

**А.М. ЗЕЛЕНСКИЙ, Г.В. ФОЛИТАР**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

**(курс лекций)**

**2-ое издание дополненное, переработанное**

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
учреждения образования «Брестский государственный технический университет»  
в качестве пособия для студентов специальностей  
1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» и  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»  
дневной и заочной форм обучения*

**Брест 2007**

УДК 528.4 (075.8)

ББК 26.1я73

3 48

**Рецензент:**

зам. директора по научной работе Полесского аграрно-экологического института  
«НАН Беларуси», д.г.н. РФ **А.А. Волчек**

**Зеленский А.М., Фолитар Г.В.**

3 48 Инженерная геодезия (курс лекций). – Брест: издательство БрГТУ, 2007. – 184 с.,  
илл. 149, табл. 23, библи. 16 назв.

(2-е издание, дополненное, переработанное)

ISBN 978-985-493-070-1

Рассмотрены общие вопросы инженерной геодезии, инженерно-геодезические работы, связанные с изысканиями, проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений. Представлена методика теодолитной, тахеометрической, мензульной съёмки, продольного нивелирования объектов линейного типа, нивелирования поверхности по квадратам.

Приведены инженерные задачи с комментариями к их решению, вопросы к зачёту, вопросы и типовые задачи к экзаменационным билетам.

Для специальности «Промышленное и гражданское строительство» учебной программой в лекционном курсе не предусмотрено изучение устройства геодезических приборов и их поверок, поэтому указанный материал вынесен в раздел «Самостоятельная работа».

Издание предназначено для студентов специальностей 1-74 05 01 – «Мелиорация и водное хозяйство» и 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения.

УДК 528.4 (075.8)

ББК 26.1я73

ISBN 978-985-493-070-1

© Зеленский А.М., 2007

© Фолитар Г.В., 2007

© Издательство БрГТУ, 2007

## Оглавление

стр.

<b>Лекция 1</b> .....	7
1 1.1. Общие сведения о геодезии. Значение геодезии в народном хозяйстве.....	7
2 1.2. Понятие о форме и размерах Земли.....	8
2 1.3. Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек.....	9
<b>Лекция 2</b> .....	12
3 2. Понятие о географических и прямоугольных координатах. Зональная система прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.....	12
3 2.1. Система географических координат.....	12
4 2.2. Система плоских прямоугольных координат. Зональная система координат Гаусса-Крюгера.....	13
7 2.3. Система полярных координат.....	15
7 2.4. Понятие о плане, карте, профиле.....	15
<b>Лекция 3</b> .....	17
5 3.1. Ориентирование линий местности.....	17
4 3.2. Прямая и обратная геодезические задачи.....	20
<b>Лекция 4</b> .....	22
10 4.1. Абсолютные, относительные и условные высоты (отметки) точек земной поверхности.....	22
8 4.2. Рельеф местности и его изображение на картах и планах.....	23
8 4.3. Основные формы рельефа.....	24
8 4.4. Свойства горизонталей.....	24
8 4.5. Определение площади водосбора.....	26
<b>Лекция 5</b> .....	27
5.1. Способы определения площадей.....	27
5.2. Государственные геодезические сети.....	28
<b>Лекция 6</b> .....	31
6.1. Проложение теодолитных ходов.....	31
6.2. Теодолитная съёмка.....	32
<b>Лекция 7</b> .....	34
7.1. Вычисление координат вершин теодолитного хода.....	34
<b>Лекция 8</b> .....	38
8.1. Построение контурного плана.....	38
8.2. Построение координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева.....	38
8.3. Построение координатной сетки по диагоналям.....	39
8.4. Построение точек по координатам.....	39
8.5. Построение ситуационного плана.....	40
<b>Лекция 9</b> .....	41
9.1. Общие сведения о геодезических измерениях.....	41
9.2. Погрешности результатов измерений.....	41
9.3. Арифметическая средина.....	42
9.4. Средняя квадратическая погрешность одного измерения. Предельная погрешность.....	42
9.5. Средняя квадратическая погрешность функций измеренных величин.....	43
9.6. Понятия о неравноточных измерениях.....	44
<b>Лекция 10</b> .....	47
10.1. Линейные измерения.....	47
10.2. Общие сведения о светодальномерах.....	49
<b>Лекция 11</b> .....	51
11.1. Зрительные трубы и уровни геодезических инструментов. Нитяной дальномер.....	51
11.2. Уровни.....	52
11.3. Нитяной дальномер.....	54

<b>Лекция 12</b> .....	56
12.1. Нивелирование.....	56
12.2. Сущность геометрического нивелирования.....	57
12.3. Способы вычисления отметок точек.....	57
12.4. Нивелирные знаки.....	58
<b>Лекция 13</b> .....	60
13.1. Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования.....	60
13.2. Программа работы на станции при техническом нивелировании.....	61
13.3. Точность технического нивелирования.....	62
<b>Лекция 14</b> .....	64
14.1. Поверки и юстировка нивелиров.....	64
<b>Лекция 15</b> .....	68
15. Геодезические работы на трассе линейного типа.....	68
15.1. Общие сведения о трассе.....	68
15.2. Разбивка пикетажа и поперечников.....	69
15.3. Элементы круговой кривой.....	70
<b>Лекция 16</b> .....	72
16.1. Нивелирование трассы.....	72
16.2. Работа на станции при техническом нивелировании.....	74
16.3. Обработка результатов технического нивелирования.....	74
<b>Лекция 17</b> .....	77
17. Построение продольного профиля трассы.....	77
<b>Лекция 18</b> .....	81
18. Геодезические измерения при вертикальной планировке.....	81
18.1. Нивелирование поверхности по квадратам.....	81
18.2. Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ.....	83
<b>Лекция 19</b> .....	86
19.1. Угловые измерения.....	86
19.2. Типы теодолитов.....	86
19.3. Приспособления для центрирования.....	87
19.4. Отсчётные устройства.....	88
<b>Лекция 20</b> .....	89
20.1. Устройство теодолита.....	89
20.2. Поверки и юстировка теодолита.....	90
<b>Лекция 21</b> .....	94
21. Измерение горизонтальных углов.....	94
21.1. Способ приёмов.....	94
21.2. Способ круговых приёмов.....	95
21.3. Точность измерения горизонтальных углов.....	96
<b>Лекция 22</b> .....	98
22. Вертикальный круг теодолита. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление. Измерение вертикальных углов.....	98
22.1. Вертикальный круг теодолита 2Т-30.....	98
22.2. Вертикальный круг теодолита Т-30.....	99
22.3. Тригонометрическое нивелирование.....	101
<b>Лекция 23</b> .....	102
23. Тахеометрическая съёмка.....	102
23.1. Сущность тахеометрической съёмки.....	102
23.2. Порядок работы на станции при тахеометрической съёмке.....	103
23.3. Камеральная обработка результатов тахеометрической съёмки.....	103
23.4. Построение топографического плана по результатам тахеометрической съёмки.....	105



<b>Лекция 24</b> .....	108
24. Мензульная съёмка.....	108
24.1. Сущность мензульной съёмки.....	108
24.2. Устройство кипрегеля номограммного КН.....	109
24.3. Вычисление отметки реечной точки при мензульной съёмке.....	111
24.4. Порядок производства мензульной съёмки.....	112
<b>Лекция 25</b> .....	114
25. Поверки мензулы и кипрегеля.....	114
25.1. Поверки мензулы.....	114
25.2. Поверки кипрегеля.....	114
<b>Лекция 26</b> .....	117
26. Виды и задачи инженерно-геодезических изысканий.....	117
26.1. Особенности геодезических изысканий для гидромелиорации.....	117
26.2. Геодезические работы при съёмке водоёмов и рек.....	118
26.3. Нивелирование через водные преграды.....	119
<b>Лекция 27</b> .....	121
27. Организация геодезических работ при строительстве инженерных сооружений. Генеральный план.....	121
27.1. Состав работ.....	121
27.2. Организация геодезических работ в строительстве.....	122
27.3. Генеральный план. Виды генеральных планов и их назначение.....	123
<b>Лекция 28</b> .....	124
28.1. Геодезическая подготовка данных для перенесения проектов сооружений в натуру.....	124
<b>Лекция 29</b> .....	128
29. Разбивочные работы при перенесении в натуру проектов сооружений.....	128
29.1. Построение проектного угла с точностью теодолита.....	128
29.2. Построение проектного угла с повышенной точностью.....	128
29.3. Построение угла 90° с помощью рулетки.....	129
29.4. Построение прямого угла с помощью мерного прибора.....	130
29.5. Построение на местности проектной длины линии.....	130
29.6. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой.....	132
29.7. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой с помощью теодолита.....	132
<b>Лекция 30</b> .....	134
30.1. Построение в натуре линии проектного уклона.....	134
30.2. Построение плоскости заданного уклона.....	136
30.3. Передача отметок на дно глубокого котлована и на монтажный горизонт.....	136
30.4. Определение высоты сооружения.....	137
<b>Лекция 31</b> .....	138
31.1. Геодезические работы при трассировании каналов, дамб, трубопроводов.....	138
31.2. Разбивка трасс трубопроводов и закрытого дренажа.....	140
31.3. Строительная обноска.....	140
<b>Лекция 32</b> .....	142
32.1. Исполнительная съёмка.....	142
32.2. Наблюдения за перемещениями и деформациями конструкций зданий и сооружений.....	143
32.2.1. Наблюдения за осадками сооружений.....	143
<b>Самостоятельная работа</b> .....	145
1. Теодолит.....	145
1.1. Устройство теодолита Т30, 2Т30.....	145
1.2. Вертикальный круг теодолита Т30, 2Т30.....	146
1.3. Поверки теодолита.....	149

1.4.	Определение теодолитом магнитного азимута при помощи ориентир-буссоли..	152
1.5.	Электронный тахеометр ЗТа5Р.....	153
2.	Нивелир.....	156
2.1.	Устройство нивелира Н-3.....	156
2.2.	Нивелир Н-ЗК и Н-ЗКЛ.....	157
2.3.	Поверки нивелиров Н-3, Н-ЗК (Н-ЗКЛ).....	158
2.4.	Нивелирование через водные преграды.....	161
3.	Масштабы.....	162
3.1.	Численный масштаб.....	162
3.2.	Масштабы: линейный, поперечный и переходной.....	163
4.	Топографические карты и планы.....	165
4.1.	Общие сведения.....	165
4.2.	Понятие о номенклатуре топографических карт.....	165
4.3.	Географическая и километровая сетка на топографических картах.....	168
5.	Понятия об аэрофотоснимке. Космический снимок.....	169
5.1.	Общие понятия об аэрофотоснимке.....	169
5.2.	Фотосхема. Фотоплан.....	171
5.3.	Ориентирование. Дешифрирование снимков.....	172
5.4.	Масштаб аэроснимка.....	173
	<b>Управляемая самостоятельная работа.....</b>	<b>174</b>
1.	Решение задач по топографическим картам и аэрофотоснимкам.....	174
1.1	Определение географических и прямоугольных координат точки.....	174
1.2	Определение по карте ориентирных углов.....	174
1.3	Решение задач по горизонталям карт.....	176
1.3.1.	Определение высот точек.....	176
1.3.2.	Построение профиля местности.....	177
1.3.3.	Определение уклонов и проведение линий с заданным уклоном.....	177
	Вопросы к зачёту.....	179
	Вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Инженерная геодезия».....	179
	Типовые задачи в экзаменационных билетах.....	181
	Литература.....	183

# ЛЕКЦИЯ 1

## 1.1. Общие сведения о геодезии. Значение геодезии в народном хозяйстве

Геодезия - наука о методах определения фигуры и размеров Земли и изображения её поверхности на плоскости (на картах), а также о способах проведения специальных измерений, связанных с изысканиями, проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений. Из определения геодезии, как науки, следует, что она призвана решать многообразные задачи, поэтому геодезия делится на ряд научных и научно-технических дисциплин:

Высшая геодезия занимается разработкой методов определения фигуры и размеров Земли и изучением горизонтальных и вертикальных движений земной коры.

