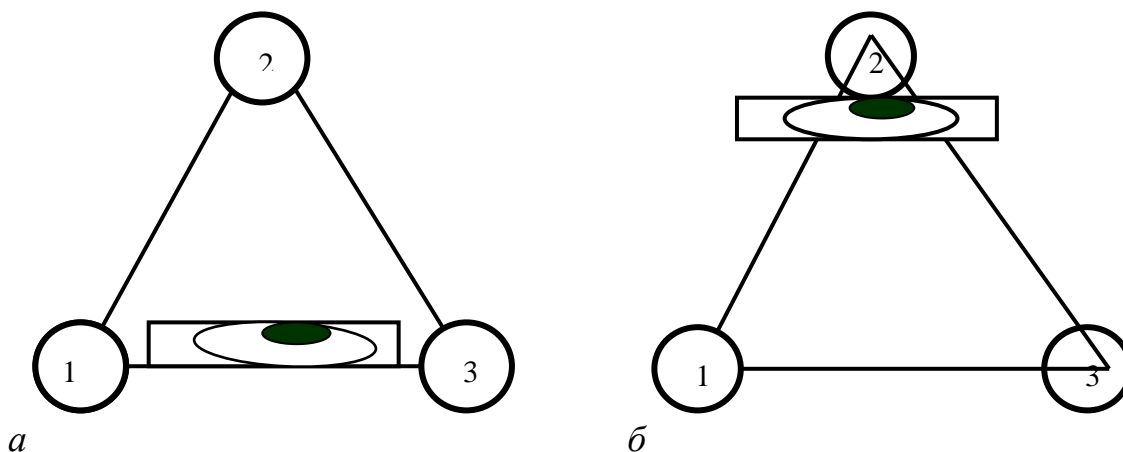


Рис. 19. Схема поверки перпендикулярности оси цилиндрического уровня к оси вращения теодолита первым способом

Если пузырек остался в нуль-пункте или отклонился не более чем на одно деление, то условие выполнено. Если отклонение пузырька от нуль-пункта более одного деления, то требуется юстировка цилиндрического уровня.

**Порядок юстировки:** исправительными винтами уровня перемещают пузырек по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения, а оставшуюся половину – подъемными винтами. Теперь ось цилиндрического уровня перпендикулярна оси вращения теодолита. Чтобы убедиться в этом поверку повторяют.

### Способ второй

Так же, как и в первом способе, уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов, например, 1 – 2 (рис. 20, а) и приводят пузырек уровня в нуль-пункт вращением их в противоположных направлениях.

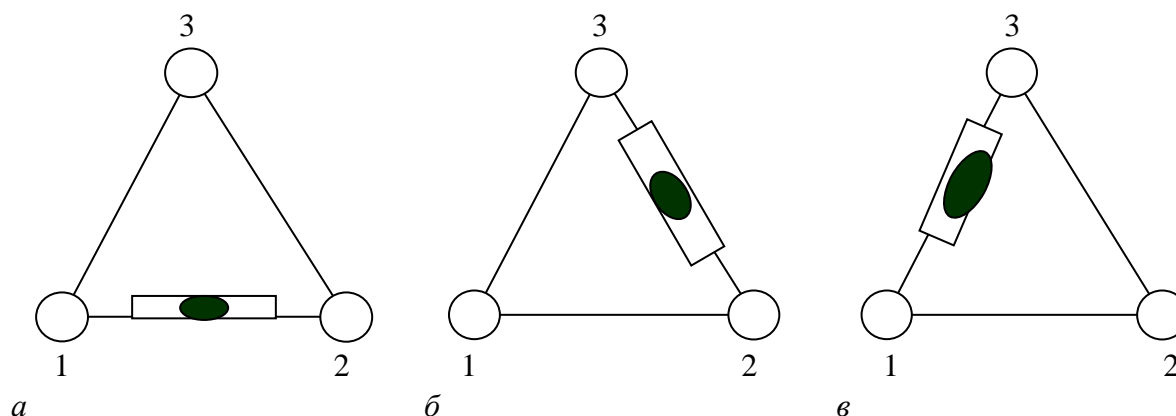


Рис. 20. Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня и оси вращения теодолита вторым способом

Поворачивают алидаду на  $60^\circ$  и вращением подъемного винта 3 (см. рис. 20, б) приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Вращая алидаду, устанавливают уровень параллельно подъемным винтам 1 – 3 (рис. 20, в). Если при этом положении пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. Если он отклонился из нуль-пункта, то условие не выполняется и уровень требует юстировки.

**Порядок юстировки:** Исправительными винтами уровня, ослабляя один и подтягивая другой, приводят пузырек в нуль-пункт. Проверку следует повторить желательно другим способом, например, первым способом.

Преимущество второго способа по сравнению с первым состоит в том, что пузырек перемещается на полную дугу отклонения, что сокращает время на юстировку.

### Проверка положения сетки нитей

Вертикальная нить сетки нитей должна быть отвесной (одна из нитей сетки должна быть горизонтальной, другая – вертикальной). Проверка проводится с помощью нити свободно висящего отвеса.

**Порядок выполнения проверки:** на расстоянии 10 – 15 м на тонкой нити подвешивают отвес. Вертикальная нить сетки должна совпадать с нитью отвеса (рис. 21, а), если нити не совпадают (рис. 21, б), тогда отвинчивают предохранительный колпачок, ослабляют винты крепления окуляра к трубе и поворачивают окуляр вместе с сеткой до совпадения нитей; винты закрепляют.

**Юстировка:** положение сетки нитей исправляют поворотом диафрагмы с сеткой вокруг визирной оси трубы после ослабления винтов до совпадения нитей отвеса и сетки. После исправления винты закрепляют.

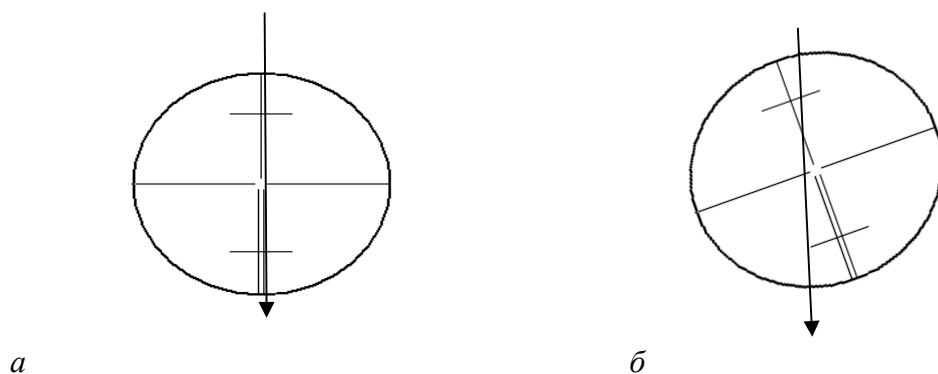


Рис. 21. Проверка сетки нитей теодолита:  
*a* – сетка нитей правильно установлена; *б* – необходимо исправить положение

### Проверка коллимационной ошибки

Геометрическое условие ( $VV_1$  должна быть перпендикулярна  $HH_1$ , см. рис. 6.5, лекционный курс).

**Порядок выполнения проверки:** при положении теодолита КЛ зрительная труба наводится на визирную цель, удаленную не менее чем на 50 м, направление на которую горизонтально (отклонение не более  $2^\circ$ ), и с горизонтального лимба снимается показание  $КЛ_1$ . Потом повторяется наведение при положении теодолита КП и снимается показание  $КП_1$ . Затем освобождается закрепительный винт подставки лимба, теодолит разворачивается на  $180^\circ$  и снова закрепляется. На ту же цель опять наводится зрительная труба и при двух положениях теодолита снимаются показания  $КЛ_2$  и  $КП_2$ . После того как все отсчеты сняты, производится расчет по формуле

$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (4)$$

Числовой пример:

$КЛ_1 = 128^\circ 25'$ ;  $КП_1 = 308^\circ 28'$ ;  $КЛ_2 = 310^\circ 24'$ ;  $КП_2 = 130^\circ 20'$ .

$$c = \frac{(128^\circ 25' - 308^\circ 28' + 180^\circ) - (310^\circ 24' - 130^\circ 20' - 180^\circ)}{4} = 0,25'.$$

Если  $c \leq 1'$ , то условие выполнено. Если  $c > 1'$ , выполняют юстировку.

### Порядок юстировки:

- вычисляют правильный отсчет ( $КП = КП_2 + c$  или  $КЛ = КЛ_2 - c$ );
- вращением наводящего винта алидады горизонтального круга устанавливает на лимбе правильный отсчет; при установке этого отсчета биссектор сетки нитей уйдет с намеченной точки влево или право по горизонтальному кругу;

- боковыми юстировочными винтами сетки нитей (один закручивается, второй откручивается) механически наводят биссектор на выбранную цель;
- для контроля поверка повторяется.

### Определение места нуля

Место нуля ( $M_0$ ) – отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы. Теоретически этот отсчет должен быть равен нулю.

Место нуля определяется из наблюдения одной и той же высоко расположенной точки при двух положениях (КП и КЛ) вертикального круга. Место нуля рассчитывается по формуле

$$M_0 = \frac{КП + КЛ}{2} \quad (\text{для теодолита } 2ТЗ0); \quad (5)$$

$$M_0 = \frac{КП + КЛ + 180^\circ}{2} \quad (\text{для теодолита } ТЗ0). \quad (6)$$

Числовой пример для теодолита 2ТЗ0:

$КЛ = 7^\circ 41'$ ;  $КП = -7^\circ 44'$

$$M_0 = \frac{7^\circ 41' - 7^\circ 45'}{2} = -2'$$

Допуск:  $M_0 \leq 1'$ . Если условие не выполняется как в приведенном числовом примере, то производится юстировка.

### Порядок юстировки

Вычисляют исправленный отсчет

$$КЛ_{исп.} = КЛ - M_0 \quad (\text{или } КП_{исп.} = КП - M_0) \quad (7)$$

Для приведенного числового примера

$$КЛ_{исп.} = 7^\circ 41' - (-2') = 7^\circ 43' \quad (\text{или } КП_{исп.} = -7^\circ 45' - (-2') = -7^\circ 43') \quad (8)$$

- наводящим винтом алидады вертикального круга устанавливают вычисленный исправленный отсчет по вертикальному кругу теодолита;
- точка наведения сойдет с горизонтальной нити сетки нитей;
- вертикальными исправительными винтами сетки нитей (один вывинчивая, другой ввинчивая), возвращают точку наведения на горизонтальную нить;
- после исправления поверку  $M_0$  повторяют.



**Лабораторная работа № 3**  
**ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ**  
**ТЕХНИЧЕСКИМИ ТЕОДОЛИТАМИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

**Способ измерения отдельного угла**

Порядок наблюдений:

- Устанавливают теодолит в рабочее положение.
- При круге лево наводят биссектор сетки нитей на левое направление ( $M_2$ ) измеряемого угла и берут отсчет по горизонтальному кругу, затем, открепляя закрепительный винт алидады горизонтального круга и вращая теодолит по ходу часовой стрелки, наводят биссектор на правое направление ( $M_5$ ) и берут отсчет.

- Переводят трубу теодолита через зенит, наводят биссектор на правое направление ( $M_5$ ) и берут отсчет при круге право. Открепляют закрепительный винт алидады, вращают теодолит по ходу часовой стрелки, наводят биссектор на левое направление ( $M_2$ ) и берут отсчет при круге право.

- Вычисляют угол путем вычитания отсчета левого направления от правого при каждом круге ( $M_5 - M_2$ ).

- Допустимое расхождение между полуприемами  $|\beta_{л} - \beta_{п}| < 1,5t$ , где  $t$  – точность теодолита.

- При соблюдении допуска за окончательное значение угла в приеме принимают среднее из двух полуприемов.

Результаты угловых наблюдений и вычислений записывают в журнал (табл. 2), в скобках указан порядок взятия отсчетов.

Таблица 2

**Журнал угловых измерений в способе отдельного угла**

	Марки	Отсчет	Угол	Среднее значение
КЛ	M2	154° 42' (1)	33° 20'	33° 19' 30''
	M5	188° 02' (2)		
КП	M2	334° 40' (4)	33° 19'	
	M5	7° 59' (3)		

**Способ отдельного угла со сбтием лимба**

Измерение отдельного угла со сбтием лимба складывается из следующих действий:

- наведение трубы на точку 1, фиксирующую направление левой стороны угла, при круге лево (КЛ), взятие отсчета  $L_1$ ;
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку 2, фиксирующую направление правой стороны угла; взятие отсчета  $L_2$ , вычисление угла при КЛ:

$$\beta_{Л} = L_2 - L_1;$$

- перестановка лимба на  $1 - 2^\circ$  для теодолитов с односторонним отсчитыванием (Т15, Т30) и на  $90^\circ$  – для теодолитов с двухсторонним отсчитыванием;
- переведение трубы через зенит и наведение ее на точку, фиксирующую направление правой стороны угла, при круге право (КП); взятие отсчета  $R_2$ ,
- поворот алидады по ходу часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление левой стороны угла; взятие отсчета  $R_1$ ;
- вычисление угла при КП:

$$\beta_{П} = R_2 - R_1;$$

- при выполнении условия  $|\beta_{Л} - \beta_{П}| < 1.5t$ , где  $t$  – точность теодолита, вычисление среднего значения угла:

$$\beta_{ср} = 0,5 (\beta_{Л} + \beta_{П}).$$

Результаты угловых наблюдений и вычислений записывают в журнал (табл. 3), в скобках указан порядок взятия отсчетов.

Таблица 3

**Журнал угловых измерений в способе отдельного угла со сбтием лимба**

	Марки	Отсчет	Угол	Среднее значение
КП	1	135° 50' (1)	22° 15'	22° 15' 30''
КЛ	2	158° 05' (2)		
КП	1	316° 50' (4)	22° 16'	
КЛ	2	339° 06' (3)		

**Измерение углов способом повторений**

Наводим сетку нитей на левую марку при одном из кругов и снимаем отсчет  $A_{нач}$ . Отжав алидаду, обычным способом наводим на правую марку, но отсчет не снимаем. Алидада закрепляется закрепительным винтом, а лимб отжимается. Действуя **наводящим винтом лимба**, опять наводим на левое направление – **отсчет не снимаем**. При повторном наведении на ле-

вую марку опять закрепляем лимб, отжимаем алидаду и обычным способом наводим на правую марку. Снимаем  $A_{кон}$ . Взяв разность между конечным и начальным отсчетами и поделив ее на количество возвращений (в данном случае 2), получим значение угла из полуприема. Второй полуприем выполняется так же, но при другом круге. Значения углов в полуприемах должны быть равны или не отличаться более, чем на 1'.