Топография (или геодезия) занимается изучением методов изображения небольших участков Земли на плоскости, т.е. созданием топографических планов и карт.

Картография разрабатывает способы изображения на плоскости значительных участков земной поверхности.

Фотограмметрия занимается разработкой методов создания планов и карт по фотоснимкам, аэроснимкам, а также космическим снимкам.

Инженерная геодезия разрабатывает методы и средства для решения задач, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Основными задачами инженерной геодезии при строительстве инженерных сооружений являются:

- Выполнение топографо-геодезических изысканий строительных площадок и трасс, а также геодезическое обеспечение других видов инженерных изысканий, необходимых для проектирования сооружений;
- Проектирование геодезических работ по обеспечению строительства при разработке проектной документации объекта, включая геодезическую подготовку данных для перенесения проекта в натуру;
- Перенесение проекта комплекса зданий и сооружений в натуру - выполнение разбивочных работ, в состав которых входит создание на местности разбивочной основы, перенесение в натуру главных осей сооружений и т.п.;
- Геодезическое обеспечение установки строительных конструкций и технологического оборудования в проектное положение с заданной точностью;
- Геодезическое обеспечение при эксплуатации промышленно-заводских комплексов, коммунального хозяйства и т.п.;
- Наблюдения за деформациями сооружений и их оснований.

Значение геодезии в народном хозяйстве трудно переоценить. Трудно назвать какую-либо отрасль народного хозяйства, где бы ни использовались геодезические методы и средства измерений:

- Изучение территории по топографическим картам, как в народном хозяйстве, так и в военном деле;
- Изыскания, проектирование и строительство инженерных сооружений;
- Геодезические измерения высокой точности широко используются при наблюдениях за деформациями и осадками инженерных сооружений;
- Испытания металлоконструкций и установка технологического оборудования;
- Велико значение геодезии в обороне страны;
- Строительство ЛЭП, аэропортов, автомобильных дорог, мостов, гидроэлектростанций, атомных электростанций и других крупных сооружений;

- Составление планов землепользования, почвенных, геоботанических планов, планов сельхозугодий и т.д.

Геодезия опирается на достижения таких научных дисциплин, как физика, математика, астрономия. В связи с быстрым совершенствованием техники в геодезии используются достижения автоматики, телемеханики и электроники.

## 1.2. Понятие о форме и размерах Земли

Поверхность Земли составляет 510 млн. км<sup>2</sup>, 71% её занимают моря и океаны.

Фигура Земли формируется под влиянием внутренних и внешних сил. Основными являются сила внутреннего тяготения и центробежная сила. Если бы Земля была неподвижным и однородным по плотности телом, то под действием только сил внутреннего тяготения она имела бы форму шара. Вследствие центробежной силы, вызванной вращением вокруг оси, Земля приобрела бы форму шара, сжатого с полюсов, т.е. форму эллипсоида вращения с малой степенью сжатия в направлении полюсов.

На самом деле внутреннее строение Земли по плотности неоднородно. Вследствие неравномерного распределения масс в земной коре изменяются направления сил притяжения, а значит и сил тяжести.

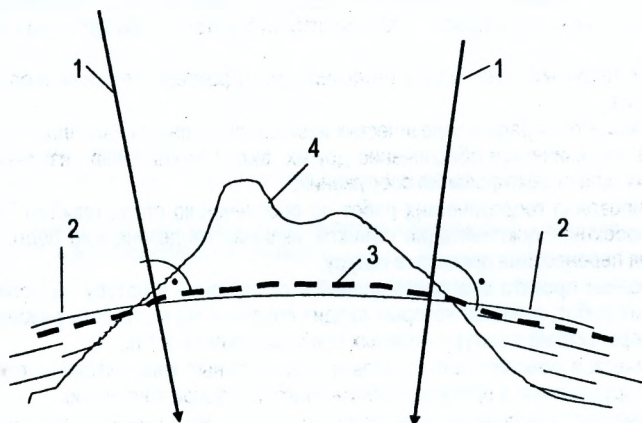


Рис. 1.1. Уровенная поверхность Земли

1. Отвесная линия.
2. Поверхность эллипсоида.
3. Поверхность геоида (уровенная поверхность).
4. Физическая поверхность.

Знания фигуры Земли используются во многих областях, таких как строительство тоннелей, метрополитенов, запуск искусственных спутников Земли, космических кораблей и т.д.

Что же принимается за форму земной поверхности? За форму земной поверхности принята так называемая уровенная поверхность (рис. 1.1). Поверхности, нормальные (перпендикулярные) в каждой точке к отвесной линии, называются **уровенными поверхностями сил тяжести**.

Уровенную поверхность Земли можно представить как поверхность мирового океана в спокойном состоянии, мысленно продолженную под материками. Но так как распределение масс внутри Земли неравномерно (плотность Земли неоднородна), то отвесные линии не пересекаются в одной точке. Уровенная поверхность, как перпендикулярная к направлению силы тяжести, отступает от эллипсоидальной и становится столь



сложной и неправильной в геометрическом отношении, что её форму нельзя описать конечным математическим выражением.

Фигуре Земли, образованной урвеной поверхностью, совпадающей с поверхностью океанов и морей и мысленно продолженной под материками, присвоено название **геоид**. Форма геоида непригодна для геометрических проекций и математической обработки геодезических измерений. Современные исследования показали, что наиболее близкой к геоиду математической поверхностью является поверхность эллипсоида вращения. Эта поверхность получается от вращения эллипса  $PQP_1Q_1$  (рис. 1.2) вокруг оси  $PP_1$ .

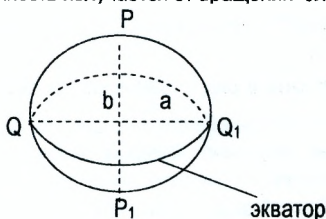


Рис. 1.2 Эллипсоид вращения

Эллипсоид, характеризующий форму и размеры Земли, называется **земным эллипсоидом**, а эллипсоид, который принят для обработки геодезических измерений и установления системы координат, называют **референц-эллипсоидом**.

Параметрами, определяющими размеры и форму земного эллипсоида, являются большая  $a$  и малая  $b$  полуоси или большая полуось  $a$  и полярное сжатие  $\alpha = \frac{(a-b)}{a}$ .

В 1946г. приняты следующие размеры земного эллипсоида:

$a=6378245\text{м}$ .

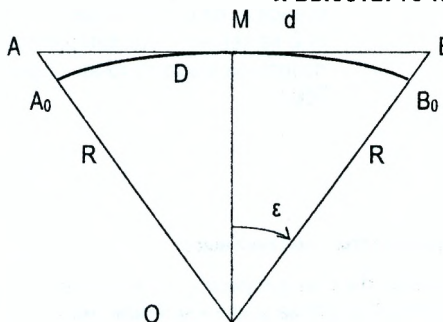
$b=6356863\text{м}$ .

$\alpha=1/298,3$ .

Эти параметры получены в 1940 г. выдающимся советским геодезистом профессором Ф.Н. Красовским. Размеры подтверждены в результате современных исследований по результатам наблюдений за движением искусственных спутников Земли.

В практике инженерно-геодезических работ поверхность эллипсоида и геоида считают совпадающими, во многих случаях значительные по размерам участки земной поверхности принимают даже за плоскость, а при необходимости учёта сферичности Земли считают её шаром, равным по объёму земному эллипсоиду. Радиус такого шара равен **6371,11км**.

### 1.3. Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек



Покажем, что незначительный участок поверхности Земли с достаточной точностью можно считать плоскостью. Для этого в первом приближении урвеновую поверхность примем за сферу. Пусть  $AMB$  (рис. 1.3) часть урвеной поверхности Земли с центром  $O$  и радиусом  $R$ . Обозначим длину дуги  $A_0MB_0$  через  $D$ , а касательную  $AB$  через  $d$ .

Рис.1.3. Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния

Подсчитаем погрешность  $\Delta d$  от замены дуги  $D$  касательной  $d$ . Для этого найдём разность

$$\Delta d = d - D. \quad (1.1)$$

Из треугольника  $BMO$  выразим касательную  $d$  и дугу  $D$  через радиус  $R$  и угол  $\epsilon$ . Получим

$$D = 2R\epsilon,$$

$$d = 2R \operatorname{tg} \epsilon,$$

тогда

$$\Delta d = 2R(\operatorname{tg} \epsilon - \epsilon). \quad (1.2)$$

Так как угол  $\epsilon$  мал, то его тангенс можно разложить в ряд, ограничившись первыми двумя членами

$$\operatorname{tg} \epsilon = \epsilon + \frac{1}{3} \epsilon^3 + \dots, \quad (1.3)$$

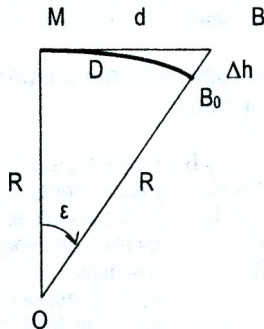
учитывая, что  $\epsilon = \frac{D}{2R}$ , формулу (1.2) можно записать в виде

$$\Delta d = \frac{2RD^3}{24R^3} = \frac{D^3}{12R^2}, \quad (1.4)$$

или в относительной мере

$$\frac{\Delta d}{D} = \frac{D^2}{12R^2}. \quad (1.5)$$

Приняв приближённо радиус Земли  $R \approx 6400$  км, а длину дуги  $D = 20$  км, получим  $\Delta d \approx 1,6$  см, а  $\frac{\Delta d}{D} \approx \frac{1}{1000000}$ . Такой относительной погрешностью характеризуются самые высокоточные измерения расстояний в геодезии. Поэтому **при решении инженерных задач для участков местности размером  $20 \times 20$  км уровенную поверхность можно считать плоскостью**. При более значительных участках в измеренные расстояния следует вводить поправку, вычисленную по формуле (1.4), которая вводится с отрицательным знаком.



При замене части дуги  $MB_0$  уровенной поверхности на часть касательной  $MB$ , равной  $d$ , точка  $B_0$  перемещается в точку  $B$  на величину  $\Delta h$ , которая называется поправкой в высоту точки за кривизну Земли.

Рис. 1.4. Влияние кривизны Земли на результаты измерения высот

Следует иметь в виду, что обозначения  $d$  и  $D$  на рисунках (1.3) и (1.4) не равноценны.

Определим величину  $\Delta h$ , выражающую влияние кривизны Земли на точность определения высот точек земной поверхности. Из  $\triangle OMB$ , получим



$$d^2=(R+\Delta h)^2-R^2=2 R \cdot \Delta h+\Delta h^2, \text{ откуда}$$

$$\Delta h=\frac{d^2}{(2 \cdot R+\Delta h)}.$$

Величина  $\Delta h$  мала по сравнению с величиной  $R$ . Тогда

$$\Delta h=\frac{d^2}{2 \cdot R}. \quad (1.6)$$

Таблица 1.1 Влияние кривизны Земли на результаты измерения высот

d, м	100	1000	2000	3000	5000	10000
$\Delta h$ , см	0,08	7,8	31	71	105	780

Для инженерных целей высоты точек земной поверхности необходимо определять с относительно высокой точностью, допуская на 1 км. погрешность не более 2-5 см. *При измерении вертикальных расстояний между точками земной поверхности нельзя пренебрегать кривизной Земли даже при сравнительно небольших расстояниях между ними.*

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Назовите основные задачи инженерной геодезии.
2. Что называют уральной поверхностью?
3. Какую форму имеет Земля?
4. Почему обработку геодезических измерений выполняют на поверхности эллипсоида?
- ✓ 5. Как определяют размеры участка земной поверхности, принимаемого за плоский, если влиянием кривизны Земли пренебречь?

## ЛЕКЦИЯ 2

### 2. Понятие о географических и прямоугольных координатах. Зональная система прямоугольных координат Гаусса-Крюгера

Координаты-величины, определяющие положение точки на земной поверхности относительно начальных (исходных) линий или поверхностей. В инженерной геодезии наибольшее применение получили следующие системы:

- Географических координат;
- Прямоугольных координат;
- Полярных координат.

#### 2.1. Система географических координат

В этой системе за координатную поверхность принимается шар, а за координатные линии – географические (истинные) меридианы и параллели.

Сечения поверхности шара плоскостями, проходящими через полярную ось вращения Земли  $PP_1$  называют меридианами. За начальный принят меридиан, проходящий через центр зала Гринвичской обсерватории вблизи Лондона.

Сечения поверхности шара плоскостями, перпендикулярными к оси вращения Земли называют параллелями. Параллель, плоскость которой проходит через центр шара  $O$ , называют экватором. Положение точки  $M$  определяется пересечением меридиана и параллели, проходящих через эту точку.

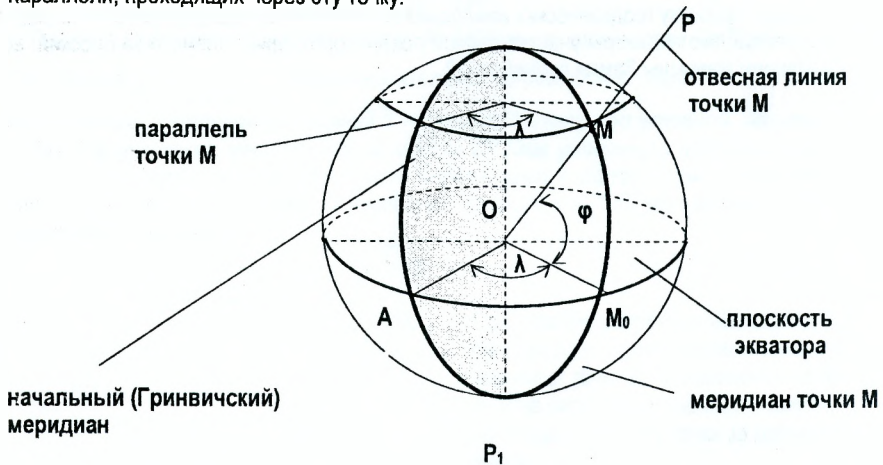


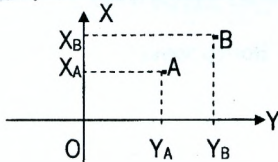
Рис. 2.1. Географические координаты

Географической широтой  $\varphi$  точки  $M$  называют угол между отвесной линией в точке  $M$  и плоскостью экватора (угол  $MOM_0$ ). Широты отсчитываются от экватора от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ; к северу-северные и к югу-южные.

Географической долготой  $\lambda$  точки  $M$  называют двугранный угол между плоскостью меридиана точки  $M$  и плоскостью Гринвичского (начального) меридиана (угол  $AOM_0$ ). Долготы  $\lambda$  отсчитываются от начального меридиана в обе стороны на восток и на запад от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и называются соответственно восточными и западными. Географические координаты ( $\varphi$  и  $\lambda$ ) точек на земной поверхности определяются путём астрономических измерений.

## 2.2. Система плоских прямоугольных координат. Зональная система координат Гаусса-Крюгера

Систему прямоугольных координат образуют две взаимно перпендикулярные прямые, которые называют осями координат. Ось X (абсцисс) обычно совмещают с меридианом, направление оси Y (ординат) принимается на восток. Пересечение двух осей (точка O) называется началом координат (рис. 2.2).



Положение любой точки в этой системе координат определяется координатами (отрезками)  $X_A, Y_A$  и  $X_B, Y_B$ .

Рис. 2.2. Прямоугольная система координат

Разность координат двух точек называется *приращениями координат*.

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{A-B} &= X_B - X_A \\ \Delta Y_{A-B} &= Y_B - Y_A \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Иногда удобно ось абсцисс (X) не совмещать с меридианом, а дать ей другое, более выгодное направление. Такая система называется условной. В строительстве часто за ось абсцисс принимается направление одной из главных осей строящегося объекта.

Прямоугольная система координат используется на плоскости. Поэтому в чистом виде её использование для определения координат точек земной поверхности (на сфере) довольно затруднительно.

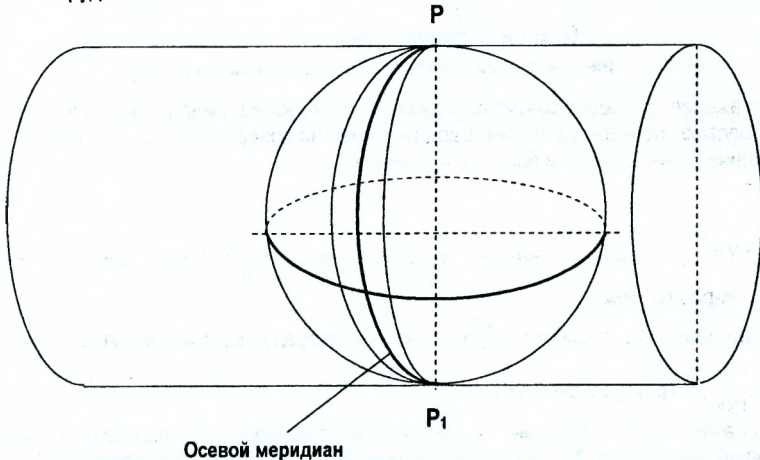


Рис. 2.3. Поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса-Крюгера

Систему прямоугольных координат используют при крупномасштабном (1:100000 и крупнее) изображении значительных частей земной поверхности на плоскости. Для крупномасштабного картографирования необходима проекция, обеспечивающая сохранение подобного изображения фигур (контуров) участка местности при переходе с поверхности шара на плоскость, возникающие при этом искажения размеров фигур должны быть малы и легко учитываться. Данным требованиям отвечает принятая с 1928 года поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса-Крюгера.

Изображение поверхности земного шара на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера получают следующим образом.

Земную поверхность условно делят меридианами на зоны шириной 3° или 6° по долготе. Земной шар вписывают в цилиндр так, чтобы плоскость экватора совместилась с осью цилиндра. Каждая зона из центра Земли проецируется на боковую поверхность цилиндра. После проецирования боковую поверхность цилиндра разворачивают в плоскость, разрезав её по образующим, проходящим через земные полюса.

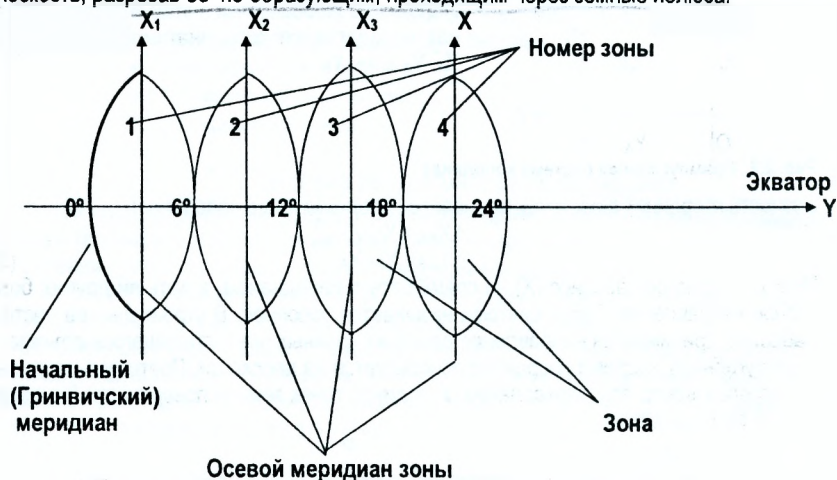


Рис. 2.4. Зональная система прямоугольных координат

Искажения размеров контуров вблизи средних (осевых) меридианов зон минимальны и возрастают по мере удаления к краям. Линия на поверхности шара длиной  $S$  при изображении её на плоскости получит искажение

$$\Delta S = \frac{Y^2 \cdot S}{2R^2}, \quad (2.2)$$

где  $Y = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$  - среднее значение из ординат начальной  $Y_1$  и конечной  $Y_2$  точек линии;

$R$  - радиус Земли.

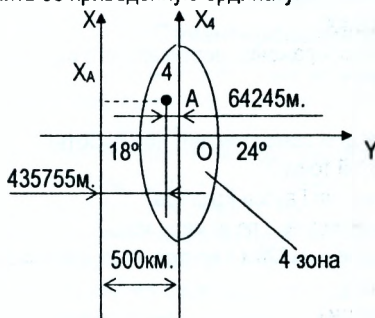
Относительные искажения  $\frac{\Delta S}{S}$  на краях шестиградусной зоны могут достигать величины  $\frac{1}{1500}$ , а трёхградусной зоны  $\frac{1}{6000}$ .

За начало отсчёта координат в каждой зоне принимают точку пересечения осевого меридиана - оси абсцисс  $X$  и экватора - оси ординат  $Y$ . На топографических картах проводят прямоугольную координатную сетку (километровая сетка), состоящую из прямых линий, параллельных осевому меридиану и экватору. Расстояния между смежными линиями сетки для масштабов карт 1:10000; 1:25000; 1:50000 составляют 1 км на местности.

Территория РБ полностью расположена в северном полушарии, все абсциссы положительны, а для того, чтобы и ординаты были положительны, начало координат смещено на запад на 500 км. В этом случае все точки к востоку и западу от осевого меридиана будут иметь положительные ординаты. Такие ординаты называются преобразованными (приведенными). Преобразованная ордината начинается с указания номера зоны.

### Пример 2.1.

Точка А расположена в четвёртой зоне в 64245м к западу от осевого меридиана. Определить её приведенную ординату.



Приведенная ордината равна  $Y_A = 4(500000 - 64245)_m = 4435755_m$ . Первая цифра – 4 указывает номер зоны. Координаты точки О будут  $X_O = 0$ ;  $Y_O = 4500км.$ , где цифра 4 означает номер зоны

Рис. 2.5. Схема к примеру 2.1

### 2.3. Система полярных координат

Эту систему применяют при определении планового положения точек на небольших участках в процессе съёмки местности и при геодезических разбивочных работах.

За начало координат – полюс принимают точку О местности, за начальную координатную линию – полярную координатную линию – произвольно расположенную на местности. Полярными координатами точки М будут полярный угол  $\beta$ , отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси и полярное расстояние (радиус-вектор) ОМ.

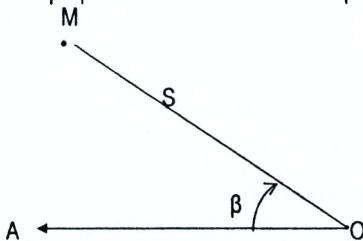


Рис. 2.6. Полярные координаты

### 2.4. Понятие о плане, карте, профиле

Топографическим планом называется уменьшенное и подобное изображение ситуации и рельефа местности. Подобное изображение получают при ортогональном проецировании участков земной поверхности размером, не превышающим 20\*20 км. на горизонтальную плоскость.

Ситуацией называют совокупность предметов местности.

Рельефом называется совокупность различных форм неровностей земной поверхности.

Изображение больших по размерам участков земной поверхности на плоскости нельзя получить без искажений. Такие участки ортогонально проецируют на поверхность эллипсоида, а затем с поверхности эллипсоида по определённым математическим законам, называемым картографическими проекциями, переносят на плоскость. Полученное таким образом уменьшенное изображение на плоскости называется картой. Карта, составленная в проекции Гаусса-Крюгера, содержащая изображение ситуации и рельефа, называется топографической картой.