Результаты угловых наблюдений и вычислений записывают в журнал (табл. 4).

Таблица 4

**Журнал угловых измерений в способе повторений**

	Марки	Отсчет	Угол	Среднее значение
КЛ	17	314° 20'	47° 45' 30"	47° 45' 30"
	3	49° 51'		
КП	17	182° 05'	47° 45' 30"	
	3	277° 36'		

$$\beta = \frac{КП_3 - КП_{17}}{2}; \beta = \frac{КЛ_3 - КЛ_{17}}{2}; (\beta_L - \beta_{П})_{дон} \leq 1'.$$

**Измерение магнитного азимута**

Измерение магнитного азимута с помощью теодолита и буссоли выполняется по следующей методике.

1. Теодолит приводят в рабочее состояние и закрепляют буссоль.
2. Вращением алидады горизонтального круга устанавливается отсчет 0° 00'.
3. Закрепляем закрепительный винт алидады, открепляем винт лимба и, вращая теодолит, ориентируем его по направлению на север по стрелке буссоли (объектив зрительной трубы и северная стрелка буссоли должны совпадать по направлению, отсчет по горизонтальному кругу теодолита должен быть равен 0° 00'). Винт лимба закрепляем.
4. При вращении только алидады наводим зрительную трубу на искомые направления и снимаем отсчеты по горизонтальному кругу, которые будут являться магнитными азимутами  $A_M$ .

**Определение расстояния по дальномерной рейке**

При помощи теодолита можно измерять расстояния. Для осуществления этой функции служат дальномерные нити и визирная рейка.

Чтобы определить расстояние  $l$  от теодолита до рейки, оптическую трубу прибора наводят на шкалу установленной вертикально рейки. Оценивают длину отрезка рейки между дальномерными нитями, которая определяется как разность показаний нижней и верхней нитей.

Чтобы вычислить расстояние до рейки, надо найденную длину отрезка рейки умножить на 100:

$$l = (a_n - a_v) \cdot 100, \quad (9)$$

где  $a_n, a_v$  – отсчеты по нижней и верхней дальномерным нитям.

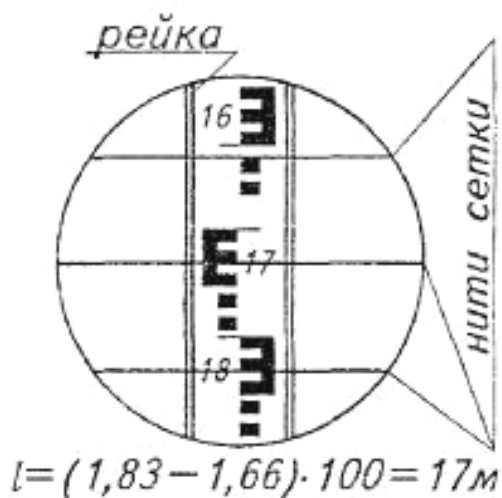


Рис. 22. Измерение расстояния по нитяному дальномеру

**Лабораторная работа № 4**  
**ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ.**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТМЕТКИ СТЕННОЙ МАРКИ**  
**ИЗ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ**

Теодолитом можно измерить не только горизонтальные углы, но и вертикальные. Измерение углов наклона производится при помощи вертикального круга. Углы могут быть положительными и отрицательными в зависимости от расположения трубы (выше или ниже относительно линии горизонта, рис. 23).

Измерение угла производится, как правило, при двух положениях трубы «круг лево» и «круг право». Отсчеты снимаются после наведения горизонтальной нити сетки зрительной трубы на нужную цель по вертикальному кругу в соответствии с правилами, изложенными в лабораторной работе № 2.

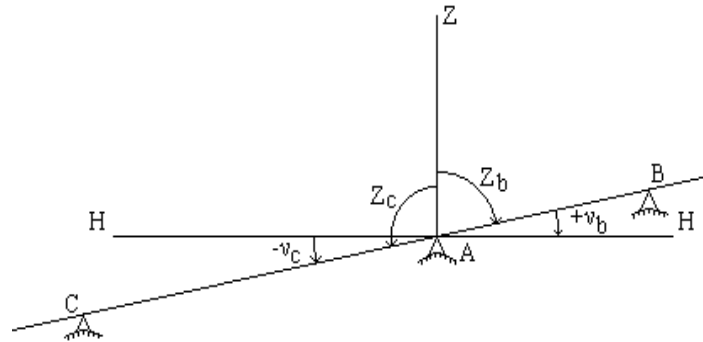


Рис. 23. Измерение вертикального угла направлений  $AB (+v_b)$  и  $AC (-v_c)$ :  
 $Z_b$  и  $Z_c$  – зенитные расстояния этих направлений

$$v = \frac{L - R}{2}; v = L - M_0 = M_0 - R, \quad (10)$$

где  $L$  и  $R$  – отсчеты по вертикальному кругу при его правом и левом положении.

Пример записи измерения вертикального угла наклона приведен в табл. 5.

Вычисление превышения из тригонометрического нивелирования по способу нивелирования вперед производится по формуле

$$h = S * \operatorname{tg} v + i - V, \quad (11)$$

где  $h$  – превышение между точками;  
 $S$  – горизонтальное проложение;  
 $v$  – угол наклона;  
 $i$  – высота теодолита;  
 $V$  – высота визирования.

Таблица 5

## Измерение вертикального угла

Название направления	Отсчеты по вертикальному кругу		Место нуля $M0 = \frac{L+R}{2}$	Значение угла наклона $v$	Зенитное расстояние $Z = 90^\circ - v$
	Круг лево ( $L$ )	Круг право ( $R$ )			
С	-10° 15'	+10° 14'	-30''	-10° 14' 30''	100° 14' 30''
В	+9 34'	-9 35'	-30''	9 34 30	80 25 30

**Содержание задания:**

1. Измерить вертикальный угол на две стенные марки, заданные преподавателем.
2. Вычислить отметку стенных марок, если отметка точки стояния теодолита равна 100,00 м.

**Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Журнал измерения и вычисления вертикальных углов.
2. Вычисление отметок стенных марок.

## Лабораторная работа № 5 УСТРОЙСТВО, ПОВЕРКИ И РАБОТА С НИВЕЛИРОМ

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

**Нивелир** – прибор, в котором визирный луч приводится в горизонтальное положение. Отсчеты берут по шкалам устанавливаемых вертикально нивелирных реек. Оцифровка шкал на рейках возрастает от пятки рейки вверх. Если на пятке рейки расположен ноль шкалы, то отсчет по рейке равен расстоянию от пятки до луча визирования.

По классу точности нивелиры делятся на высокоточные (Н-05), точные (Н-3) и технические (Н-10).

### Устройство нивелира Н-3

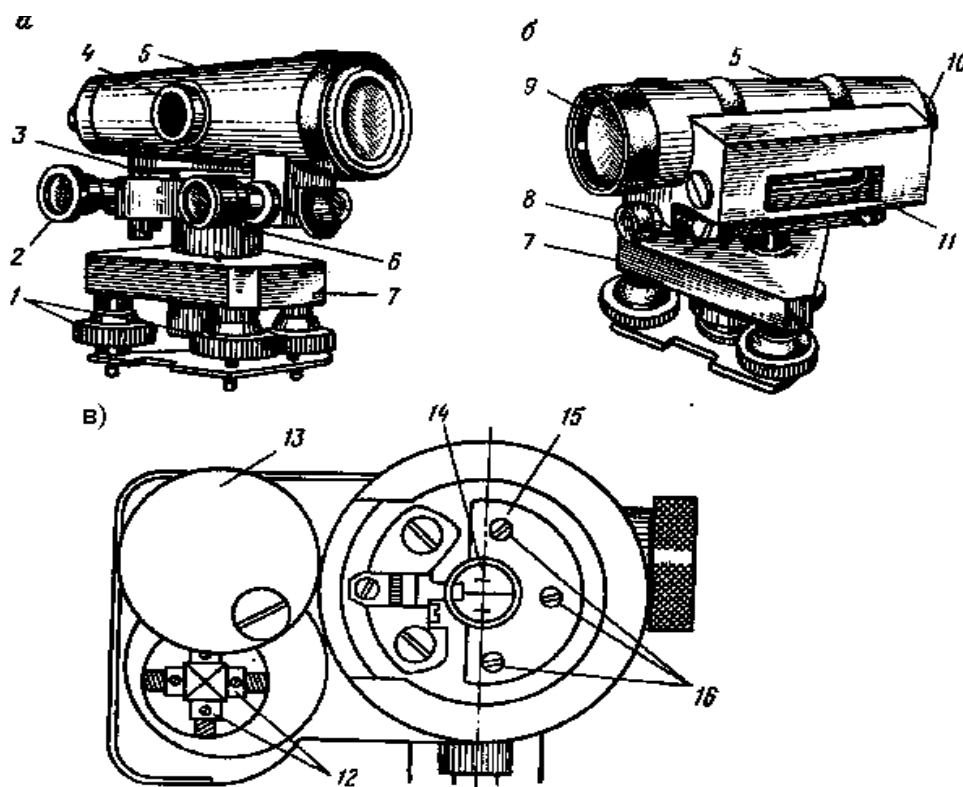


Рис. 24. Вид нивелира:

*а* – со стороны круглого уровня; *б* – со стороны цилиндрического уровня; *в* – со стороны окуляра зрительной трубы без предохранительного колпачка.

1 – подъемные винты; 2 – элевационный винт; 3 – круглый уровень; 4 – кремальера; 5 – корпус зрительной трубы; 6 – наводящий винт; 7 – трегер (подставка); 8 – закрепительный винт; 9 – объектив; 10 – окуляр с диоптрийным кольцом; 11 – контактный цилиндрический уровень; 12 – юстировочные винты цилиндрического уровня; 13 – крышка; 14 – сетка нитей; 15 – металлическая пластинка; 16 – крепежные винты сетки нитей

## Нивелирные рейки и взятие отсчетов по рейкам

В техническом и точном нивелировании применяются шашечные двусторонние деревянные рейки. На нижнюю часть рейки крепится металлическая пластина, называемая пяткой рейки. На черной стороне рейки пятке соответствует нулевое деление, на красной – отсчет, больший 4 000 мм. Разность пяток для данной рейки является постоянной величиной, что позволяет контролировать правильность отсчетов.

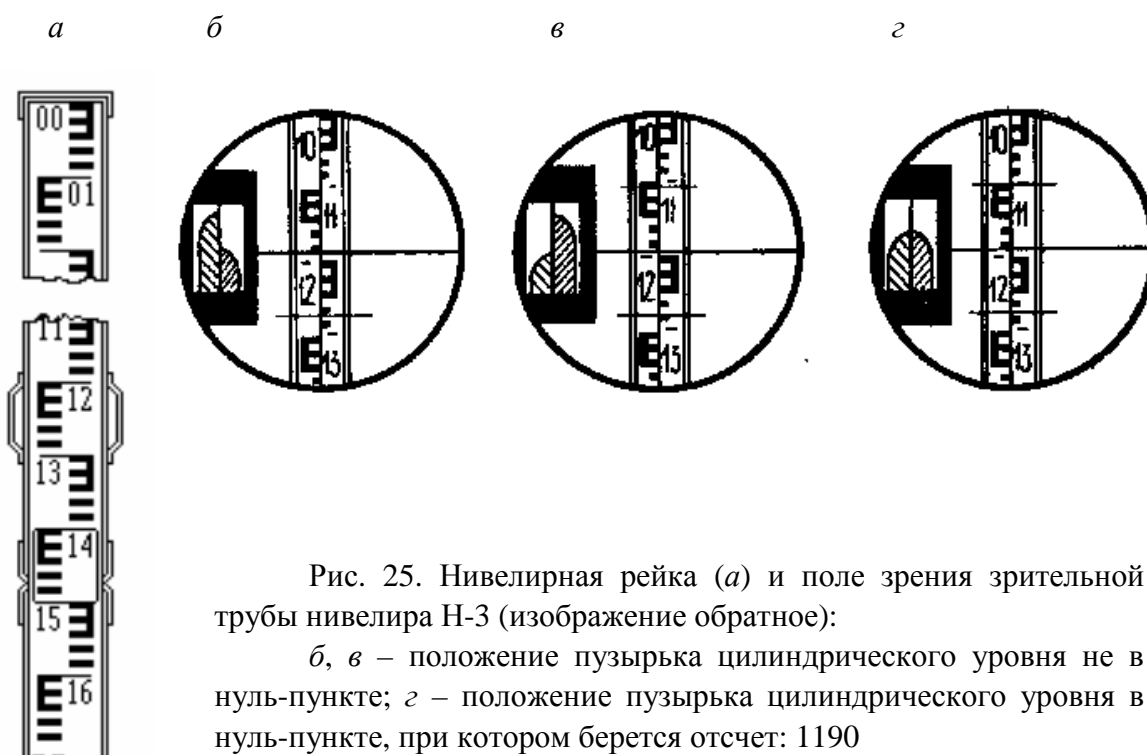


Рис. 25. Нивелирная рейка (а) и поле зрения зрительной трубы нивелира Н-3 (изображение обратное):

б, в – положение пузырька цилиндрического уровня не в нуль-пункте; z – положение пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункте, при котором берется отсчет: 1190

Процесс нивелирования, как правило, осуществляется по двум рейкам. Поэтому рейки, используемые при нивелировании, должны быть подобраны в комплект, т.е. иметь одинаковые разности пяток. Определение разностей пяток (или высот нулей) выполняется путем взятия отсчетов с помощью нивелира по черной и красной сторонам реек, устанавливаемых поочередно на одну и ту же точку (табл. 6).

Таблица 6

Определение разностей пяток реек, входящих в комплект

Номер рейки	Отсчеты по рейкам		Разность пяток
	черная	красная	
1	0610	5295	4685
2	0612	5297	4685



В процессе нивелирования на каждой станции осуществляется контроль нивелирования по разностям высот нулей или пятков реек (табл. 7).

Таблица 7

Пример записи отсчетов при нивелировании на станции

Номер рейки	Отсчеты по рейкам, мм		Разность пятков
	черная	красная	
З	0610	5293	4683
П	0715	5400	4685
$h = З - П$	-105	-107	-2/-2

Допуск на разность пятков, а также превышений на станции, вычисленных по черной и красной сторонам реек, для технического нивелирования составляет 4 мм.