Карты, в зависимости от масштаба, делятся на:

- Крупномасштабные, 1:100000 и крупнее;
- Среднемасштабные, от 1:200000 до 1:1000000;
- Мелкомасштабные, мельче 1:1000000.

Профиль местности – уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению.

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что называется широтой и долготой точки?
2. В чём заключается сущность проекции Гаусса-Крюгера?
3. Как рассчитать долготу осевого меридиана по номеру зоны?
4. Точка В расположена в шестой зоне в 21328 м к востоку от осевого меридиана. Определить её приведенную ординату.
5. Что такое план и ситуация местности?
6. Что такое топографическая карта?
7. Что такое профиль местности?



## ЛЕКЦИЯ 3

### 3.1. Ориентирование линий местности

Ориентировать линию местности - значит определить её направление относительно другого направления, принятого за исходное. В качестве исходных в геодезии используют следующие направления:

- Северное направление **истинного (географического) меридиана**. Направление географического меридиана - горизонтальная линия в плоскости географического меридиана. Она указывает на северный полюс Земли.
- Северное направление **магнитного меридиана**. Направление магнитного меридиана – горизонтальная линия в плоскости магнитного меридиана. Направление магнитного меридиана совпадает с направлением свободно подвешенной магнитной стрелки.
- Северное направление **осевого меридиана**, или направление, параллельное ему.

В зависимости от принятого исходного направления различают следующие ориентирные углы:



Рис. 3.1. Ориентирование линий

**Истинный (географический) азимут A**- угол, измеряемый от северного направления истинного (географического) меридиана по ходу часовой стрелки до заданной линии (рис. 3.1 а) (изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ). Истинный азимут можно определить по Полярной звезде в ночное время или по солнцу днём.

**Магнитный азимут  $A_m$** - угол, измеряемый от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки до заданной линии (рис. 3.1 б) (изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ). Магнитный азимут можно определить по компасу или буссоли.

**Дирекционный угол  $\alpha$** - угол, измеряемый от северного направления осевого меридиана, или линии, параллельной ему по ходу часовой стрелки до заданной линии (рис. 3.1 в) (изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ).

**Румб  $r$**  – острый угол, измеряемый от ближайшего направления (северного или южного) меридиана по ходу часовой либо против хода часовой стрелки до заданной линии. Обозначение румба начинают с указания четверти, далее записывается численное значение угла. Например: СВ:  $41^\circ 17'$ , ЮЗ:  $50^\circ 08'$ .

У линии MP (рис. 3.2) направление от точки М к точке Р называют прямым, а от точки Р к точке М – обратным (или наоборот). Соответственно различают дирекционный угол прямого и обратного направления. Часто дирекционный угол  $\alpha_{MP}$  в точке М называют **прямым**, а дирекционный угол  $\alpha_{PM}$  в точке Р – **обратным**. Зависимость между этими углами видна из рисунка 3.2.

$$\alpha_{PM} = \alpha_{MP} + 180^\circ \quad (3.1)$$

Зависимость между дирекционным углом  $\alpha_{AB}$  линии АВ и дирекционным углом  $\alpha_{BC}$  линии ВС можно установить, если измерить угол между этими линиями в точке В. При движении

по линии ABC угол  $\beta_n$  в точке B называют **правым**, а угол  $\beta_n$  - **левым**. Зависимость между дирекционными углами последующей и предыдущей линиями видна на рисунке 3.3.

Дирекционный угол  $\alpha_{BC}$  линии BC определяется по формуле (3.2).

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_n \quad (3.2)$$

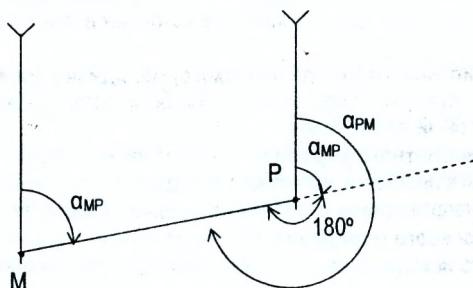


Рис. 3.2. Связь между прямым и обратным направлениями

Если измерен левый по ходу угол  $\beta_n$ , то

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} - 180^\circ + \beta_n \quad (3.3)$$

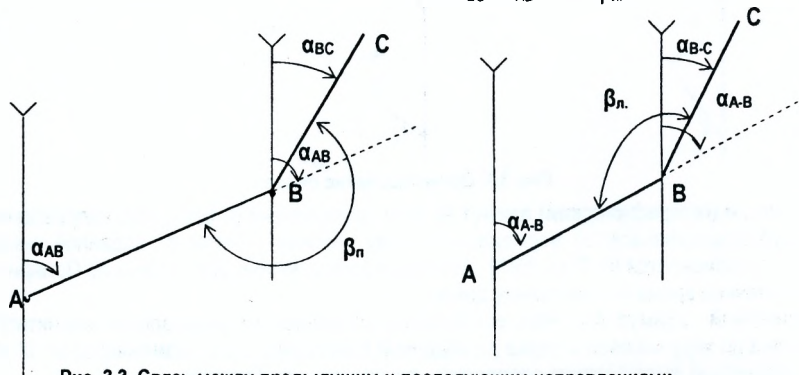


Рис. 3.3. Связь между предыдущим и последующим направлениями

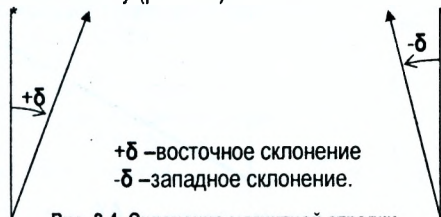
*Дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс 180° минус правый угол  $\beta_n$  по ходу лежащий или дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии минус 180° плюс левый угол  $\beta_n$  по ходу лежащий.*

В табл. 3.1 приведена связь между дирекционными углами и румбами. Там же показаны знаки приращений координат в зависимости от направлений румбов.

Таблица 3.1 Связь между дирекционными углами и румбами. Знаки приращений координат.

Четверть		Формулы связи между дирекционными углами и румбами	Знаки приращений координат	
Номер	Название		$\Delta X$	$\Delta Y$
I	СВ	$r = \alpha$	+	+
II	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
III	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
IV	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

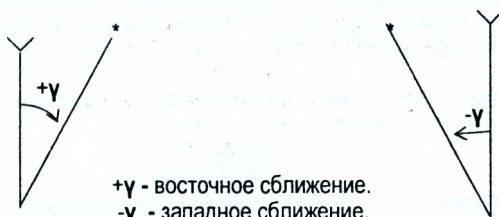
Из-за неравномерного распределения магнитных масс внутри Земли направление магнитного меридиана не совпадает с направлением на магнитный полюс. Кроме того, магнитная ось Земли отклонена от оси вращения Земли примерно на  $12^\circ$ . Под влиянием этих факторов между направлением географического и магнитного меридианов на поверхности Земли образуется угол  $\delta$  - **склонение магнитной стрелки**, отсчитываемый от истинного меридиана к магнитному (рис. 3.4).



$+\delta$  – восточное склонение  
 $-\delta$  – западное склонение.

Рис. 3.4. Склонение магнитной стрелки

Угол между осевым и истинным (или двумя истинными) меридианами называется **сближение меридианов** ( $\gamma$ ). Угол сближения меридианов будет положительным, если истинный (географический) меридиан отклонился вправо (на восток) от осевого меридиана и отрицательным, если истинный меридиан отклонился влево (на запад) от осевого меридиана.



$+\gamma$  - восточное сближение.  
 $-\gamma$  - западное сближение.

Рис. 3.5. Сближение меридианов

Сближение меридианов можно вычислить по формуле

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

(3.4)

где  $\Delta\lambda$  - разность долгот двух точек линии;  $\varphi$  - широта точки.

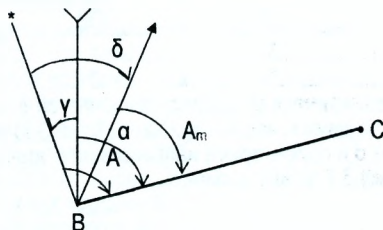


Рис. 3.6. Связь между ориентирными углами

$$A = A_m + \delta, \quad (3.5)$$

$$A = \alpha + \gamma, \quad (3.6)$$

приравнявая правые части, получим

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma = A_m + (\delta - \gamma). \quad (3.7)$$

Величину  $\delta - \gamma$  называют поправкой.

### 3.2. Прямая и обратная геодезические задачи

Конечной целью построения плановых геодезических сетей является определение координат геодезических пунктов. Обработка результатов измерений и вычисление координат геодезических пунктов основано на решении прямой и обратной геодезических задач.

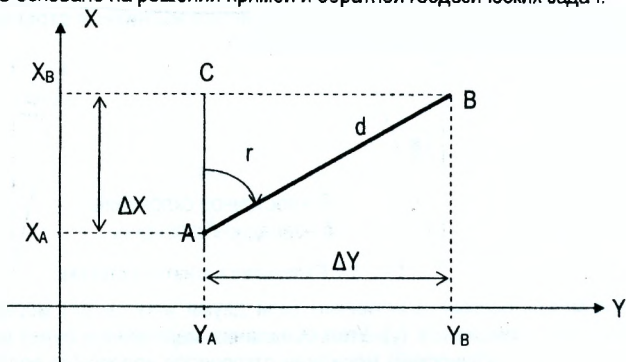


Рис. 3.7. Прямая и обратная геодезические задачи

**Прямая геодезическая задача** заключается в том, что по известным прямоугольным координатам одной точки  $X_A, Y_A$  (рис. 3.7), горизонтальному проложению  $d$  и её направлению (румбу  $r$  или дирекционному углу  $\alpha$  линии A-B) требуется определить координаты другой точки  $X_B, Y_B$ .

Для решения этой задачи точки A и B спроектируем на координатные оси X и Y. Из геометрического построения видно, что

$$\left. \begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  можно определить из прямоугольного треугольника ABC.

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= d \cos r \\ \Delta Y &= d \sin r \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Знаки приращений координат зависят от направлений румбов (т.е. от  $\cos r$  и  $\sin r$ ). В таблице 3.2 приведены знаки приращений координат в зависимости от направлений румбов.

Таблица 3.2 Знаки приращений прямоугольных координат

Приращения	Направления румбов			
	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
$\Delta X$	+	-	-	+
$\Delta Y$	+	+	-	-

**Обратная геодезическая задача** заключается в том, что по известным прямоугольным координатам двух точек  $X_A, Y_A, X_B, Y_B$  (рис. 3.7) требуется определить горизонтальное проложение  $d$  и ориентирное направление  $r$  линии.

Согласно рисунку 3.7 можно записать

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= X_B - X_A \\ \Delta Y &= Y_B - Y_A \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Из прямоугольного треугольника ABC находим

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} r &= \frac{\Delta Y}{\Delta X} \\ \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y}{\Delta X} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \frac{\Delta X}{\cos r} = \frac{\Delta Y}{\sin r} \quad (3.12)$$

Четверть, в которой лежит направление линии, определяют по знакам приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ . При вычислении  $\alpha$  находят значение острого угла (румба), затем по знакам приращений координат его название (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ) и далее определяется значение дирекционного угла  $\alpha$ .

### Пример 3.1

Дано:  $X_A=400,00\text{м}$ ,  $Y_A=200,00\text{м}$ ,  $d=200,00\text{м}$ ,  $\alpha=150^\circ$ .

Вычислить прямоугольные координаты точки В.

По формулам (3.9) находим приращения координат

$$\Delta X = -d \cos r = -200,00 \cdot 0,866025 = -173,21\text{м};$$

$$\Delta Y = +d \sin r = +200,00 \cdot 0,5 = +100,00\text{м}.$$

Знаки приращений координат определены по таблице 3.2.

По формулам (3.8) находим координаты точки В.

$$X_B = X_A + \Delta X = 400,00 - 173,21 = 226,79\text{м};$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y = 200,00 + 100,00 = 300,00\text{м}.$$

### Пример 3.2

Дано:  $X_A=300,00\text{м}$ ,  $Y_A=400,00\text{м}$ ,  $X_B=100,00\text{м}$ ,  $Y_B=200,00\text{м}$ .

Требуется определить горизонтальное проложение  $d$  и направление линии АВ.

По формулам (3.10) находим приращения координат

$$\Delta X = X_B - X_A = 100,00 - 300,00 = -200,00\text{м}.$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A = 200,00 - 400,00 = -200,00\text{м}.$$

По формуле (3.11) находим значение румба  $r$ , а по таблице 3.2 его направление.

$$\operatorname{tg} r = \frac{-200,00}{-200,00} = 1,00$$

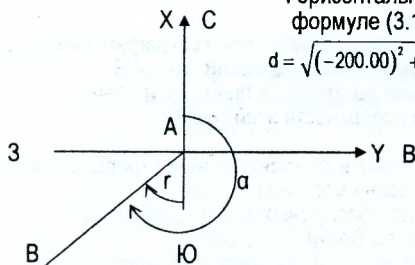
$$r = \text{ЮЗ:}45^\circ$$

Дирекционный угол линии АВ определим

по направлению румба (таблица 3.1).  $\alpha = 180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$ .

Горизонтальное проложение линии АВ определим по формуле (3.12).

$$d = \sqrt{(-200,00)^2 + (-200,00)^2} = \frac{200,00}{0,707107} = \frac{200,00}{0,707107} = 282,84 \text{ м}.$$



### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что значит ориентировать линию? Что называют азимутом и румбом?
2. Что называют географическим, или истинным, азимутом и дирекционным углом? Какова зависимость между прямым и обратным дирекционными углами данной линии?
3. Покажите на рисунке зависимость между дирекционными углами и румбами. Для чего от дирекционных углов и азимутов переходят к румбам?
4. Приведите формулы для перехода от дирекционных углов к румбам. Вычислите румб линии, если её дирекционный угол равен  $333^\circ 47'$ .
5. Румб линии равен  $\text{ЮЗ:}61^\circ 27'$ . Определить значение дирекционного угла.
6. Что называют магнитным азимутом и как перейти к нему от измеренного на карте или плане дирекционного угла линии?
7. Какими ориентирными углами удобнее пользоваться при ориентировании на местности?
8. Дирекционный угол последующей линии равен  $324^\circ 16'$ . Правый по ходу горизонтальный угол  $\beta_n$  равен  $123^\circ 57'$ . Вычислить дирекционный угол предыдущей стороны.
9. Дирекционный угол линии А-В равен  $\alpha_{А-В} = 143^\circ 06'$ . Определить румб линии В-А.



## ЛЕКЦИЯ 4

### 4.1. Абсолютные, относительные и условные высоты (отметки) точек земной поверхности

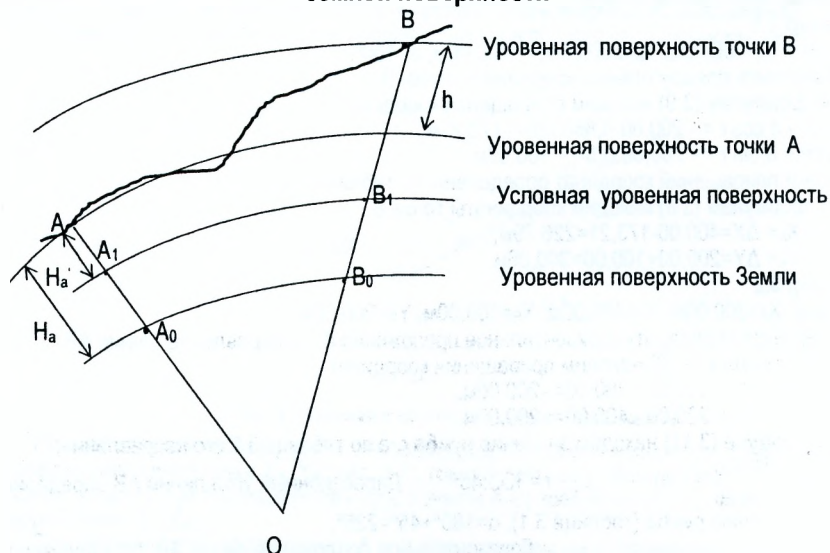


Рис. 4.1. Сечение Земли отвесной плоскостью

Положение точки на земной поверхности характеризуется географическими ( $\varphi$  и  $\lambda$ ) или прямоугольными ( $X$  и  $Y$ ) координатами, а также высотой точки  $H$ .

Высотой точки  $H$  называется расстояние по отвесной линии от уровневой поверхности, принятой за начальную, до уровневой поверхности этой точки.

$$H_a = A_0A, H_b = B_0B.$$

Различают высоты **абсолютные, условные и относительные (превышения)**. Счёт абсолютных высот ведётся от среднего уровня моря или океана.

В республике Беларусь за начало отсчёта абсолютных высот принята уровневая поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря.

Принятую систему высот называют **Балтийской**. **Футшток Кронштадтский** – водомерная рейка, изготовленная из меди и закреплённая на гранитном устое моста на о.Котлин в Кронштадте. Название футштока образовалось путём соединения английского слова *foot* (фут) с немецким *stock* (палка, шест). По результатам непрерывных наблюдений с 1845г. установлено, что нулевой штрих этой рейки совпадает со средним уровнем Балтийского моря. Нуль Кронштадтского футштока принят за начало счёта высот (отметок). В систему водомерного Кронштадтского поста входят 3 марки, которые точным nivelированием связаны с футштоком. Первая марка закреплена на стене здания, расположенного возле Кронштадтского футштока ( $H=7,1076\text{м}$  над нулём футштока).

Началом счёта **условных** высот может являться любая условно принятая уровневая поверхность. Условной высотой точки  $A$  является отрезок  $AA_1$ .  $H_a = AA_1$ .

Разность высот двух точек называется относительной высотой или **превышением**  $h$ . Превышение может быть как положительным, так и отрицательным

$$+h_{A,B} = H_B - H_A \quad (4.1)$$

$$-h_{B,A} = H_A - H_B \quad (4.2)$$

Очевидно, что  $h_{B,A} = -h_{A,B}$



## 4.2. Рельеф местности и его изображение на картах и планах

Совокупность неровностей земной поверхности называют **рельефом**. Рельеф (франц.) – выпуклость. На топографических картах и планах рельеф изображают горизонталями. **Горизонталь** – линия, соединяющая точки земной поверхности с одинаковыми высотами. Её можно представить как след от пересечения физической поверхности Земли урovenной поверхностью (рис. 4.2).

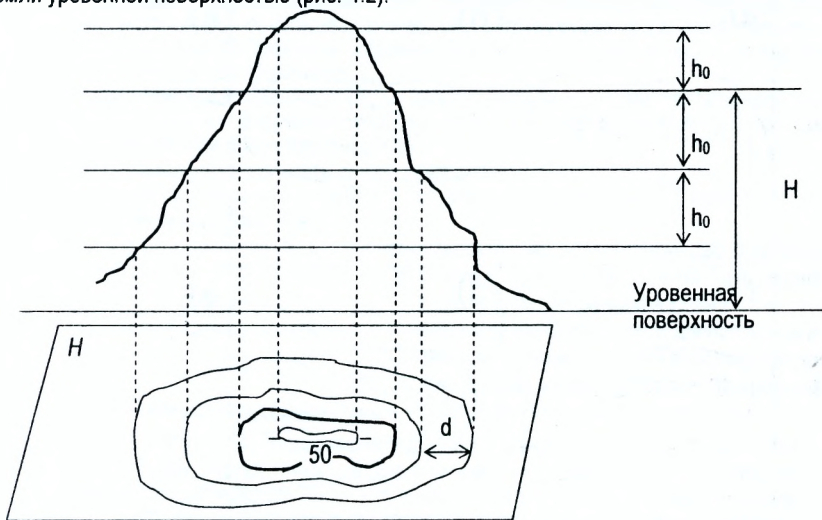


Рис. 4.2. Изображение рельефа горизонталями

Вертикальное расстояние  $h_0$  между соседними урovenными поверхностями, пересекающими земную поверхность, называется **высотой сечения рельефа**.

Горизонтальное проложение  $d$  между соседними горизонталями называется **заложением**.

Высоту  $H$  горизонтали над урovenной поверхностью называют **отметкой**. Отметки горизонталей всегда кратны принятой высоте сечения рельефа. **Числовые значения отметок подписываются в разрыве горизонталей так, чтобы основание цифр располагалось в сторону понижения местности.** Для облегчения работы с картой горизонтали наносят светло-коричневым цветом.

Высоту сечения рельефа выбирают в зависимости от масштаба карты и характера местности. Сведения о стандартной высоте сечения рельефа приведены в табл. 4.1

Таблица 4.1 Высота сечения рельефа для карт различных масштабов.

Характер местности	Высота сечения, м				Максимальный угол наклона, градус
	1:2000	1:5000	1:10000	1:25000	
Равнинная	0,5	0,5	1	2,5	4
Пересеченная	1	1-2	2	5	10
Горная	2	5	5	10	30

Для более полного изображения и удобства чтения на картах подписывают отметки характерных точек рельефа.

Короткие штрихи, перпендикулярные горизонталям, показывающие направление ската, называются **бергштрихи**.

### 4.3. Основные формы рельефа

Различают следующие основные формы рельефа (рис. 4.3):

**Гора (холм)** – возвышающаяся над окружающей местностью часть земной поверхности (рис. 4.3 а).

**Котловина** – замкнутое углубление поверхности (рис. 4.3 б).

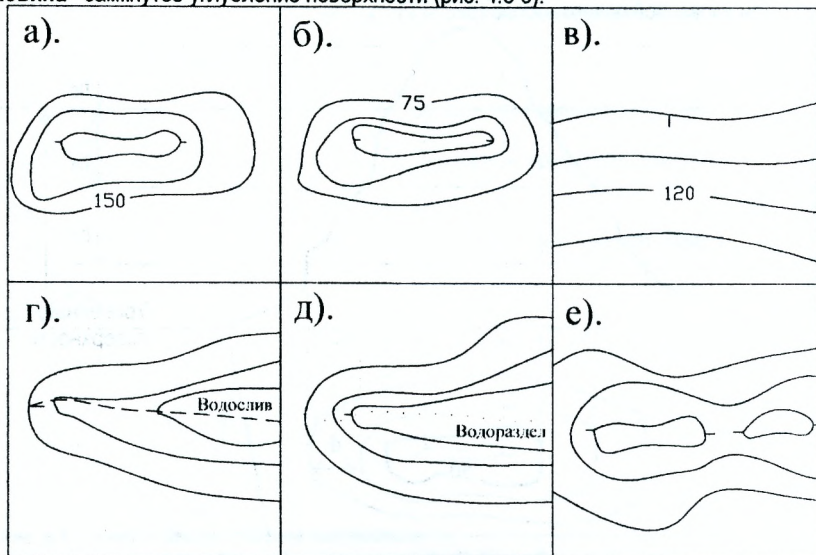


Рис. 4.3. Основные формы рельефа

**Склон** – участок земной поверхности, имеющий однородную форму (рис. 4.3 в).

**Ложбина** – вытянутое и наклоненное в одном направлении желобообразное углубление земной поверхности. Линия встречи скатов в нижней части называется **водосливом** (рис. 4.3 г).