### Основные оси нивелира (рис. 26)

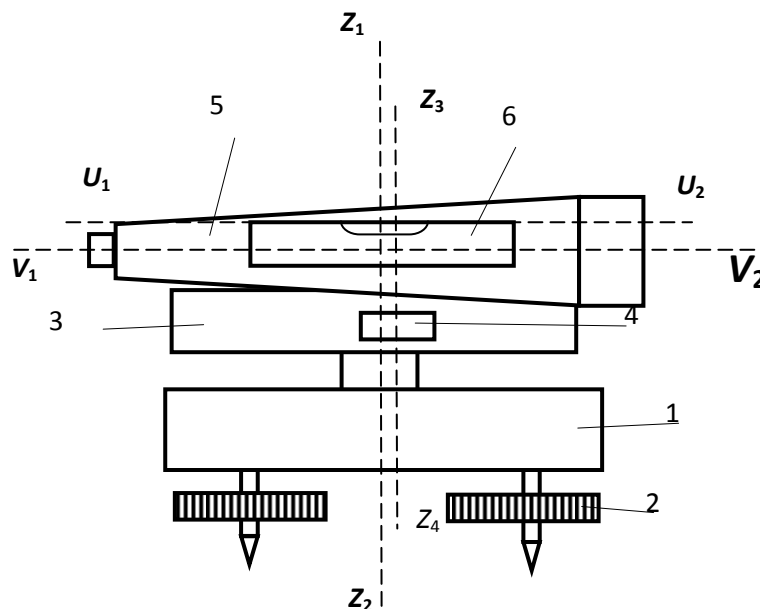


Рис. 26. Схема основных осей нивелира:  
 $Z_1 Z_2$  – вертикальная ось вращения прибора;  $Z_3 Z_4$  – вертикальная ось круглого уровня;  $V_1 V_2$  – визирная ось зрительной трубы прибора;  $U_1 U_2$  – горизонтальная ось цилиндрического уровня

### Основные поверки нивелира Н-3

#### Подготовка нивелира к работе

Перед поверками нивелира необходимо, во-первых, отрегулировать длину пузырька уровня и, во-вторых, при помощи круглого уровня приближенно привести ось вращения нивелира в вертикальное положение. Без

этого нельзя будет увидеть изображение половинок концов пузырька через оптическую систему уровня.

### Проверка круглого уровня

**Геометрическое условие:** ось круглого уровня ( $Z_3Z_4$ ) должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $Z_1Z_2$ ) (см. рис. 26).

**Порядок выполнения проверки:** тремя подъемными винтами пузырек круглого уровня приводим в нуль-пункт. Визируя поперек трубы, поворачиваем верхнюю часть нивелира вокруг оси на  $180^\circ$ .

Если уровень не отклоняется более чем на две дуги от нуль-пункта, считается, что проверка выполнена (рис. 27), в противном случае необходимо произвести юстировку.

**Порядок юстировки:** пузырек приводят в первоначальное положение, перемещая его на первую половину дуги отклонения при помощи юстировочных винтов уровня, в на другую половину – подъемными винтами. После чего проверку повторяют.

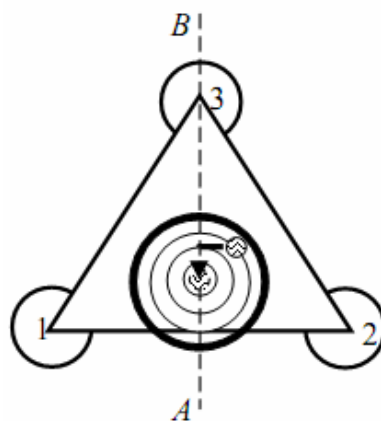


Рис. 27. Проверка круглого уровня

Существует и другой, более надежный, способ проверки круглого уровня: сначала тщательно устанавливают ось вращения нивелира в отвесное положение с помощью элевационного винта и цилиндрического уровня при трубе, затем исправительными винтами круглого уровня приводят его пузырек в нуль-пункт.

### Проверка сетки нитей

**Геометрическое условие:** вертикальная нить сетки при положении пузырька уровня на середине должна совпадать с отвесной линией, а горизонтальная нить сетки перпендикулярна к вертикальной оси нивелира.

**Порядок выполнения проверки горизонтальности средней нити сетки нитей:**

– Рейку ставят в 30 – 40 м от нивелира и закрепляют ее, чтобы она не качалась.

– Затем берут отсчеты по рейке при двух крайних положениях ее изображения: слева от центра и справа (рис. 28). Если отсчеты отличаются один от другого более, чем на 1 мм, то сетку нитей нужно развернуть.

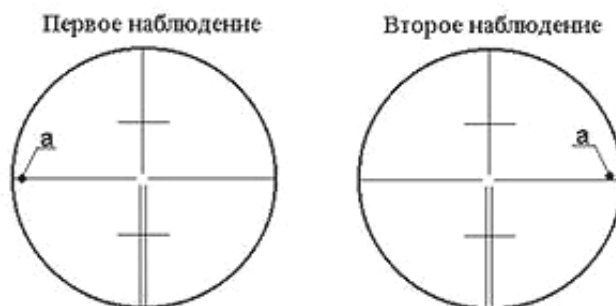


Рис. 28. Проверка горизонтальности средней нити сетки

**Порядок выполнения проверки вертикальности нити сетки**

Вертикальность нити проверяют с помощью отвеса. Для этого в 20 м от нивелира подвешивают отвес, наводят на него трубу и проверяют совпадение вертикальной нити сетки с нитью отвеса.

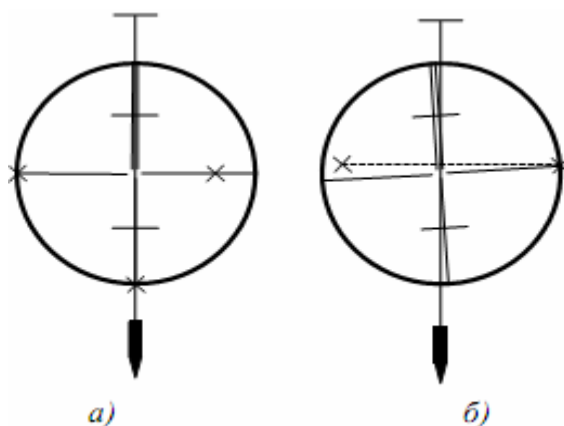


Рис. 29. Проверка вертикальности нити с помощью отвеса

При невыполнении условия сетку нитей прибора необходимо юстировать.

**Юстировка:** снимают защитный колпачок на корпусе зрительной трубы 5 (см. рис. 24) и ослабляют крепежные винты сетки нитей 16. Пово-

ротом окуляра устанавливают сетку нитей в должное положение и закрепляют крепежные винты.

После юстировки обе части поверки повторяют.

### Поверка главного условия нивелира

**Геометрическое условие:** ось цилиндрического уровня ( $U_1U_2$ ) должна быть параллельна визирной оси ( $V_1V_2$ ) зрительной трубы.

Поверка производится двойным нивелированием линии длиной 50 – 75 м – способом «из середины» и способом «вперед» (рис. 30).

– На концах линии 1-2 на колья (костыли) устанавливают рейки. Установив нивелир на равных расстояниях от реек, берут отсчеты  $a', b'$  по задней и передней рейкам, отличающихся от истинных согласно верхнему рисунку на одну и ту же ошибку  $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$ , т.к. нивелируем из середины.

– Вычисляем превышение  $h_1 = a' - b'$ , свободное от влияния угла  $i$ .

– Устанавливаем нивелир максимально близко к задней рейке и вновь берем по ним отсчеты ( $a', b'$ ) (нижнее изображение, рис. 30).

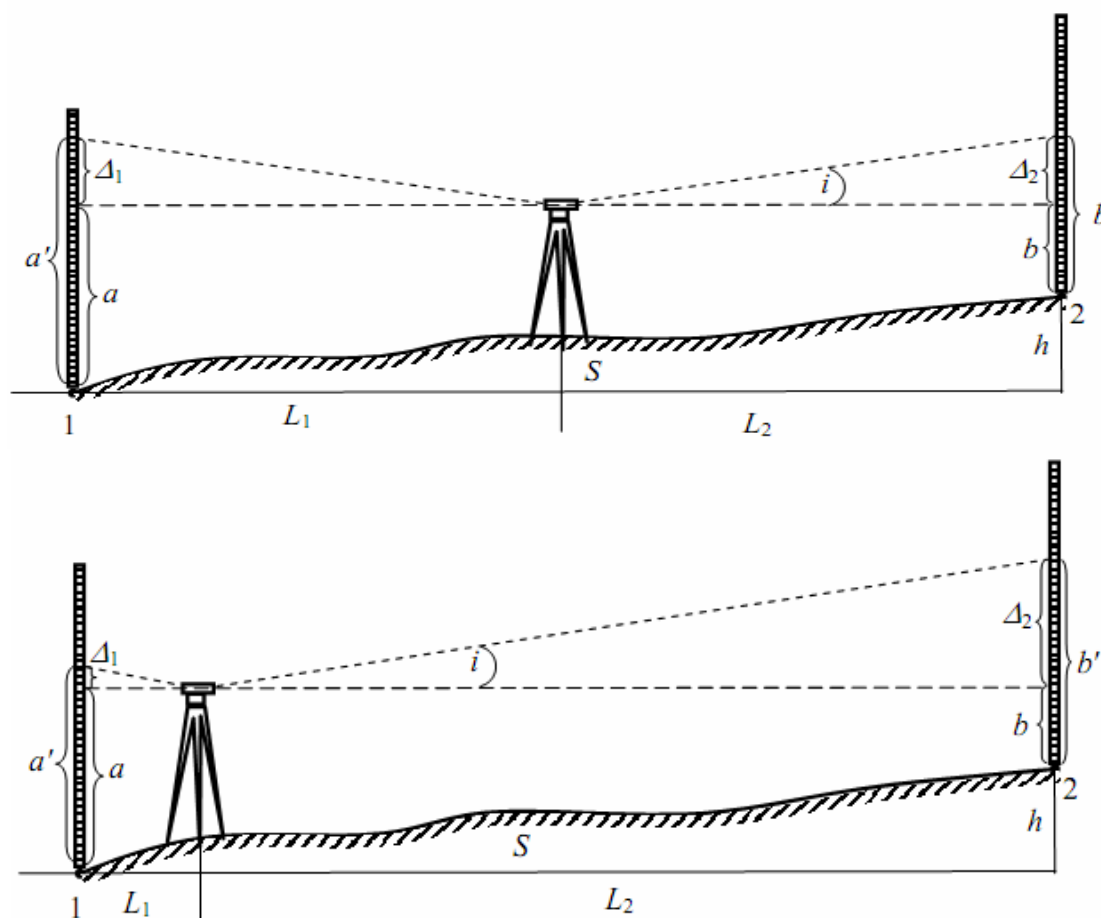


Рис. 30. Поверка главного условия нивелира способом «из середины» в сочетании со способом нивелирования вперед

- В этом случае  $\Delta_1 \neq \Delta_2$ , т.к.  $\Delta_1$  практически равно 0, а отсчет по передней рейке будет содержать ошибку за влияние угла  $i$ , которая войдет в полученное при второй постановке нивелира превышение  $h_2$ .

- Определяем  $\Delta = h_2 - h_1$  и сравниваем с допуском  $\Delta_{доп} \leq 4$  мм.
- Если допуск не соблюден, то исправляем угол  $i$ .

**Порядок юстировки:**

- Вычисляем правильный отсчет на дальнюю рейку:  $b = b' - \Delta$ .
- Вращением элевационного винта устанавливают среднюю горизонтальную нить на этот предвычисленный отсчет  $b$ , при этом пузырек цилиндрического уровня сойдет с нуля-пункта.
- Ослабив боковые исправительные винты цилиндрического уровня, вертикальными исправительными винтами добиваются «контакта» изображений концов пузырька уровня.

Пример записи поверки главного условия нивелира приведен в табл. 8.

Таблица 8

**Поверка главного условия нивелира способом нивелирования из середины в сочетании со способом нивелирования вперед**

Измеренное превышение	Рейка	Отсчет по рейке	Примечание
Из середины	З	1400	
	П	1715	
	$h_1$	-315	Превышение, свободное от влияния угла $i$
Нивелир находится вблизи задней рейки	П	1470	
	З	1150	
	$h_2$	-320	Превышение, не свободное от влияния угла $i$

$$X = \Delta = h_2 - h_1 = -320 - (-315) = -5 \text{ мм} > \Delta_{доп.} = 4 \text{ мм.}$$

**Юстировка:**

1. Вычисляем правильный отсчет по дальней (передней) рейке и устанавливаем его с помощью элевационного винта:

$$P_{выч.} = P + X = 1470 - 5 = 1465.$$

2. Изображения концов цилиндрического уровня разойдутся.
3. Вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня точно совмещаем концы пузырька уровня, следя за тем, чтобы отсчет по дальней (передней) рейке оставался равным  $P_{выч.} = 1465$ .

**Проложение нивелирного хода  
Методика выполнения работы**

1. Наметить ход из трех точек (1-2-3) и произвести его нивелирование по схеме 1-2, 2-3, 3-1, получая на каждой станции превышения  $h_{1-2}$ ,  $h_{2-3}$ ,  $h_{3-1}$ .
2. Порядок нивелирования на станции:
  - Отсчет по черной стороне задней рейки (верхняя дальномерная, средняя).
  - Отсчет по черной стороне передней рейки (верхняя дальномерная, средняя).
  - Отсчет по красной стороне передней рейки (средняя нить).
  - Отсчет по красной стороне задней рейки (средняя нить).

Образец записи отсчетов и вычислений в журнале приведен в табл. 9.

Таблица 9

**Журнал нивелирования хода 1-2-3-1 (станция 1)**

Номер штатива и реек	Расстояния до задней и передней реек	Отсчеты по рейкам		Превышение в мм	Среднее превышение, мм
		З	П		
1 1-2	375 (7)	1187 (1)	1058 (3)	132 (11) 130 (12)	131 (13)
	372 (8)	1562 (2)	1430 (4)		
		6247 (6)	6117 (5)		
		4685 (9)	4687 (10)		

3. Аналогично определяют превышения на станциях 2( $h_{2-3}$ ) и 3( $h_{3-1}$ ).
4. Контроли на станции:  $h_ч - h_{кр} \leq 4$  мм, отсчеты по черной и красной сторонам реек не должны отличаться от паспортной разности пятков более, чем на 4 мм.
5. Вычисляют невязку хода по формуле:

$$f_h = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-1} \quad (12)$$

Если  $f_h \leq f_{h \text{ доп.}} = 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{3}$ , то проложение нивелирного хода следует считать успешно завершенным.

**Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Описание поверок.
2. Журнал поверки главного условия нивелира с анализом и выводом об отсутствии или необходимости выполнения юстировки. Порядок юстировки.
3. Журнал нивелирования.
4. Вычисление невязки. Сравнение с допуском.

## Лабораторная работа № 6 ОБРАБОТКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА И МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

### Содержание работы:

1. Обработка журнала теодолитного хода.
2. Вычисление угловой и координатной невязок теодолитного хода.
3. Уравнивание теодолитного хода. Вычисление координат точек теодолитного хода.
4. Составление плана теодолитной съемки.