**Хребет** – вытянутая в одном направлении возвышенность со скатами в двух противоположных направлениях (рис. 4.3 д). **Водораздел** – линия встречи скатов в верхней части.

**Седловина** – выпукло-вогнутая часть рельефа, расположенная между двумя смежными горами (рис. 4.3 е).

### 4.4. Свойства горизонталей

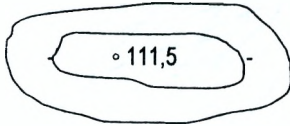
- Все точки на одной горизонтали имеют одинаковые отметки, кратные принятой высоте сечения рельефа.
- Все горизонталы - замкнутые линии.
- Горизонталы не пересекаются, так как они лежат в разных по высоте плоскостях.
- Расстояние между горизонталями характеризует крутизну ската. Чем меньше заложение, тем круче скат.
- Водораздельные линии (линии, соединяющие точки с наибольшими отметками) и оси ложбин горизонталы пересекают под прямым углом.
- Наклонная плоскость изображается параллельными линиями, проведенными через одинаковые расстояния.

Различают следующие виды горизонталей:

1. *Сплошные* - тонкие линии, соответствующие заданной высоте сечения рельефа;
2. *Утолщённые* – проводятся для облегчения чтения рельефа. Например, при высоте сечения 1; 5 или 10м принято утолщать каждую пятую с отметками, кратными соответственно 5; 25 или 100м. При высоте сечения 0,5 и 2,5м утолщается каждая четвёртая горизонталь;
3. *Полугоризонтالي*- пунктирные линии, соответствующие  $\frac{1}{2}$  сечения рельефа. Используются для отображения характерных форм рельефа, которые не выражаются сплошными горизонталями;
4. *Вспомогательные горизонтали* – также пунктирные линии, которые используют для изображения характерных форм рельефа, не выражающихся сплошными горизонталями или полугоризонтальями.

По горизонталям можно решать следующие задачи:

1. Определение отметки горизонтали по данной отметке точки и известной высоте сечения рельефа (рис. 4.4).



Задача решается исходя из следующих соображений:

- а) отметка горизонтали должна быть кратна высоте сечения рельефа (2,5м);
- б) разность между отметкой данной точки и отметкой ближайшей к ней горизонтали должна быть меньше высоты сечения рельефа.

Рис. 4.4. Определение отметки горизонтали

Высота сечения рельефа  $h=2,5$ м.

На рис. 4.4 очевидно, что ближайшая горизонталь к отметке 111,5м будет 110м.

2. Определение отметки точки, расположенной между смежными горизонталями.

Пусть требуется определить высоту  $H$  точки  $C$ , расположенной между смежными горизонталями с высотами  $H_1$  и  $H_2$  (рис.4.5). Проводят через точку  $C$  прямую, нормальную к горизонталям, и измеряют отрезки  $e$  и  $d$ . Искомая высота  $H_C$  определяется из соотношения

$$H_C = H_1 + \Delta h; \quad (4.3)$$

$$\Delta h = e \cdot \frac{h}{d}, \quad (4.4)$$

где  $h$ -высота сечения рельефа.

3. Помимо приведенных задач по горизонталям можно построить профиль местности, провести линию с заданным уклоном, определить границу водосборной площади и т. д.

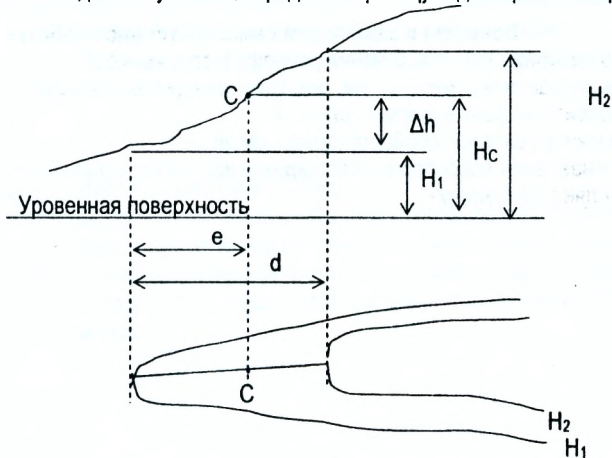


Рис. 4.5. Определение отметки точки, лежащей между двумя смежными горизонталями

Формы рельефа, которые невозможно изображать горизонталями (обрывы, овраги, промоины, курганы, ямы и т.д.) на картах изображают условными знаками. При этом естественные формы изображаются коричневым цветом, а искусственные – чёрным.

#### 4.5. Определение площади водосбора

**Площадь водосбора** или бассейна водотока (реки, ручья или оврага) является та площадь земной поверхности, с которой дождевая или талая вода стекает или собирается в данный водоток. Для определения границы водосбора намечают в горизонталях линию водораздела по обеим сторонам водотока в виде плавной кривой, соединяющей наивысшие точки рельефа.

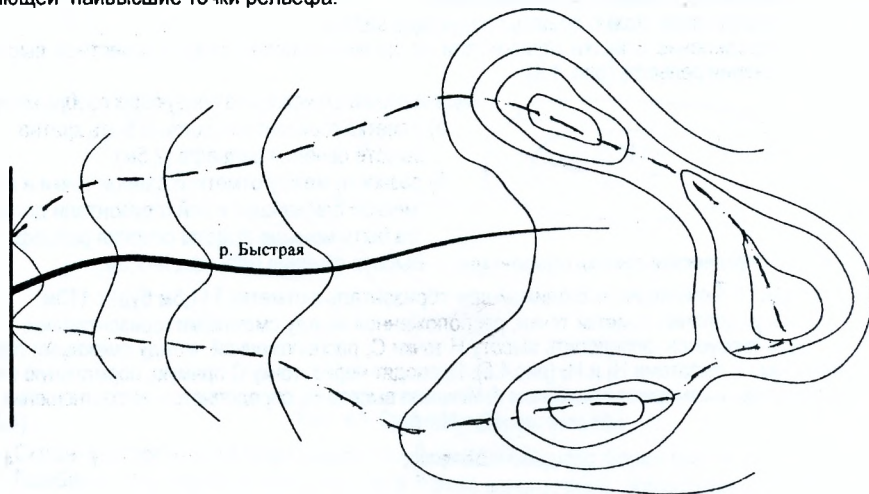


Рис. 4.6. Определение водосборной площади водотока

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что называют высотой сечения рельефа и заложением?
2. Как определить отметку точки, лежащей между горизонталями?
3. Назовите основные формы рельефа.
4. Назовите основные свойства горизонталей.
5. Что называют водосборной площадью и как на топографическом плане или карте определяют её границу?



## ЛЕКЦИЯ 5

### 5.1. Способы определения площадей

Площадь контуров на планах и картах определяется геометрическими и механическими способами. Геометрические способы используются тогда, когда известны результаты измерения геометрических элементов фигуры - длина её линий и величины углов или функций этих элементов, которыми являются координаты вершин фигуры. Механические способы применяются для определения площади по плану при помощи механических приборов - планиметров.

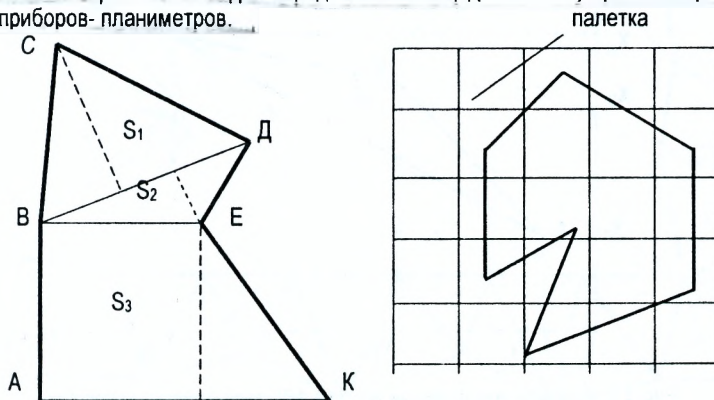


Рис. 5.1. Определение площади контура геометрическим способом

При геометрическом способе определения площади небольшой участок местности разбивается на простейшие геометрические фигуры, например, на трапецию АВЕК, треугольники ВСД и ВДЕ. После измерения высот и оснований фигур вычисляются их площади  $S_1, S_2, S_3$ . Площадь контура равна сумме площадей  $S = S_1 + S_2 + S_3$ .

Для определения площадей используют также палетки. Палетка представляет собой прозрачную основу с нанесённой на неё сеткой равных по площади фигур, обычно сторона сетки квадратов составляет 2-10мм. Палетку кладут на план и внутри контура фигуры подсчитывается число ( $n_1$ ) целых квадратов и число ( $n_2$ ) квадратов, которые составлены на глаз из частей, рассеченных контуром.

Площадь участка

$$S = p(n_1 + n_2 \cdot 0,5), \quad (5.1)$$

где  $p$  - площадь одного квадрата в масштабе плана.

Контур участка строительства, населенного пункта, территории хозяйства, замкнутого теодолитного хода представляет собой многоугольник, вершины которого закреплены геодезическими знаками и известны их координаты. Если вершины участка пронумеровать по часовой стрелке, то формулу определения площади аналитическим способом можно представить в общем виде

$$S = \frac{\sum X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})}{2}, \quad (5.2)$$

$$S = \frac{\sum Y_i \cdot (X_{i+1} - X_{i-1})}{2} \quad (5.3)$$

Если координаты вершин получены прокладкой теодолитного хода, то площадь многоугольника находится с относительной погрешностью 1/1500.

Площадь контура ABC (рис.5.2) определится:  $S = (X_A(Y_B - Y_C) + X_B(Y_C - Y_A) + X_C(Y_A - Y_B))/2$   
 $S = (Y_A(X_C - X_B) + Y_B(X_A - X_C) + Y_C(X_B - X_A))/2$

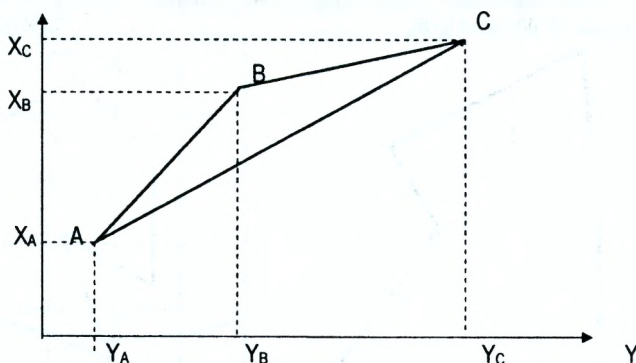


Рис. 5.2. Определение площади контура ABC аналитическим способом

## 5.2. Государственные геодезические сети

Государственная геодезическая сеть представляет собой систему пунктов на территории государства, координаты которых (X и Y) и высоты (H) заранее определены. Пункты распределены примерно равномерно на всей территории страны. Государственные сети делят на плановые и высотные.

Инженерно-геодезические работы, сопровождающие все виды инженерно-строительного производства, требуют наличия на местности исходных точек, плановые координаты и высоты которых определены с высокой точностью.

**Плановая геодезическая сеть** представляет собой совокупность точек (пунктов), закреплённых на местности, положение которых определено в общей для данного государства системе координат. Закреплённая на местности точка геодезической сети называется геодезическим пунктом. Развитие геодезических сетей осуществляется по принципу - «от общего к частному», т.е. от более крупных по размерам к менее крупным, от более точных к менее точным (рис. 5.3).

Государственная геодезическая сеть подразделяется на 4 класса. Сеть 1 класса строится в виде полигонов, образуемых рядами триангуляции, расположенных примерно вдоль параллелей и меридианов. Периметр полигона около 800 км, а стороны его, называемые звеньями – около 200 км. В вершинах полигонов определяют парные астрономические пункты, называемые пунктами Лапласа, для которых из астрономических наблюдений находят широту, долготу и азимут. Полигоны 1 класса заполняются пунктами 2,3 и 4 классов.

Пункты государственной плановой сети и плановых сетей сгущения закрепляются специальными подземными знаками-центрами, обозначающими положение геодезиче-





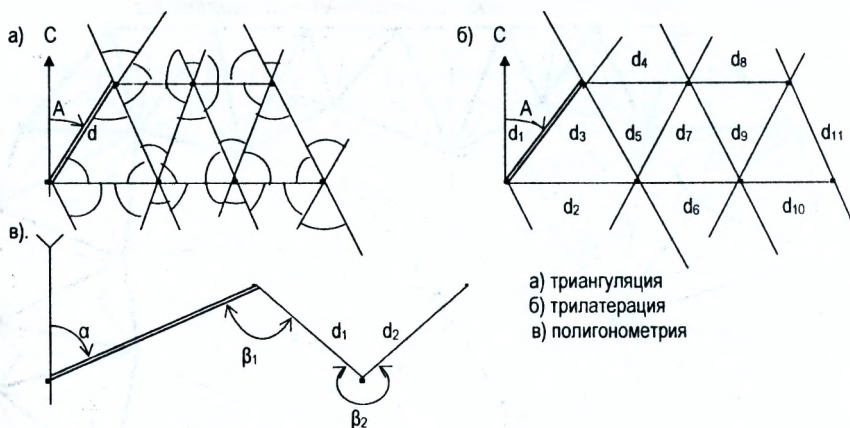


Рис. 5.4. Методы построения плановых геодезических сетей

В зависимости от класса триангуляции (трилатерации) расстояние между пунктами может быть:

- 1 класс – более 20 км;
- 2 класс - 7-20 км;
- 3 класс - 5-8 км;
- 4 класс - 2-5 км.

Таким образом на территории государства имеются пункты с известными координатами и высотами, расстояние между которыми 2-5 км.

Для обеспечения строительной площадки и для обеспечения топографических съёмок координатами и высотами точек такой густоты недостаточно. Поэтому выполняется сгущение государственной геодезической сети. Одним из способов сгущения является проложение теодолитных ходов.

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. В чём состоят основные принципы построения и развития геодезических сетей?
2. В чём сущность метода триангуляции?
3. В чём сущность метода трилатерации?
4. В чём сущность полигонометрии?
5. С какой целью выполняется сгущение государственной геодезической сети?
6. Какой способ планового сгущения Вы знаете?
7. Как определяются площади контуров на планах и картах геометрическим способом?
8. Как определить площадь контура аналитическим способом?

## ЛЕКЦИЯ 6

### 6.1. Проложение теодолитных ходов

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

Теодолитные ходы, как правило, прокладывают между исходными пунктами триангуляции, трилатерации или полигонометрии. Форма ходов зависит от характера снимаемой территории и может быть: замкнутой (рис. 6.1 а), разомкнутой (рис. 6.1 б), висячей (рис. 6.1 в).

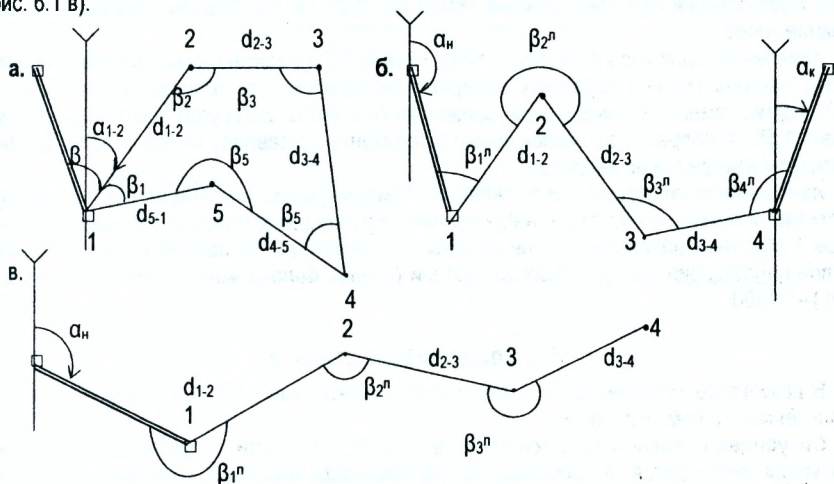


Рис. 6.1. Схемы теодолитных ходов

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

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

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

Если при движении по ходу углы лежат с левой стороны сторон хода, то их называют левыми ( $\beta_1^n, \beta_2^n, \beta_3^n \dots$ ), если с правой стороны - правыми ( $\beta_1^n, \beta_2^n, \beta_3^n$ ).

При проложении теодолитных ходов следует руководствоваться следующими требованиями:

- Точки теодолитного хода должны равномерно покрывать весь участок и располагаться в местах, удобных для производства геодезических измерений;
- Длины сторон хода не должны превышать 350 м и быть короче 40 м в незастроенной части участка и 20 м в застроенной части территории;
- Между смежными точками хода должна быть прямая видимость для измерения углов и благоприятные условия для измерения сторон;
- Местоположение точек хода должно быть выбрано так, чтобы обеспечить их сохранность на весь период съёмки;

- Длины ходов (в км) для различных масштабов не должны превышать предельных значений:

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

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

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

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

## 6.2. Теодолитная съёмка

В результате теодолитной съёмки получают контурный план местности, т.е. план с нанесённой на нём ситуацией.

**Ситуацией** называется совокупность предметов местности. Горизонтальная съёмка ситуации заключается в производстве на местности линейных и угловых измерений, которыми характерные точки ситуации привязывают к точкам и линиям съёмочного обоснования (теодолитного хода). Под характерными точками ситуации понимаются все изгибы построек, ограды, изгороди, столбы, ЛЭП, дороги, границы угодий и т.д. Различают следующие способы съёмки ситуации (рис. 6.2):

1. *Способ перпендикуляров (прямоугольных координат) (рис. 6.2 а).*

В данном способе мерный прибор (лента, рулетка) укладывают в створ стороны теодолитного хода и из характерных точек ситуации опускают перпендикуляры на сторону хода. По мерному прибору определяют расстояния от начала отсчёта (точки теодолитного хода) до основания перпендикуляра (абсциссу X) и измеряют длину перпендикуляра (ординату Y).

Частный случай, когда точка ситуации попадает непосредственно в створ линии ( $Y=0$ ), называют *способом створов (рис. 6.2 б).*

2. *Способ полярных координат (рис. 6.2 в).*

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

3. *Способ угловых засечек (рис. 6.2 г).*

В этом способе теодолит устанавливается последовательно на точках теодолитного хода 4 и 5 и измеряются горизонтальные углы  $\beta_4$  и  $\beta_5$  между стороной хода и направлением на предмет.



4. Способ линейных засечек (рис. 6.2 д).

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

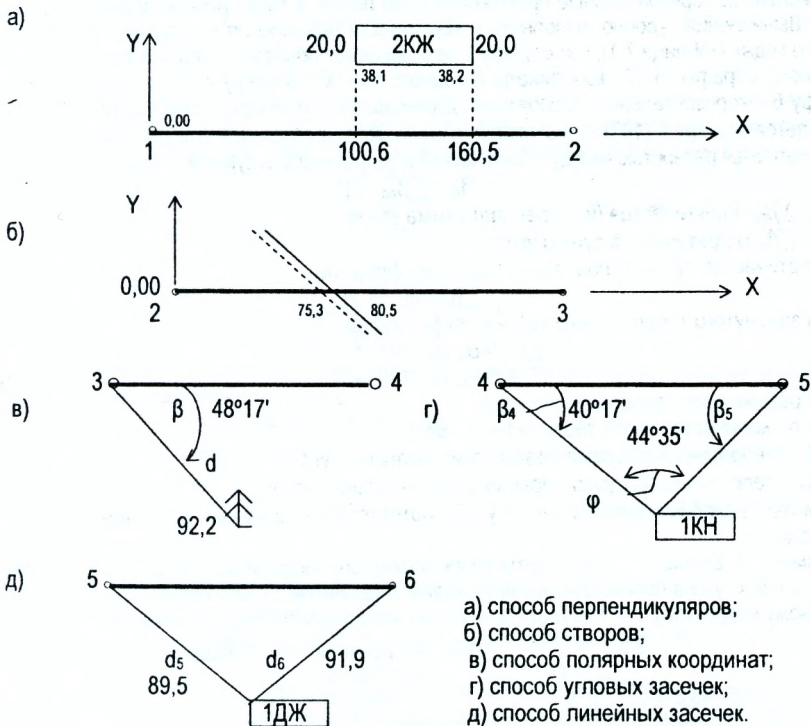


Рис. 6.2. Способы съёмки ситуации

Результаты измерений при съёмке ситуации заносят в абрис. Абрис – схематический чертёж, на котором показаны контуры местности, элементы ситуации и приведены результаты измерений при съёмке. На абрисе показывают опорные точки и линии вершины и стороны теодолитных ходов, контуры угодий и все местные предметы, наименование угодий, географические названия, наименование сооружений и т.п.

Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что такое теодолитный ход?
2. Какие способы применяются при съёмке контуров (ситуации)?
3. Как измеряются горизонтальные углы при выполнении теодолитной съёмки?
4. Как выполняется измерение сторон теодолитного хода?
5. Что называется абрисом теодолитной съёмки?



## ЛЕКЦИЯ 7

### 7.1. Вычисление координат вершин теодолитного хода

Вычисление координат точек теодолитного хода начинают с составления рабочей схемы теодолитного хода (рис. 7.1), на которую выписывают измеренные горизонтальные углы и вычисленные горизонтальные проложения длин линий, а также исходный дирекционный угол. Вычисления удобно выполнять в «Ведомости вычисления координат точек теодолитного хода» (таблица 7.1), где в графу 1 записываются номера пунктов (точек), начиная с исходного, в графы 11,12 - координаты исходного пункта 1, в графу 2 – измеренные углы, а в графу 6 – горизонтальные проложения. Дирекционный угол начальной стороны (1-2) записывается в графу 4 ( $10^{\circ}01'$ ). Вычисления начинают с вычисления угловой невязки  $f_{\beta}$ , которая является разностью между практической и теоретической суммой углов.

$$f_{\beta} = \sum \beta_{np} - \sum \beta_{т}, \quad (7.1)$$

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

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

Теоретическая сумма углов вычисляется по формуле

$$\sum \beta_{т} = 180^{\circ}(n-2) \quad (7.2)$$

для замкнутого теодолитного хода, и по формулам

$$\left. \begin{aligned} \sum \beta_{т}^{л} &= \alpha_n - \alpha_k + 180^{\circ} \cdot n \\ \sum \beta_{т}^{п} &= \alpha_k - \alpha_n + 180^{\circ} \cdot n \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

для разомкнутого теодолитного хода,

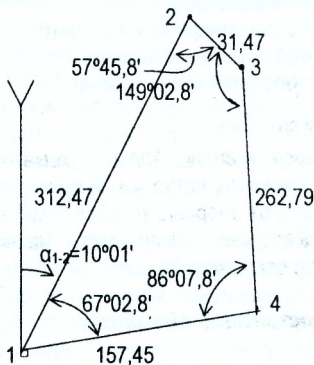
где  $n$  - количество углов теодолитного хода;

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

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

$\alpha_n$  и  $\alpha_k$  - исходные дирекционные углы соответственно в начале и в конце теодолитного хода.

Пример 7.1: Вычислить координаты точек замкнутого теодолитного хода. Измерение горизонтальных углов производилось оптическим теодолитом 2Т30 с точностью отсчетов по шкаловому микроскопу  $0,5'$ . Результаты полевых измерений приведены на схеме (рис. 7.1).