Теоретические основы для данной работы изложены в разделе 7.3.4 настоящего УМК.

Пример журнала обработки результатов измерений в теодолитном ходе представлен в табл. 10.

Выполнение пунктов 2 – 3 содержания задания рассмотрим на примере схемы разомкнутого и замкнутого ходов.

### Обработка разомкнутого теодолитного хода

При обработке вручную записи ведут в ведомость установленной формы (табл. 11). В графу 1 вписывают названия или номера точек. Вписывают исходные данные: в соответствующие строки графы 3 – начальный и конечный дирекционные углы, в графы 7 и 8 – координаты начального и конечного пунктов (исходные данные в таблице выделены жирным шрифтом). Вписывают результаты измерений: измеренные углы – в графу 2, горизонтальные проложения сторон хода – в графу 4.

#### Уравнивание углов

Подсчитывают сумму измеренных углов  $\sum\beta$ . Теоретически эта сумма должна быть равна:

– для правых углов

$$\sum\beta_{теор} = \alpha_{нач} - \alpha_{кон} + n \cdot 180^\circ ; \quad (13)$$

– для левых углов

$$\sum\beta_{теор} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач} + n \cdot 180^\circ , \quad (14)$$

где  $n$  – число измеренных углов.

В табл. 11 углы – правые.

Отличие фактической суммы углов от теоретической представляет угловую невязку хода:

$$f_\beta = \sum\beta - \sum\beta_{теор} . \quad (15)$$

## Журнал измерения углов и линий в теодолитном ходе

Дата 14.03.11 Время 10<sup>00</sup> Погода солнечнаяХод от п.п. 2307 через точки 1-2-3- 1 Наблюдал Крупская Е.

№ станции	№ точ. набл.	отсчеты		углы		среднее из углов		длина линий, м	угол наклона		горизонтал. проложение
		°	'	°	'	°	'		°	'	
1	2307	137	15,0	19	15,0	19	14,8				
	2	156	30,0								
	2307	317	15,5	19	14,5						
	2	336	30,0								
2	1	359	01,5	50	57,5	50	57,8	(1-2)			263,02
	3	308	04,0					263,04			
	1	179	02,5	50	58,0	263,00					
	3	128	04,5			263,02					
3	2	163	21,0	161	20,0	161	20	(2-3)	+3	15	239,19
	4	2	01,0					239,60			
	2	343	22,0	161	20,0	239,56					
	4	182	02,0			239,58					
4	3	194	59,0	79	02,0	79	02,2	(3-4)			269,80
	5	115	57,0					269,85			
	3	302	57,0	79	02,5	269,75					
	5	223	54,5			269,80					
5	4	337	59,5	107	40,0	107	39,8	(4-5)	-2	10	192,89
	1	230	19,5					193,00			
	4	157	59,0	107	39,5	193,06					
	1	50	19,5			193,03					
1	5	50	16,0	141	01,0	141	01	(5-1)			239,14
	2	269	15,0					239,18			
	5	230	16,5	141	01,0	239,10					
	2	11	17,5			239,14					

Вычисленную угловую невязку сравнивают с допустимой:

$$f_{\beta_{доп}} = 1' \sqrt{n}. \quad (16)$$

Если угловая невязка меньше допустимой, что указывает на доброкачественность угловых измерений и правильность вычислений, то невязку  $f_{\beta}$  распределяют поровну во все измеренные углы со знаком, противоположным знаку невязки. Полученные при этом поправки

$$\delta_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n} \quad (17)$$



вписывают над измеренными углами в графу 2. Невязка редко делится на число углов без остатка. Поэтому поправки округляют, вводя большие в углы с более короткими сторонами. При этом сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком:

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta}.$$

Таблица 11

**Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода**

Названия точек	Измеренные углы	Дирекционные углы	Длины сторон, м	Приращения координат, м		Координаты, м	
				$\Delta x$	$\Delta y$	$x$	$y$
1	2	3	4	5	6	7	8
A							
	-0,3'	<b>349° 50,0'</b>					
I	113° 26,0'			-0,03	+0,04	<b>6322,70</b>	<b>4057,25</b>
	-0,3	56 24,3	138,56	+76,67	+115,42		
II	85 07,5			-0,03	+0,03	6399,34	4172,71
	-0,3	151 17,1	116,30	-102,00	+55,88		
III	211 44,5			-0,04	+0,05	6297,31	4228,62
	-0,3	119 32,9	197,24	-97,27	+171,59		
IV	56 33,2					<b>6200,00</b>	<b>4400,26</b>
		<b>243 00,0</b>					
B							
$\sum \beta = 466^{\circ}51,2'$		$P = \sum d = 452,10$		$\sum \Delta x = -122,60$	$\sum \Delta y = +342,89$		
$\sum \beta_{\text{теор}} = (\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}} + n \cdot 180^{\circ}) = 349^{\circ}50,0' - 243^{\circ}00,0' + 4 \cdot 180^{\circ} - 360^{\circ} = 466^{\circ}50,0'$ $f_{\beta} = \sum \beta - \sum \beta_{\text{теор}} = +1,2'$ $f_{\beta_{\text{дон}}} = 1' \sqrt{n} = 1' \sqrt{4} = 2,0'$				$x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = -122,70; \quad y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}} = 343,01;$ $f_x = \sum \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}) = -122,60 + 122,70 = +0,10 \text{ м}$ $f_y = \sum \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}) = +342,89 - 343,01 = -0,12 \text{ м}$ $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(+0,10)^2 + (-0,12)^2} = 0,16 \text{ м}$ $\frac{f}{P} = \frac{0,16}{452,10} = \frac{1}{2800} < \frac{1}{2000}$			

### Вычисление дирекционных углов

Дирекционные углы вычисляют, используя начальный дирекционный угол  $\alpha_{\text{нач}}$  и измеренные углы  $\beta_i$ , исправленные поправками  $\delta_{\beta}$ , как:

– для правых углов

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^{\circ} - (\beta_i + \delta_{\beta}); \quad (18)$$

– для левых углов

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^{\circ} + (\beta_i + \delta_{\beta}). \quad (19)$$

Контролем правильности вычислений служит равенство вычисленного и заданного значений конечного дирекционного угла.

**Вычисление приращений координат** выполняют по дирекционным углам и длинам сторон хода (графы 5 и 6):

$$\Delta x_i = d_i \cos \alpha_i; \Delta y_i = d_i \sin \alpha_i \quad (i = 1, 2, \dots, n - 1).$$

Вычислив суммы приращения абсцисс  $\sum \Delta x$  и ординат  $\sum \Delta y$ , находят координатные невязки:

$$f_x = \sum \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}}); f_y = \sum \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}). \quad (20)$$

Вычисляют абсолютную невязку  $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$  и относительную невязку хода  $f/P$ , где  $P = \sum d$  – длина хода. Если относительная невязка не превосходит допустимой (обычно, 1/2 000), то невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют (см. записи курсивом в графах 5 и 6) в виде поправок к приращениям координат, пропорциональных длинам сторон, и со знаками, противоположными знакам невязок:

$$\delta x_i = -\frac{f_x}{P} d_i; \delta y_i = -\frac{f_y}{P} d_i. \quad (21)$$

Суммы поправок должны равняться невязкам с обратным знаком:

$$\sum \delta_x = -f_x; \sum \delta_y = -f_y. \quad (22)$$

**Вычисление координат** точек теодолитного хода выполняют по формулам (см. графы 7 и 8)

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i + \delta x_i; y_{i+1} = y_i + \Delta y_i + \delta y_i, \quad (23)$$

где  $(i = 1, 2, \dots, n - 1)$ .

Контролем правильности вычислений служит совпадение вычисленных и заданных координат последней точки теодолитного хода.

### **Обработка замкнутого теодолитного хода**

Последовательность обработки замкнутого хода такая же, как и разомкнутого. Но исходными в замкнутом теодолитном ходе служат координаты одного из пунктов хода и дирекционный угол одной из сторон. Угловая невязка вычисляется по формуле

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n - 2), \quad (24)$$

где  $n$  – число углов в полигоне.

После распределения угловой невязки и вычисления дирекционных углов сторон хода контролируют правильность вычислений – в конце должно быть получено то же значение дирекционного угла, которое было исходным.

Невязки в координатах находят по следующим формулам:

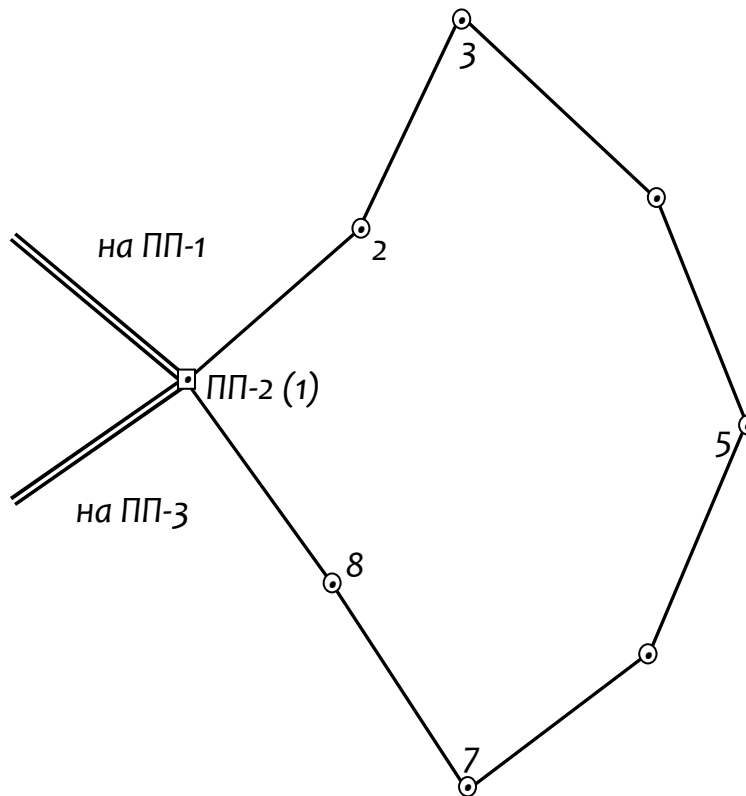
$$f_x = \sum \Delta x; f_y = \sum \Delta y. \quad (25)$$

Эти соотношения следуют из формул (21), где в данном случае  $x_{нач} = x_{кон}$ ,  $y_{нач} = y_{кон}$ . Распределив невязки  $f_x$  и  $f_y$  и вычислив координаты точек хода, контролируют правильность вычислений – вычисленные в конце координаты начальной точки хода должны равняться исходным.

### Исходные данные:

1. Схема теодолитного хода:

а)



б)

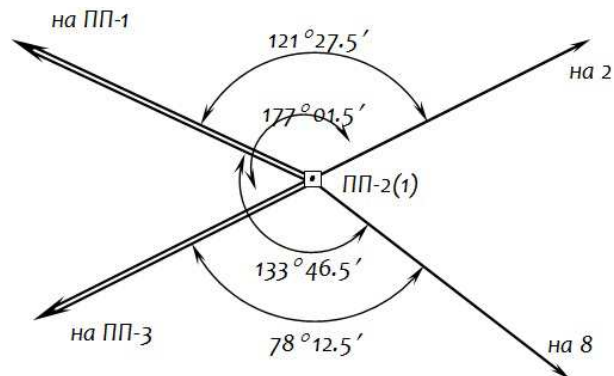


Рис. 31. Схема теодолитного хода (а) с привязкой к примычным направлениям (б)

2. Журнал измерения углов и длин линий в теодолитном ходе.

Ход \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
 Погода \_\_\_\_\_ Наблюдатель \_\_\_\_\_

№ станции	Круг	№ точек наведения	Отсчет ° , ' , "	Угол из полуприема ° , ' , "	Среднее ° , ' , "	Расстояние, м	Примечание
1	2	3	4		5	6	7
ПП-2 (1)	КЛ	8	119 08	255 13	255 13	(1-8)	на всю длину $v = - 1^{\circ} 33'$
		2	14 21			150.95	
	КП	8	299 09	151.01			
		2	194 22	150.92			
2	КЛ	1	324 18			(2-1)	
		3	122 07			145.17	
	КП	1	144 19			145.23	
		3	302 08				
3	КЛ	2	24 17			(3-2)	
		4	317 11			112.32	
	КП	2	204 18			112.37	
		4	137 12				
4	КЛ	3	276 15			(4-3)	на всю длину $v = + 1^{\circ} 49'$
		5	121 56			140.92	
	КП	3	96 16			140.99	
		5	301 57				
5	КЛ	4	121 54			(5-4)	
		6	355 09			149.38	
	КП	4	301 55			149.44	
		6	175 09				

6	KJI	5	12	34				(6-5) 131.53 <u>131.47</u>	
		7	209	32					
	KII	5	192	35					
		7	29	34 30					
7	KJI	6	286	47				(7-6) 119.20 <u>119.25</u>	
		8	206	36					
	KII	6	106	48					
		8	26	37					
8	KJI	7	14	27				(8-7) 99.99 <u>100.03</u>	
		1	192	45					
	KII	7	194	28					
		1	12	47					

## **Составление плана теодолитной съемки**

План теодолитной съемки составляется на основании материалов обработки и абриса в следующей последовательности:

1. На ватмане разбиваем прямоугольную сетку координат в масштабе 1:500 и наносим на нее координатную основу, полученную в результате создания планового обоснования (пункты Т.6, Т.7, Т.8 из уравнивания теодолитного хода, пункты Р-1 и Р-2 из засечки).

2. По абрисам теодолитной съемки, выданным преподавателем, выносим ситуацию на лист ватмана с координатной основой.

3. Вычерчиваем план теодолитной съемки в соответствии с условными знаками для масштаба 1:500.

### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Журнал обработки результатов измерений в теодолитном ходе.
2. Ведомость математической обработки теодолитного хода.
3. Формулы, используемые при математической обработке (при защите необходимо продемонстрировать их знание).
4. План теодолитной съемки.

**Лабораторная работа № 7**  
**ЗНАКОМСТВО С ПЛАНИМЕТРОМ.**  
**ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПЛАНИМЕТРОМ**

**Планиметр** – это прибор, использующийся для определения площадей замкнутых контуров любой формы на картах, планах и любых других графических изображениях. Механические планиметры известны довольно давно и представляют собой систему шарнирно соединенных рычагов. Известное положение ролика относительно звеньев механизма позволяет при обходе штифтом измеряемого контура соотносить контур с прямоугольником с известной длиной сторон и площадью, равной площади измеряемого контура.

**Планиметры** могут быть **полярного** или **роликового** типа. Роликовые планиметры, как ясно из названия, оснащены роликами, обеспечивающими значительное горизонтальное перемещение на плоскости. Планиметры полярного типа имеют плечо, при помощи которого осуществляется движение в пределах измеряемой площади.

Полярный планиметр (рис. 32) состоит из трех частей: полюсного 1 и обводного 2 рычагов и каретки счетного механизма. Полюсный рычаг с одной стороны имеет груз с иглой 3, которая является полюсом планиметра; перед началом измерений иглу вдавливают в бумагу. С другой стороны полюсный рычаг заканчивается шарниром 6, с помощью которого он соединяется с кареткой счетного механизма. На конце обводного рычага имеется обводный шпиль 7, которым обводят контур участка, удерживая рычаг за ручку 8. Для того чтобы шпиль не царапал карту, существует штифт 9, длину которого можно регулировать с помощью гайки. В более поздней конструкции планиметра шпиль заменен увеличительным стеклом с точкой в центре.

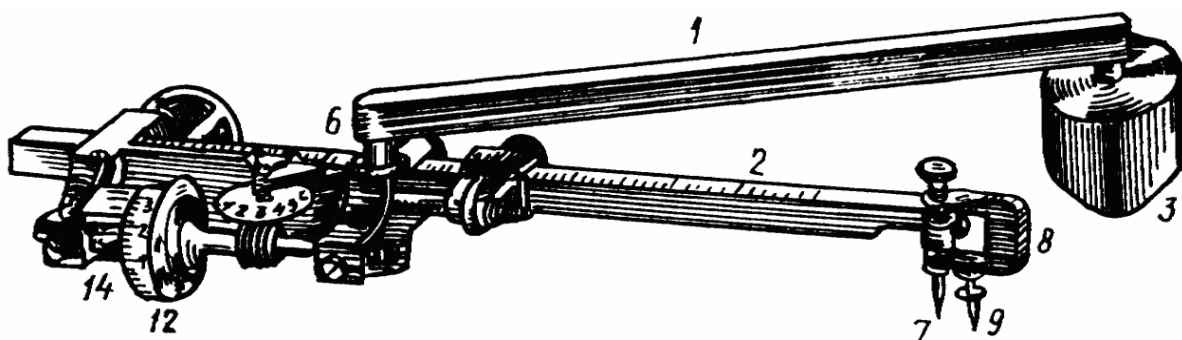


Рис. 32. Полярный планиметр

На обводном рычаге расположена каретка со счетным механизмом (рис. 33). Он состоит из счетного колеса 12, счетчика целых оборотов счетного колеса 13 и верньера 14. При измерении площади участка ободок счетного колеса 15 и ролик 16 должны находиться в пределах листа карты.

Счетное колесо разделено на 100 делений, каждые 10 делений оцифрованы. Десятые доли делений счетного колеса определяются по верньеру. Делением планиметра называется одна тысячная часть окружности счетного колеса.

Отсчет по планиметру всегда состоит из четырех цифр. Первая цифра – ближайшая к указателю меньшая цифра счетчика оборотов 13, вторая и третья цифры – сотни и десятки делений на счетном колесе, предшествующих указателю верньера 14 (начальному штриху шкалы верньера, т.е. 0); четвертая цифра – номер штриха верньера, совпадающего с каким-либо штрихом счетного колеса (единицы делений). На рис. 33 отсчет по счетному механизму составляет 3578.

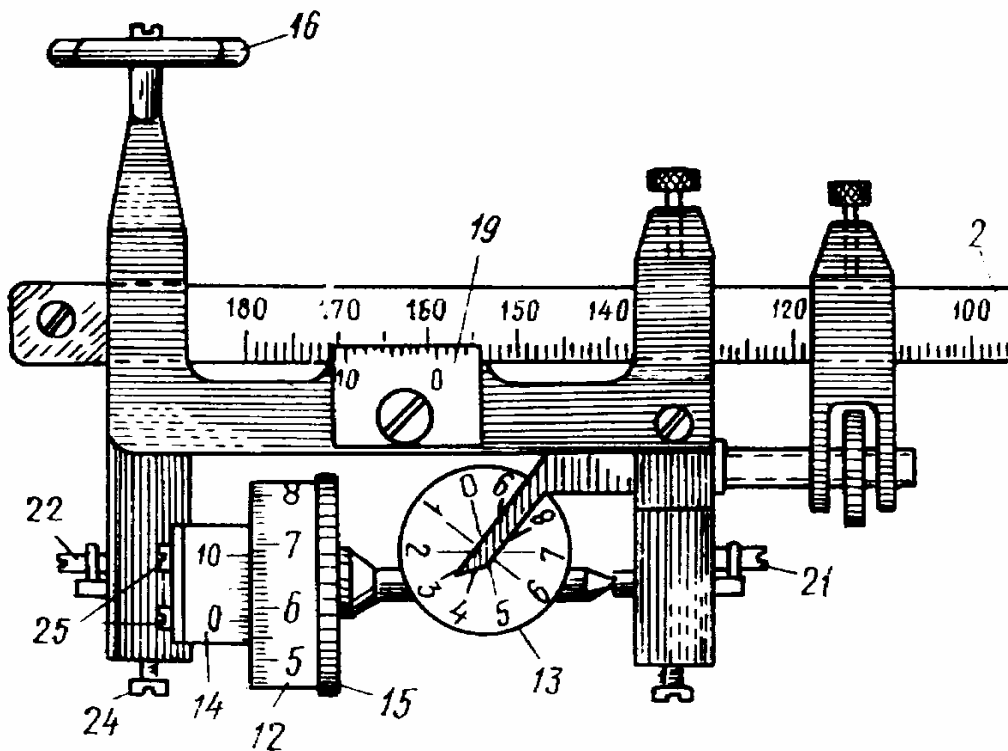


Рис. 33. Отсчетное устройство полярного планиметра

Прежде чем приступить к измерению площади, необходимо убедиться в исправности планиметра. Он должен удовлетворять двум условиям:

1. Счетное колесо должно вращаться свободно и без колебаний. Если ось колеса слишком зажата в удерживающих ее центрах или колесо ка-



сается примыкающего к нему верньера, то вращение его будет задерживаться и могут возникнуть ошибки при измерениях.

Проверка выполняется путем вращения счетного колеса рукой. Оно должно вращаться по инерции 3 – 5 с. Между краем счетного колеса и верньером должен быть зазор не более толщины листа бумаги. Вращение оси счетного колеса регулируется винтами 21 и 22 (см. рис. 33). Следует учесть, что при слишком слабом закреплении оси счетного колеса возможно его колебание. Положение верньера относительно края счетного колеса регулируется винтом 25.

2. Плоскость ободка счетного механизма должна быть перпендикулярна оси счетного колеса. Данная проверка выполняется путем обвода контура некоторого участка на бумаге при двух положениях полюса относительно обводного рычага – справа и слева.

Если результаты разнятся между собой не более, чем на 1/250 среднего значения разностей отсчетов, то считается, что планиметр удовлетворяет установленным требованиям. При больших разностях следует производить измерение площадей при двух положениях полюса относительно обводного рычага и счетного механизма. Среднее значение из двух измерений свободно от погрешностей, вызванных нарушением данного условия.

Для измерения площадей с повышенной точностью применяется планиметр ПП-2К. Он имеет две каретки счетного механизма, расположенные с обеих сторон обводного рычага, и, кроме того, обводный шпиль у этого планиметра заменен обводной точкой, выгравированной на нижней поверхности стекла.

Отметим, что в настоящее время имеются и электронные планиметры с индикацией результата измерений на экране дисплея.

### **Измерение площадей планиметром**

Планиметр, используемый для измерения площадей, должен удовлетворять рассмотренным выше требованиям. Необходимо также знать его цену деления и постоянное значение величины  $q$ . Если эти величины неизвестны, то их можно определить.

**Цена деления планиметра** – это площадь, соответствующая изменению отсчета на одно деление. Геометрически ее можно представить как площадь прямоугольника, одна из сторон которого равна длине обводного рычага, а другая – делению планиметра. Цену деления можно выразить в квадратных миллиметрах, если надо измерить площадь участка на бумаге, или, например, в гектарах, когда требуется знать значение измеряемой по

карте площади на местности. Для определения цены деления планиметра берется участок, площадь которого заранее известна, затем производится измерение указанной площади планиметром. Обычно для этого пользуются квадратом координатной сетки карты со стороной 10 см. Например, площадь квадрата координатной сетки карты масштаба 1:10 000 равна 100 га.

Обводный шпиль сначала устанавливают в центре квадрата, а полюс закрепляют в такой точке, чтобы угол между обводным и полюсным рычагом был равен примерно  $90^\circ$  и чтобы при обводе квадрата ни одна из опорных точек планиметра не выходила за пределы листа карты. Обводный шпиль подводят к одному из углов квадрата и снимают отсчет  $u_1$ . Далее шпилем обводят стороны квадрата по ходу часовой стрелки. Возвратившись в исходную точку, снимают второй отсчет  $u_2$ .

Сместив несколько обводное колесо, вторично производят обвод квадрата против часовой стрелки. При движении по ходу часовой стрелки отсчеты будут возрастать, против часовой стрелки – уменьшаться. Вычитая из большего значения меньшее, находят разности отсчетов, которые не должны отличаться более чем на 5 делений. Проведенные измерения составляют один полуприем. Второй полуприем выполняют в положении полюса с другой стороны обводного рычага и каретки счетного механизма. Расхождение в средних разностях отсчетов при двух полуприемах не должно превышать 5 делений. При наличии сходимости за окончательное значение разности отсчетов принимается среднее из двух результатов.

Цена деления планиметра вычисляется по формуле

$$c = \frac{P}{u_2 - u_1}, \quad (26)$$

где  $P$  – площадь измеренного участка;

$(u_2 - u_1)$  – средняя разность отсчетов из двух полуприемов.

Цена деления планиметра зависит от положения каретки счетного механизма на обводном рычаге. Перемещая каретку, можно найти такое ее положение, когда значение  $c$  будет удобно для измерений, например 1; 0,1; 0,01 и т.п.

### Пример

Пусть при обводе квадрата километровой сетки на карте масштаба 1:10 000 получена цена деления  $c = 0,0985$  га. Отсчет  $R$  по шкале обводного рычага 19 (см. рис. 33) составил 159,1 мм. Удобную цену деления планиметра  $c_0$  примем равной 0,1 га. Тогда каретку счетного механизма следу-

ет переместить на такую величину, чтобы новый отсчет  $R_0$  по шкале обводного рычага был равен

$$R_0 = \frac{R_{c0}}{c} = \frac{159,1 \cdot 0,1}{0,0985} = 161,5 \text{ мм.} \quad (27)$$

Измерение площадей относительно небольших участков (в поперечнике не более 15 – 17 см) производится с полюсом вне контура. Так же, как и при определении  $c$ , шпиль располагают примерно в центре участка, а для полюса выбирают такое место, чтобы рычаги планиметра составляли прямой угол (рис. 34, а). Затем производится беглый обвод контура. Угол между рычагами (рис. 34, б, в) должен составлять не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Если это условие не выполняется, то подбирается другое, более благоприятное положение полюса. Возможны случаи, когда это не удастся, и угол между рычагами выходит за пределы допуска при любом положении полюса. Тогда измерение площадей следует выполнять с полюсом внутри контура (рис. 34, г) или по частям.

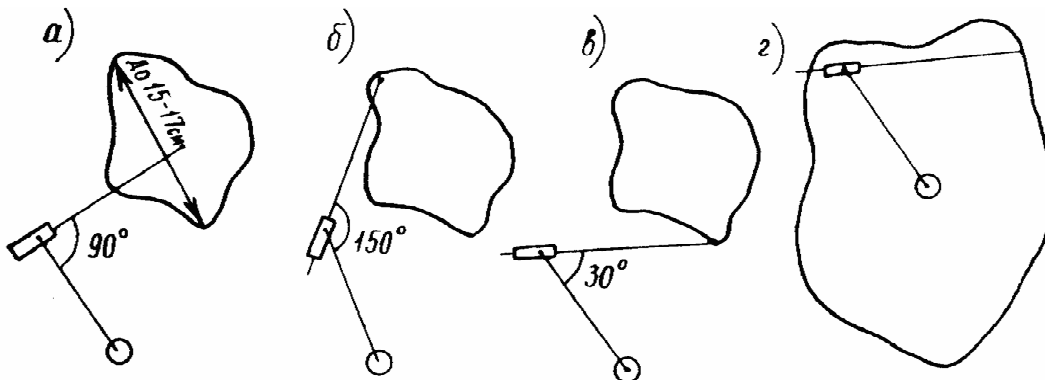


Рис. 34. Измерение площадей планиметром

Измерение площади участка производится полным приемом, так же как при определении цены деления планиметра. При этом контур участка тщательно обводят шпилем четыре раза: по два раза по ходу и против хода часовой стрелки при двух положениях полюса относительно рычага.

Возможно также измерение полуприемом.

Расхождения разностей отсчетов в полуприемах допускаются не более 3 – 4 делений при величине разностей до 1 000 делений и 5 – 6 делений для участков большего размера.

Площадь участка, измеренная при полюсе вне контура, вычисляется по формуле

$$П = c(u_2 - u_1). \quad (28)$$

Значение  $q$  планиметра, необходимое при работе с полюсом внутри контура, определяется так же, как и цена деления  $c$ , путем обвода контура участка, площадь которого известна. Участок выбирается значительно больших размеров (квадрат  $40 \times 40$  см или круг радиусом 30 см). Значение  $q$  находится с учетом ранее установленной цены деления  $c$ :

$$q = \frac{П}{c} - (u_2 - u_1). \quad (29)$$

Площадь с полюсом внутри контура определяется одним приемом и к разности отсчетов добавляется  $q$ :

$$П = c(u_2 - u_1 + q). \quad (30)$$

Точность результатов измерений планиметром зависит от многих факторов: точности определения постоянных  $c$  и  $q$ , конфигурации участка, состояния прибора, деформации бумаги и т.д.

Участки с большим периметром и сложными извилистыми границами (полосы дорог, рек и т.п.) надежнее определять графическим способом. Измерения рекомендуется проводить по карте, тщательно расправленной и закрепленной на гладком столе так, чтобы угол между рычагами по возможности приближался к прямому. При этом следует определять и учитывать деформацию бумаги.

Ошибка определения площади находится приближенно по формуле

$$\Delta_{П} = c(0,68 + 0,028\sqrt{u_2 - u_1}). \quad (31)$$

#### **Содержание задания:**

1. Определить значение  $c$  и  $q$  планиметра.
2. Измерить по плану теодолитной съемки площадь участка 6-7-8.

#### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Таблица определения постоянных планиметра  $c$  и  $q$ .
2. Данные по определению площади участка на плане с помощью планиметра.

## Лабораторная работа № 8 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОТНОГО СЪЕМОЧНОГО ХОДА

При создании высотного съемочного обоснования выполняют **техническое нивелирование**.

Ход технического нивелирования начинают и заканчивают на пунктах более высокого класса. По форме такие ходы бывают разомкнутыми или замкнутыми.

Для измерения превышений используются точные или технические нивелиры.

Ход прокладывают в одном направлении способом нивелирования из середины (рис. 35).

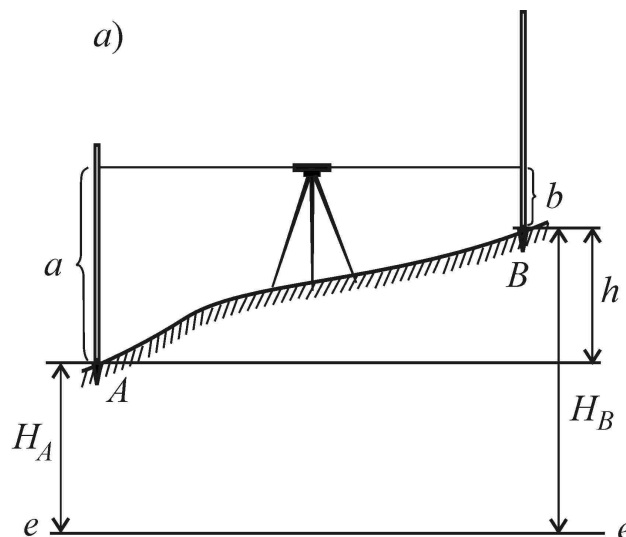


Рис. 35. Нивелирование из середины:  
 $H_A$ ,  $H_B$  – отметки точек  $A$ ,  $B$  относительно начала счета высот;  
 $a$  – отсчет по задней;  $b$  – отсчет по передней рейкам

$$h = a - b, \quad (32)$$

где  $h$  – превышение на станции между точками  $A$ ,  $B$ .

Отметка последующей точки равна отметке предыдущей плюс превышение:

$$H_B = H_A + h. \quad (33)$$

При создании съемочного обоснования прокладываются нивелирные ходы (рис. 36).

Прокладывается между точками  $A$  и  $Q$  линия, по возможности по прямому направлению и равнинной части местности. Линия разбивается на части с расчетом, чтобы каждую часть можно было пронивелировать с

одной постановки инструмента – станции (станция – место установки нивелира). Устанавливаем нивелир между точках  $A$  и  $B_1$ , приводим его в рабочее состояние и делаем отсчет  $a_1$  по задней рейке  $R_1$  (взгляд назад), затем отсчет  $b_1$  по передней рейке  $R_2$  (взгляд вперед). Это даст нам возможность определить превышение  $h_1$  между точками  $A_1$  и  $B_1$  ( $h_1 = a_1 - b_1$ ). Затем задняя рейка  $R_1$  переносится в точку  $B_2$ , а нивелир устанавливается между точкам  $B_1$  и  $B_2$ . Аналогично предыдущему делаем отсчеты  $a_2$  и  $b_2$ , в результате получаем превышение  $h_2$  между  $B_1$  и  $B_2$  ( $h_2 = a_2 - b_2$ ). Продолжая работу таким путем, доходим до последней станции между точками  $B_k$  и  $Q$ , где делаем отсчеты  $a_n$  и  $b_n$  и находим  $h_n = a_n - b_n$ . Превышение точки  $Q$  над точкой  $A$  будет равно сумме всех превышений:

$$h_{AQ} = \sum h_i = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n \quad (34)$$

или разности сумм отсчетов по ходу по задней передней рейкам

$$h_{AQ} = \sum h_i = \sum a - \sum b. \quad (35)$$

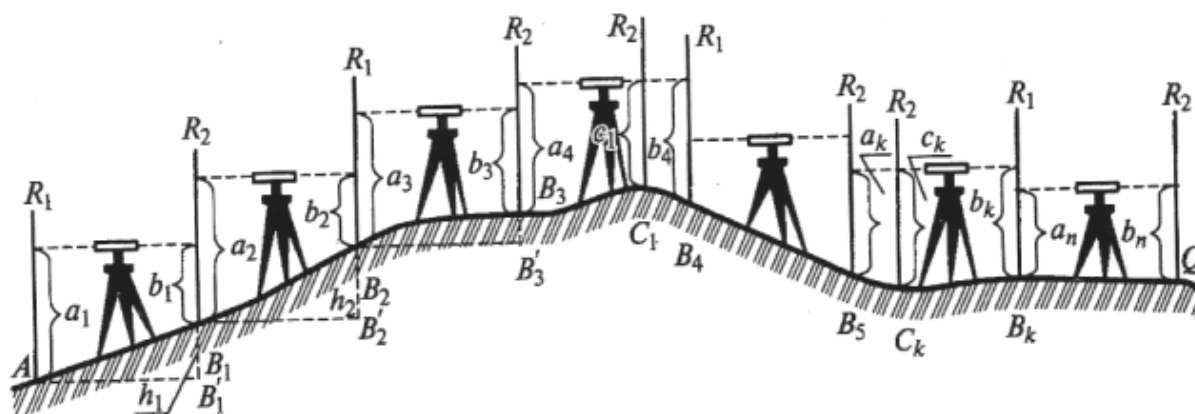


Рис. 36. Проложение нивелирного хода на местности

Отметка конечной точки  $Q$  при заданной отметке точки  $A$  будет равна

$$H_Q = H_A + \sum h_i. \quad (36)$$

Если нивелирный ход опирается на твердые точки с известными отметками, то теоретически сумма полученных превышений должна равняться разности отметок конечного и начального реперов. Отличие практически полученной суммы средних превышений от теоретического значения называется невязкой и находится по формуле

$$f_h = \sum_1^n h_i - (H_k - H_n), \quad (37)$$

где  $H_k$  и  $H_n$  – отметки конечного и начального исходных реперов.

Полученная невязка не должна превышать определенной инструкцией величины:  $50\text{мм} \sqrt{L}$ . В ряде случаев разрешается начинать и заканчивать нивелирный ход на одном и том же репере, теоретическая сумма превышений в данном случае должна равняться нулю.

Математическая обработка нивелирного хода заключается в обработке нивелирного журнала, составлении ведомости превышений, вычислении невязки, сравнении ее с допустимой, в распределении этой невязки по ходу путем вычисления поправок в измеренные превышения и в вычислении отметок точек хода.

Пример записи и обработки журнала технического нивелирования приведен в табл. 12.

**Пояснения к журналу:** (1), (2) – отсчеты по черной стороне задней и передней реек; (3), (4) – отсчеты по красной стороне передней и задней реек; (5),(6) – разности пятков реек.

Допуск на расхождение превышений на станции, полученных по черной и красной сторонам реек, равен 5 мм. При соблюдении допуска выводят среднее из двух превышений (табл. 12, колонка 9).

### **Проверка журнала нивелирования**

По завершению нивелирного хода выполняется проверка журнала нивелирования (табл. 12). На каждой странице журнала проверяют и записывают:

1. Сумму отсчетов по средней нити задней рейки (черная и красная стороны) рейки (10) = (1) + (4) + ... = 22 106.

2. Сумму отсчетов по средней нити передней рейки (черная и красная сторона) (11) = (2) + (4) + ... = 27 462.

3. Сумму превышений по черной и красной сторонам реек (12) = (7) + (8) + ... = -5 356.

4. Сумму средних превышений (13) = (9) + ... = -2 679.

При этом должен выполняться контроль: (12) = (10) – (11) = 22 106 – 27 462 = -5 356.

Выполнить контроль: (13) = (12)/2 = -5 356/2 = -2 678.

Последнее равенство должно сходиться с точностью 1 – 2 мм, при более грубых расхождениях проверяют предыдущие вычисления.

### **Уравнивание одиночного хода технического нивелирования**

После проверки и обработки нивелирного журнала приступают к математической обработке нивелирного хода высотного съемочного обоснования (табл. 13) в следующем порядке:

1. Из журнала нивелирования (табл. 12) выписываются в колонку 1 номера по порядку, в колонку 2 – номера реперов и точек высотного хода, в колонку 3 – длины секций, в колонку 4 – средние превышения между точками по секции.

## Журнал технического нивелирования

Дата \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Время \_\_\_\_\_ Погода \_\_\_\_\_

Но- мер станц	Номер точек	Отсчеты по рейке				Превышения				l км	Отметки Н, м	
		Задние	Перед- ние	Про- межу- точные	5	Вычисленные		Средние и поправки				
						+	-	+	-			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Реп.23		1582(1)	1684(2)					102(7)	-2	177,177	
			6266(4)	6370(3)					104(8)	103(9)		0,4
	T1		4684(5)	4686(6)						105		177,072
2	T1		0406	2310					1904	-4	177,072	
			5089	6992					1903	1904	0,6	
	T2		4683	4682						1908	175,164	
3	T2		2039	2710					0671	-2	175,164	
			6724	7396					0672	672	0,3	
	Реп.3		4685	4686						674	174,490	
	Σ		22106 (10)	27462 (11)					5356 (12)	2679 (13)		



## Ведомость превышений и высот пунктов нивелирного хода

№ п/п	№ репера, точки	Длина секции, км	Превышение, мм	Поправки, мм	Исправленные превышения, мм	Отметки, м
1	2	3	4	5	6	7
1	Реп. 23					<b>177.177</b>
		0,4	-103	-2	-105	
2	T1					177.072
		0,6	-1 904	-4	-1 908	
3	T2					175.164
		0,3	-672	-2	-674	
4	Реп. 3					<b>174,490</b>
			$\Sigma h_{cp} = -2\ 679$		$\Sigma h_{исп.} = -2\ 687$	$\Sigma h_{теор.} = -2\ 687$

Поправки, исправленные превышения и вычисленные по ним отметки точек высотного хода можно также разместить в нивелирном журнале (табл. 12, колонки 9, 11).

2. Вычисляют и записывают в конце колонки 4 сумму средних превышений  $\Sigma h_{cp} = -2\ 679$ .

3. Вычисляют невязку в ходе  $f_h$ , по формулам:

– в разомкнутом ходе

$$f_h = \Sigma h_{cp} - (H_k - H_n) = -2\ 679 - (174,490 - 177,177) * 1\ 000 = +8\ \text{мм};$$

– в замкнутом ходе

$$f_h = \Sigma h_{cp},$$

где  $\Sigma h_{cp}$  – сумма средних превышений в ходе;

$H_k$  и  $H_n$  – высоты конечного и начального реперов.

4. Вычисляют допустимую невязку хода для технического нивелирования по формуле  $50\text{мм} \cdot \sqrt{L}$ , где  $L$  – длина хода в км (в нашем случае 1,3 км):

$$f_{\text{доп}} = 57\ \text{мм},$$

$$f_h = 8\ \text{мм} < f_{\text{доп}} = 57\ \text{мм}.$$

5. Вычисляют поправки в средние превышения и записывают колонку 5:

$$V_{hi} = -\frac{f_h}{L} * l_i, \quad (38)$$

где  $L$  – длина нивелирного хода;

$l_i$  – длина секции.

6. Поправками исправляют измеренные превышения по формуле

$$h'_i = h_i + V_{hi}. \quad (39)$$

Исправленные превышения  $h'_i$  записываются в колонку б.

7. Используя исправленные превышения, последовательно вычисляют отметки всех точек нивелирного хода:

$$H_{i+1} = H_i + h'_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (40)$$

$$H_{T1} = H_{Pen.23} + h_{Pen.23-T1} = 177,177 + (-0,105) = 177,072(\text{м}),$$

и т.д.

**Содержание задания:**

1. Выполнить проверку и обработку нивелирного журнала по ходу, заданному преподавателем.
2. Выполнить математическую обработку высотного нивелирного хода.

**Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Нивелирный журнал.
2. Ведомость превышений и высот пунктов нивелирного хода с приведением всех необходимых формул.

## Лабораторная работа № 9 НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

Теория способа нивелирования поверхности по квадратам изложена в разделе 8.3.4.1 настоящего УМК. Журнал нивелирования, представляющий собой план сетки квадратов, приведен на рис. 8.20.

Обработка результатов измерений заключается в вычислении отметок вершин квадратов  $H_i$ , которые удобно определять через горизонт инструмента.

Горизонт инструмента – отметку визирного луча нивелира  $H_z$  – вычисляют по формуле

$$H_z = H_{pen.} + C_{pen.}, \quad (41)$$

где  $H_{pen}$  – известная отметка исходного репера;  
 $C_{pen}$  – отсчет по рейке, установленной на исходном репере.

### Пример

$$H_{pen} = 110,04 \text{ м,}$$

$$C_{pen} = 2950.$$

Тогда

$$H_z = 110,040 + 2,950 = 112,990 \text{ м.}$$

Отметки вершин квадратов вычисляют по формуле

$$H_i = H_z - C_i, \quad (42)$$

где  $H_i$  – отметка  $i$ -той вершины квадрата;  
 $C_i$  – отсчеты по рейке, установленной в вершинах квадратов  $a_1, a_2, a_3, a_4$  и т.д. (рис. 37), переведенные из мм в м.

### Пример

$$H_{a_1} = H_z - C_{a_1} = 112,990 - 2,614 = 110,376 \text{ м,}$$

$$H_{a_2} = H_z - C_{a_2} = 112,990 - 2,941 = 110,049 \text{ м,}$$

... ..

$$H_{a_4} = H_z - C_{a_4} = 112,990 - 2,882 = 110,108 \text{ м.}$$

Вычисления отметок ведут с точностью до 0,001 м. Для контроля правильности вычислений используют равенство

$$H_{i+1} - H_i = C_i - C_{i+1}, \quad (43)$$

т.е. разность соседних отметок по абсолютной величине равна разности соответствующих им отсчетов по рейке.

Например:

$$110,049 - 110,376 = 2,614 - 2,941$$

$$-0,327 = -0,327$$

### Составление топографического плана

Топографический план строится на листе ватмана. Составление топографического плана начинают с построения сетки квадратов со стороной 20 м в масштабе 1 : 500. Около каждой вершины квадратов выписывают отметку, округленную до сотых долей метра.

Следующий этап работы – проведение горизонталей – линий равной высоты. Высота сечения рельефа (разность отметок соседних горизонталей) равна 0,5 м.

Положение горизонталей на плане определяют методом графического интерполирования, суть которого состоит в следующем. На листе прозрачной бумаги проводят на равных расстояниях друг от друга параллельные линии через 5 или 10 мм. Эти линии подписывают отметками, кратными высоте сечения рельефа, от самой малой отметки до самой большой. При интерполировании находят точки пересечения сторон, а в отдельных случаях и диагоналей, квадратов с горизонталями (рис. 38)

Палетку накладывают на план так, чтобы точка *A* заняла положение на ней, соответствующее своей высоте, и в таком положении палетку прикалывают к плану в точке *A* иглой измерителя. Затем поворачивают палетку вокруг точки *A* так, чтобы точка *B* разместилась на палетке также соответственно своей высоте. Прокалывая точки пересечения линий *AB* на плане с линиями на палетке, получают точки с высотами горизонталей. Интерполированием получают точки, через которые пройдут горизонтали на всех сторонах квадратов, а иногда и на их диагоналях. Полученные таким путем точки с одинаковыми высотами соединяют карандашом.

Далее план вычерчивается тушью. Сеть квадратов с отметками вершин, а также контуры местности изображаются черным цветом. Горизонтали вычерчивают коричневым цветом. При этом толщина горизонталей, кратных 1 м, равна 0,3 мм, остальных – 0,1 мм. Утолщенные горизонтали подписывают в разрыве их отметками так, чтобы верх цифр был направлен в сторону повышения рельефа.

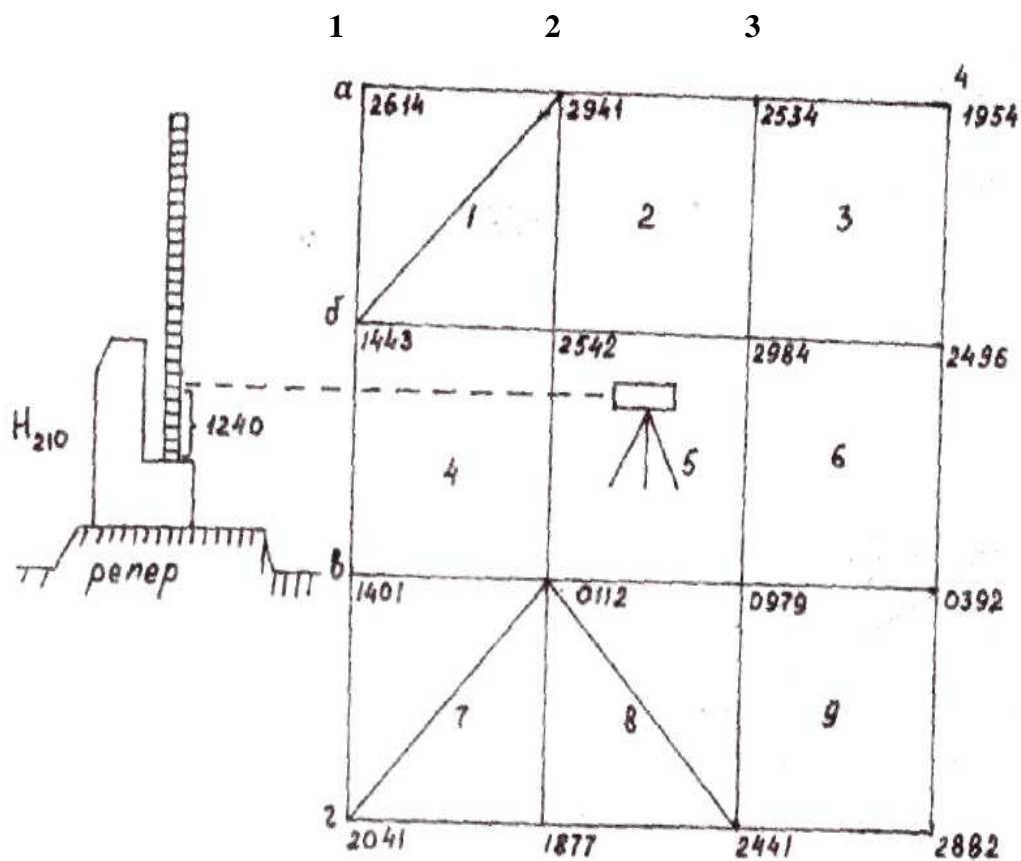


Рис. 37. Схема нивелирования по квадратам

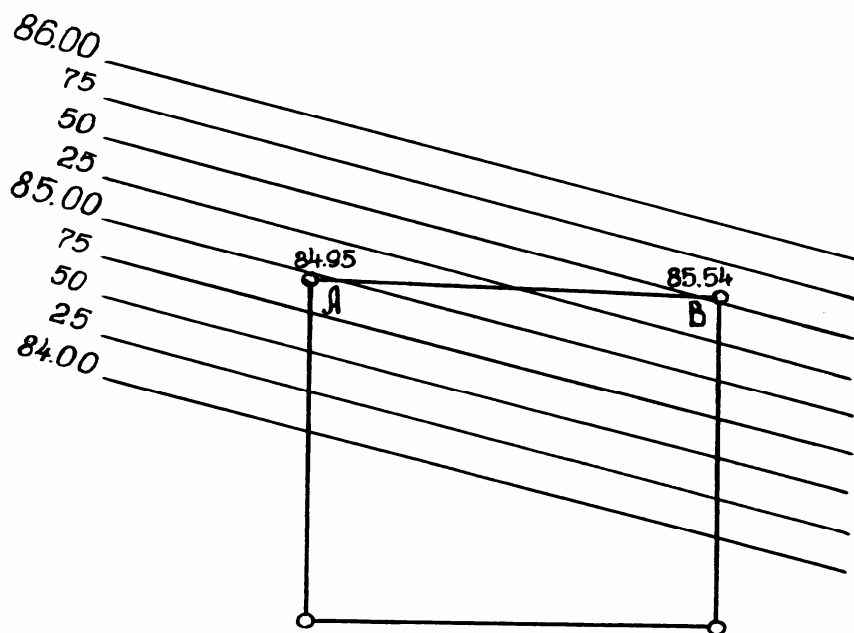


Рис. 38. Интерполирование сторон квадратов

### Исходные данные:

1. Схема нивелирования по квадратам, выдаваемая преподавателем (для варианта 0 представлена на рис. 37):
  - стороны квадратов 40 м, 20 м для масштабов плана 1 : 1 000 и 1 : 500;
  - нивелирование произведено с одной станции, на схеме приведены отсчеты по черной стороне рейки.
2. Отметка исходного репера.
3. Высота сечения 0,5 м.

### Содержание задания:

1. Определить отметки вершин квадратов.
2. Вычертить топографический план участка местности (рис. 39).
  - масштаб 1 : 1 000;
  - высота сечения рельефа 0,5 м.
3. Составить продольный профиль по линии, заданной преподавателем (рис. 40).

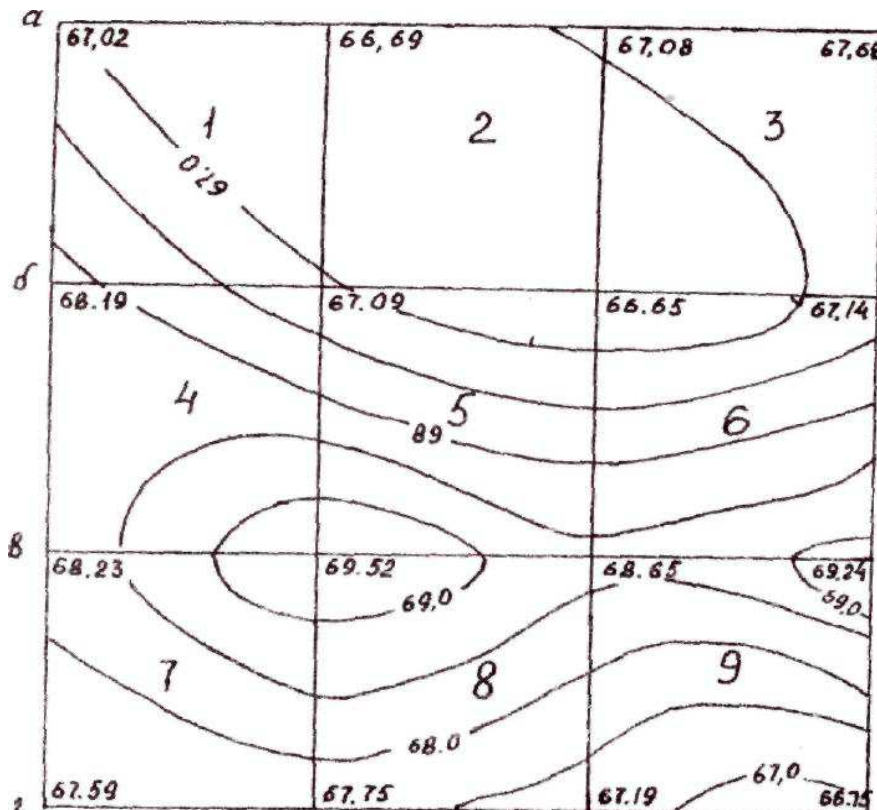
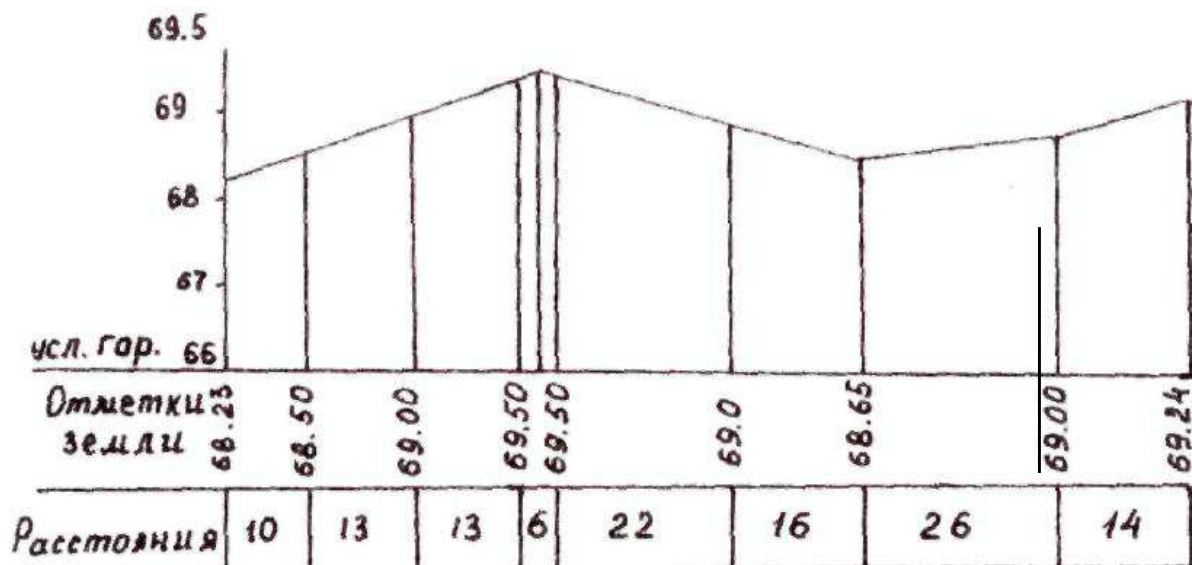


Рис. 39. Топографический план участка местности



Масштаб вертикальный 1 : 100

Рис. 40. Продольный профиль по линии

**Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Ведомость вычисления отметок вершин квадратов.
2. Топографический план участка местности.
3. Продольный профиль линии.

## Лабораторная работа № 10 ПОВЕРКИ МЕНЗУЛЫ И КИПРЕГЕЛЯ

Мензульная съемка выполняется с использованием комплекта приборов и принадлежностей. В мензульный комплект (рис. 41) входят: мензула с центрировочной вилкой и отвесом, кипрегель, ориентир-буссоль, мензульная рейка и полевой зонт.

Мензула (рис. 41, а) (от лат. mensula – столик) состоит из штатива, подставки и мензульной доски-планшета. На планшете закрепляется ватман, на котором вычерчивают план местности.

Кипрегель (рис. 41, б) (от нем. kippen – опрокидывать и regel – линейка) – прибор для съемки местности. Кипрегелем визируют на точки местности, прочерчивая направления на планшете, измеряют вертикальные углы и расстояния или их горизонтальные проложения.

В настоящее время выпускаются кипрегели КН и КНК. Оба кипрегеля авторедукционные. Они определяют превышения и редуцированные на горизонтальную плоскость расстояния.

Кипрегели имеют следующие части: зрительную трубу, колонку и линейку. Зрительная труба вращается относительно вертикального круга, что позволяет при ее наклонах видеть в поле зрения различные участки круга с номограммами кривых.

Номограммы превышений и расстояний нанесены на поверхность стеклянного вертикального круга кипрегеля. Их изображение передается с помощью системы призм в поле зрения трубы и проектируется на изображение местности (рис. 42).

Знак (–) перед коэффициентом кривых превышений показывает понижение местности, а (+) – повышение.

Начальную окружность номограммы обозначают буквой *H* с оцифрованными делениями лимба вертикального круга через 1° и не оцифрованными через 5'.

Значение место нуля вертикального круга определяют по формуле

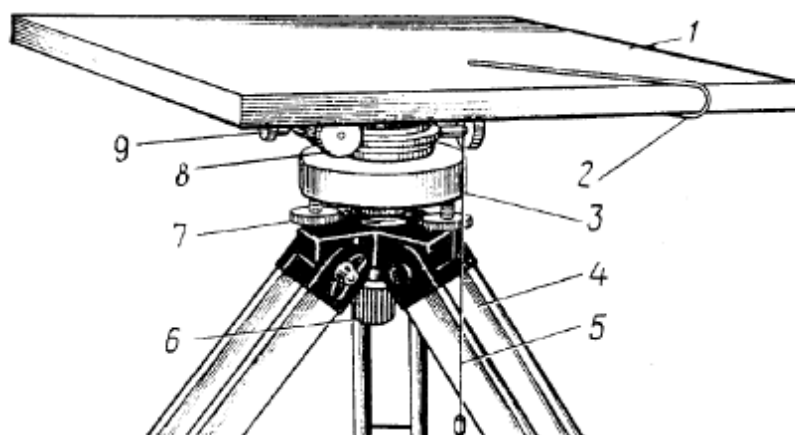
$$M_0 = \frac{\Pi - Л}{2}. \quad (44)$$

Угол наклона вычисляют по формуле

$$\nu = \frac{\Pi + Л}{2} = \Pi - M_0 = Л + M_0. \quad (45)$$



*a*



*б*

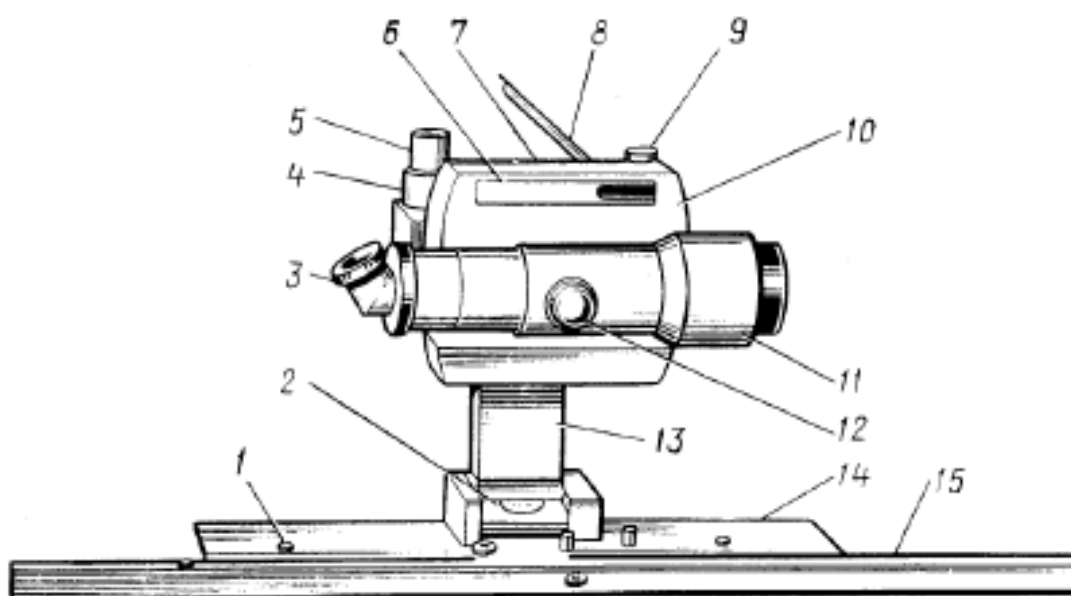


Рис. 41. Мензальный комплект:

*a* – мензула с центрировочной вилкой:

1 – мензальная доска-планшет; 2 – мензальная центрировочная вилка; 3 – подставка; 4 – штатив; 5 – нитяной отвес вилки; 6 – становой винт; 7 – подъемный винт; 8, 9 – наводящий и закрепительный винты подставки;

*б* – кипрегель КН:

1 – масштабная линейка; 2 – уровень при колонке; 3 – окуляр; 4 – закрепительный винт трубы; 5 – наводящий винт трубы; 6 – уровень вертикального круга; 7 – уровень зрительной трубы; 8 – зеркало для наблюдения уровня при трубе; 9 – наводящий винт уровня вертикального круга; 10 – вертикальный круг; 11 – зрительная труба; 12 – кремальера; 13 – колонка; 14 – основание; 15 – дополнительная линейка

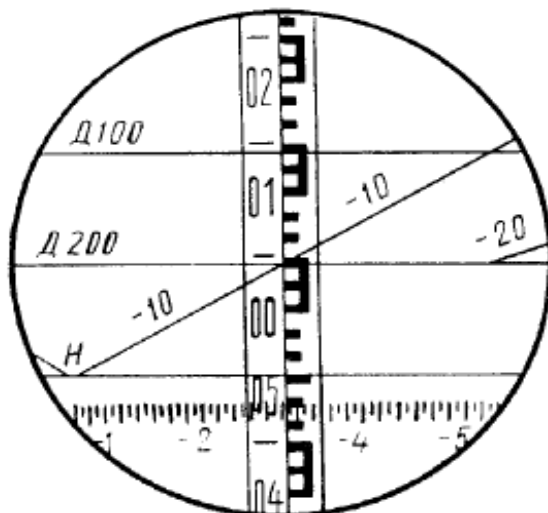


Рис. 42. Поле зрения зрительной трубы кипрегеля КН

Точность измерений кипрегелем КН характеризуется следующими данными: средняя квадратическая ошибка измерения расстояний на 100 м – 20 см; средняя квадратическая ошибка измерения превышений на 100 м – от 3 до 15 см в зависимости от величины угла наклона; средняя квадратическая ошибка измерения угла наклона одним приемом – 45".

Требования к мензуре:

- Мензула должна быть прочной, легкой и устойчивой. Последнее проверяется легкими соприкосновениями со столиком, отчего он не должен менять положение в пространстве и упруго реагировать на легкие толчки.

- Планшет должен быть плоским. Это условие проверяется прикладыванием к планшету выверенной линейки, между ними не должно возникать зазора.

- Планшет должен быть перпендикулярен вертикальной оси вращения на треножнике. Проверяется поворотом планшета на 360°, при этом на нем устанавливается кипрегель с выверенным уровнем. Если планшет при вращении описывает «восьмерку» и пузырек уровня то убегает, то возвращается на место, мензула непригодна к использованию. Исправляют ее в мастерской.

- Мензула не должна содержать стальных, железных деталей, иначе будет невозможно ориентировать планшет по буссоли.

Кипрегель (в отличие от теодолита-прибора угломерного) является прибором углоначертательным. Он служит для визирования с точки стояния на объекты местности, подлежащие съемке, определения расстояния до них и превышения. Последняя отечественная модель кипрегель КН (кипрегель номограммный) позволяет определять превышения и расстояния, приведенные на горизонтальную плоскость, при одном наведении трубы на рейку.

## **Исследования и поверки приборов и принадлежностей мензультного комплекта**

### **Осмотр прибора**

При осмотре мензулы следует убедиться в отсутствии трещин в деревянных частях, правильном креплении ножек штатива, прочности крепления подставки мензулы к головке штатива, доски к подставке. Концы болтиков на головке штатива должны плотно входить в углубления нижней доски деревянной подставки мензулы. Планки и винты, служащие для крепления мензультной доски к деревянной подставке, должны быть подогнаны к гнездам в нижней поверхности мензультной доски. Нарезка становой винта должна соответствовать нарезке его рукоятки, подъемные винты плавно вращаться. Закрепив становой винт, проверяем, плавно ли вращается наводящий винт, нет ли у него мертвого хода.

При осмотре кипрегеля следует обратить внимание на качество изображения в зрительной трубе предметов, находящихся на разных расстояниях, на возможность получения резкого изображения сетки нитей; качество штрихов и оцифровки на вертикальном круге. Необходимо проверить плавность работы наводящего и закрепительного винтов и кремальеры трубы, убедиться, что нет зазоров между вертикальным кругом и алидадой. Края последней должны плотно прилегать к кругу. Вертикальный круг кипрегеля должен быть прочно соединен со зрительной трубой, а алидада – с уровнем на ней.

### **Поверки мензулы**

#### **1. Мензула должна быть устойчивой.**

Трубу кипрегеля, установленного на мензультной доске, наводят на точку и слегка постукивают рукой с боков мензультной доски. В этот момент изображение точки сходит с перекрестия сетки нитей. Если прекратить постукивание, то изображение точки должно вернуться в прежнее положение. Если этого нет, то условие не выполняется.

Трубу кипрегеля наводят на точку и слегка постукивают сверху доски. Условие выполнено, если мензула пружинит, т.е. после прекращения нагрузки на доску труба остается наведенной на точку. Если условие не выполнено, то следует проверить крепление доски к подставке, подставки к головке штатива, наконечников на концах ножек штатива. В случае необходимости регулируют вращение подъемных винтов и завинчивают барашки, которыми удерживается головка штатива. Если и после этого мензула остается неустойчивой, то ее следует отдать в ремонт.

**2. Верхняя поверхность мензульной доски должна быть плоскостью.**

Проверка производится выверенной линейкой кипрегеля, скошенным краем которой проводят вдоль доски в двух взаимно перпендикулярных направлениях и смотрят, нет ли просветов между ребром линейки и поверхностью доски. Если просветы более 0,5 мм, то доску следует исправить в столярной мастерской.

**3. Верхняя поверхность мензульной доски планшета должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения подставки мензулы.**

У мензулы с деревянной подставкой это условие поверить нельзя.

**Проверки кипрегеля**

**1. Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией.**

На прикрепленной к доске бумаге прочерчивают остро заточенным карандашом линию вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля. Затем поворачивают кипрегель на 180°, прикладывают скошенное ребро линейки его к прочерченной линии с другой стороны и еще раз прочерчивают линию. Если линии совпадут или отклонятся в пределах 0,1 мм, то условие выполнено. При больших отклонениях линейку кипрегеля нужно исправить в мастерской.

**2. Нижняя поверхность линейки кипрегеля должна быть плоскостью.**

Для проверки прикладывают линейку кипрегеля к какой-либо выверенной поверхности, принимаемой за плоскость. Если концы линейки несколько выгнуты кверху, то поставленный на доску кипрегель менее устойчив и линейку следует исправить в мастерской. Небольшая вогнутость концов линейки книзу значения не имеет, т.к. под тяжестью кипрегеля, поставленного на доску, она устраняется.

**3. Дополнительная (подвижная) линейка, находясь на разных расстояниях от основной линейки, должна перемещаться параллельно самой себе.**

При неподвижном положении кипрегеля на планшете устанавливают дополнительную линейку на нескольких различных расстояниях от основной линейки и каждый раз прочерчивают вдоль скошенного ребра остро заточенным карандашом линию. Измерителем сравнивают в разных местах расстояния между двумя прочерченными линиями. Если условие выполнено, то эти расстояния должны быть одинаковыми: колебания не должны превышать 0,2 мм. В противном случае линейку исправляют в мастерской.

**4. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.**

Линейку кипрегеля устанавливают в середине мензульной доски по направлению двух подъемных винтов, вращением которых приводят пузырек уровня в нуль-пункт, и прочерчивают линию. Затем поворачивают кипрегель и прикладывают его к этой линии с другой стороны. Если пузырек уровня остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае с помощью исправительных винтов уровня пузырек перемещают на половину дуги отклонения в сторону нуль-пункта. После этого поверку повторяют и, если нужно, еще раз производят исправление положения уровня. После исправления уровня горизонтируют планшет, для чего устанавливают линейку кипрегеля по направлению третьего подъемного винта, и, вращая его, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Планшет считается горизонтированным удовлетворительно, если при любом положении кипрегеля пузырек уровня на его линейке отклоняется от нуль-пункта не более чем на 2 деления.

**5. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы.**

Трубу кипрегеля наводят на ясно видимую визирную цель и прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки кипрегеля, отметив на ней в середине точку. Затем трубу переводят через зенит, прикладывают линейку кипрегеля к отмеченной точке и визируют на ту же цель. После этого вдоль ребра линейки кипрегеля снова прочерчивают линию. Если линии совпадут, то условие выполнено.

**6. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля.**

Наводят трубу на высоко расположенную точку на стене здания в 10 – 20 м от прибора. Затем опускают трубу до горизонтального положения и на стене отмечают карандашом проекцию перекрестия сетки нитей. После этого переводят трубу через зенит, наводят ее на ту же точку, опускают трубу и отмечают проекцию пересечения сетки нитей. Если проекции совпадают, то условие выполнено, в противном случае исправление производят в мастерской.

**7. Одна из нитей сетки должна лежать в коллимационной плоскости трубы кипрегеля.**

Наводят вертикальную нить сетки на точку и, вращая трубу, следят за положением изображения точки в трубе. Если оно все время остается на нити, то условие выполнено. В противном случае нужно повернуть окулярную часть или сетчатое кольцо, предварительно ослабив исправительные винты сетки нитей.

После исправления сетки нитей необходимо снова проверить перпендикулярность визирной оси к оси вращения трубы.

**8. Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.**

Наводят трубу на удаленную точку местности и прочерчивают линию вдоль скошенного ребра линейки кипрегеля. На этой линии ставят две иголки и смотрят, находятся ли иголки и точка, на которую наведена труба, на одной линии. Если этого нет, то условие не выполнено. Исправить нарушенное условие можно только на заводе.

**9. Место нуля вертикального круга должно быть постоянным.**

Значение места нуля определяют путем наведения точки пересечения вертикальной нити с основной кривой на цель при круге право и лево с производством отсчетов  $\Pi$  и  $\text{Л}$  по вертикальному кругу. Каждый раз перед отсчитыванием необходимо привести пузырек уровня в нуль-пункт, пользуясь наводящим винтом. Определение места нуля повторяют, визируя на другую цель. Если расхождения между значениями места нуля не превышают удвоенной точности отсчитывания по вертикальному кругу, то место нуля можно считать постоянным.

В кипрегеле КН место нуля определяется по формуле

$$M_0 = \frac{\Pi - \text{Л}}{2},$$

а угол наклона

$$v = \frac{\Pi + \text{Л}}{2} = \Pi - M_0 = \text{Л} + M_0.$$

Остаточный поворот номограммы практически соответствует величине  $M_0$  или ошибки его определения и зависит от точности отсчитывания по вертикальному кругу и факторов, влияющих на постоянство  $M_0$ .

#### **Содержание задания:**

1. Изучение устройства мензулы и кипрегеля.
2. Взятие отсчетов по кипрегелю.
3. Выполнение поверки мензулы и кипрегеля.
4. Приведение мензульного комплекта в рабочее положение.

#### **Материалы, представляемые к сдаче:**

1. Журнал отсчетов по кипрегелю для точек, заданных преподавателем.
2. Данные по выполнению поверок с анализом и выводом о пригодности комплекта к работе.

## Литература

1. Гиршберг, М.А. Геодезия. Ч. 1 / М.А. Гиршберг. – М.: Недра, 1967. – 384 с.
2. Геодезия. Топографические съемки: справ. пособие / Ю.К. Неумывакин [и др.]. – М.: Недра, 1991. – 317 с.
3. Дьяков, Б.Н. Геодезия. Общий курс: учеб. пособие / Б.Н. Дьяков. – Новосибирск, 2003. – 158 с.
4. Перфилов, В.Ф. Геодезия / В.Ф. Перфилов. – М.: Высш. шк., 2006. – 350 с.
5. Петрушко, В.В. Геодезия: конспект лекций. Ч. 1 / В.В. Петрушко. – Новополюцк: ПГУ, 1993. – 146 с.
6. Баканова, В.В. Практикум по геодезии / В.В. Баканова [и др.]. – М.: Недра, 1983. – 456 с.
7. Инструкция по топографическим съемкам масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: ГКИНП 02-033-82. – М.: Недра, 1982. – 160 с.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Глав. упр-ние геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1989. – 284 с.
9. Справочник геодезиста: в 2 кн. / В.Д. Большаков [и др]; под общ. ред. В.Д. Большакова, Г.П. Левчука. – М.: Недра, 1985. – 440 с.

*Учебное издание*

ШАРОГЛАЗОВА Галина Александровна  
ДВОЕНКО Геннадий Михайлович

## ГЕОДЕЗИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов 1 курса  
специальности 1-56 02 01 «Геодезия»

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Дизайн обложки *Е. Н. Бурцевой*

---

Подписано в печать 20.11.14. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 14,85. Уч.-изд. л. 14,43. Тираж 95 экз. Заказ 1291.

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/494255 от 08.05.14.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.