Дано: Координаты точки 1 теодолитного хода равны:

$$X_1 = 1000,00$$

$$Y_1 = 1000,00.$$

В примере:

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

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

$$f_{\beta} = \sum \beta_{np} - \sum \beta_{т} = 359^{\circ}59,2' - 360^{\circ} = -0,8'$$

Рис. 7.1. Рабочая схема замкнутого теодолитного хода

Допустимая угловая невязка вычисляется по формуле:

$$f_{\beta}^{доп} = \pm 2 t \cdot \sqrt{n}, \quad (7.4)$$

где  $t$  - точность измерения углов;

$n$  - количество углов.

В нашем случае  $f_{\beta}^{don} = \pm 2 \cdot 0,5' \cdot \sqrt{4} = \pm 02',0$

Если полученная невязка  $f_{\beta}$  по абсолютной величине не превышает  $f_{\beta}^{don}$  ( $f_{\beta} \leq f_{\beta}^{don}$ ), то первую распределяют поровну с обратным знаком во все измеренные углы, округляя до  $0,1'$ . Если распределить поправки поровну во все измеренные углы не удаётся, то большие по абсолютной величине поправки вводят в углы, образованные меньшими сторонами. При ( $f_{\beta} \geq f_{\beta}^{don}$ ) горизонтальные углы измеряют заново. Исправленные углы записывают в графу 3 таблицы 7.1.

Далее вычисляют дирекционные углы сторон теодолитного хода по известному значению дирекционного угла начальной стороны. Дирекционные углы вычисляются по правилу: **дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс  $180^\circ$  и минус исправленный горизонтальный угол, справа по ходу лежащий**. Дирекционные углы записывают в графу 4 таблицы 7.1.

Примечания: 1) если результат более  $360^\circ$ , то от него нужно отнять  $360^\circ$ ;

2) если результат получается отрицательным, то к нему нужно прибавить  $360^\circ$ ;

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

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

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

**Контролем вычисления дирекционных углов является вычисление дирекционного угла исходной стороны.**

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

Далее по дирекционным углам находят румбы. Для определения румбов полезно пользоваться таблицей 3.1. Румбы записывают в графу 5.

Из решения прямой геодезической задачи вычисляют приращения координат

$$\Delta x = \pm d \cdot \cos r; \quad (7.5)$$

$$\Delta y = \pm d \cdot \sin r, \quad (7.6)$$

где  $d$  - горизонтальное проложение стороны теодолитного хода;

$r$  - румб той же стороны.

Вычисленные приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  записывают в графы 7 и 8 таблицы 7.1, округляя их до  $0,01$  м.

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

Знаки приращений координат определяют по значениям дирекционных углов или направлениям румбов. Для этого полезно использовать таблицу 3.1.

7. Невязку в приращениях координат определяют по формулам

$$f_x = \sum \Delta x_{выч} - \sum \Delta x_r, \quad (7.7)$$

$$f_y = \sum \Delta y_{выч} - \sum \Delta y_r, \quad (7.8)$$

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

$\sum \Delta x_m$  и  $\sum \Delta y_m$  - теоретическая сумма приращений координат. Для замкнутого хода теоретическая сумма равна нулю, т.е.  $\sum \Delta x_m = \sum \Delta y_m = 0$ . Для разомкнутого хода теоретическая сумма вычисляется по формуле

$$\sum \Delta x_r = x_k - x_n \quad (7.9)$$

$$\text{и} \quad \sum \Delta y_r = y_k - y_n, \quad (7.10)$$

где  $x_k$  и  $x_n$  - абсциссы конечной и начальной точек теодолитного хода;

$y_k$  и  $y_n$  - их ординаты.

Абсолютная невязка определяется по формуле

$$f_{abs} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (7.11)$$

Относительная невязка равна

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{1}{P/f_{\text{абс}}}, \quad (7.12)$$

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

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

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

Если  $f_{\text{отн}} \leq \frac{1}{2000}$  – выполняется уравнение приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ : вносятся поправки со знаками, противоположными знакам  $f_x$  и  $f_y$  пропорционально горизонтальным проложениям сторон теодолитного хода. Поправки округляют до 0.01 м. (Абсолютная сумма поправок равна величине невязки).

В примере (табл. 7.1) поправки при исправлении  $\Delta X$  распределялись следующим образом

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

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

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

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

Контроль: сумма поправок равна невязке с обратным знаком. (0,11+0,01+0,09+0,05=0,26 м) Аналогично распределяются поправки при уравнивании  $\Delta Y$ .

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

$$\sum \Delta X_{\text{испр}} = \sum \Delta X_{\text{т}}; \quad \sum \Delta Y_{\text{испр}} = \sum \Delta Y_{\text{т}}.$$

Вычисляют координаты точек теодолитного хода по формулам

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{\text{испр}} \quad (7.13)$$

$$\text{и} \quad Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{\text{испр}} \quad (7.14)$$

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

$y_{i+1}$  и  $y_i$  – то же ординаты;

$\Delta X_{\text{испр}}$  и  $\Delta Y_{\text{испр}}$  – уравненные приращения между этими точками.

Контролем правильности вычисления координат точек теодолитного хода является равенство вычисленных и исходных координат. Результаты вычислений заносятся в графы 11 и 12 таблицы 7.1.

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. В какой последовательности уравнивают углы при обработке теодолитного хода?
2. Как вычисляются полученная и допустимая угловые невязки при обработке теодолитного хода?
3. Как вычисляются приращения координат при обработке теодолитного хода?
4. В какой последовательности уравнивают приращения координат при обработке теодолитного хода?
5. Как вычисляется теоретическая сумма углов замкнутого теодолитного хода?
6. Как вычисляется теоретическая сумма углов разомкнутого теодолитного хода?
7. От чего зависят знаки приращений координат?
8. Значения невязок в приращениях координат равны:  $f_x = 0,19$ ;  $f_y = -0,17$ . Периметр (длина) хода равна  $P = 697,12$  м. Вычислить относительную невязку и сравнить её с допустимой.



## ЛЕКЦИЯ 8

### 8.1. Построение контурного плана

Составление плана выполняют в следующем порядке:

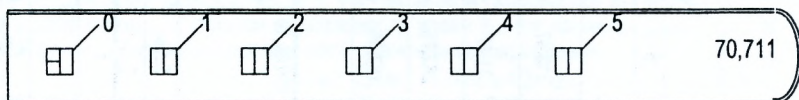
1. Построение координатной сетки.
2. Нанесение по координатам точек теодолитного хода.
3. Построение ситуационного плана по результатам теодолитной съемки.

### 8.2. Построение координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева

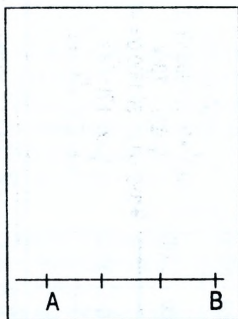
Линейка ЛД-1 (рис. 8.1 а) предназначена для построения сетки из двенадцати (3x4) или двадцати пяти (5x5) квадратов. Она изготовлена из металла и имеет шесть окошек-вырезов (0,1,2,3,4,5). Два ребра её (одно из длинных и торцевое в конце линейки) скошены для прочерчивания линий карандашом. В каждом окошке имеется скошенный край для прочерчивания по нему короткой линии. На скошенном крае нулевого окошка, сделанном по прямой, нанесен штрих, конечная точка которого, лежащая в нижней плоскости линейки, является центром дуг окружностей радиусами 10, 20, 30, 40 и 50 см, по которым сделаны скошенные края остальных окошек. Скошенный край торца линейки обработан по дуге окружности радиусом 70,711 см.

При построении сетки 3x4 квадратов используют свойство египетского треугольника. Координатную сетку строят следующим образом. Берут лист ватмана, отступив от нижнего края листа бумаги 4-6 см, проводят карандашом по скошенному ребру линейки тонкую линию АВ (рис. 8.1 б). Прочерчивают по скошенному краю первого окошка короткий штрих, пересекающий прямую в точке А, затем по скошенным краям остальных окошек проводят дуги радиусами 10, 20, 30 см, получают три равных отрезка по 10 см.

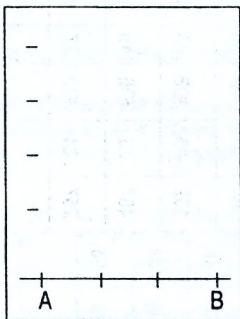
а)



б)



в)



г)

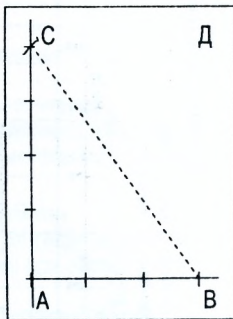


Рис. 8.1 Построение координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева

Кладут линейку примерно перпендикулярно к линии АВ, совмещая конец нулевого штриха линейки с точкой А, и по скошенным краям четырёх окошек проводят дуги радиусами 10, 20, 30 и 40 см (рис. 8.1 в). Теперь, совместив конец нулевого штриха с точкой В, засекают скошенным краем окошка 50 точку С и получают левую верхнюю вершину прямоугольника со сторонами 30 и 40 см (рис. 8.1 г)



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

### 8.3. Построение координатной сетки по диагоналям

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

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

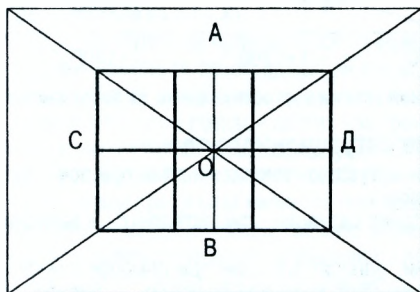


Рис. 8.2. Построение координатной сетки по диагоналям

От точки О пересечения диагоналей по всем четырём направлениям откладывают с помощью циркуля-измерителя одинаковые отрезки произвольной длины. Верхнюю и нижнюю (горизонтальные), а также левую и правую (вертикальные) стороны вспомогательного прямоугольника делят пополам, находят точки А и В, С и Д противоположных сторон прямоугольника. Соединяя их попарно, получают две взаимно перпендикулярные оси симметрии - вертикальную АВ и горизонтальную СД, которые должны пройти через точку О.

### 8.4. Построение точек по координатам

Вершины теодолитных ходов наносятся по прямоугольным координатам. Построение производится с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Оцифровка координатной сетки в соответствии с координатами точек теодолитного хода выполняется так, чтобы подписи были кратны 0,1 км для масштаба 1:1000 и 0,2 км для масштаба 1:2000. Следует помнить, что ось Х расположена с юга на север, а ось Y - с запада на восток. На рис. 8.3 подписи выполнены для масштаба 1:2000 применительно к координатам теодолитного хода (графы 11,12 таблица 7.1).

Точка 1 с координатами  $X_1=1000,00$  и  $Y_1=1000,00$  лежит на пересечении линий координатной сетки. Поэтому в точке пересечения линий координатной сетки иголкой циркуля-измерителя делается накол диаметром 0,1 мм и обводится окружностью диаметром 1,5 мм. При нанесении точки 2 находят квадрат, в котором должна располагаться данная точка. Точка 2 теодолитного хода с координатами  $X=1307,82$  м и  $Y=1054,30$  м. находится в квадрате **абвг** ( $X_0=1200$  и  $Y_0=1000$ ) (рис. 8.3). От точек а и г откладывают измерителем с помощью масштабной линейки отрезки  $\Delta x=1307,82$  м - 1200 м = 307,82 м и соединяют полученные точки линиями  $mn$ . От точки  $m$  по линии  $mn$  откладывают отрезок  $\Delta y=1054,30$  м - 1000 м = 54,30 м и получают точку 2 обоснования. Аналогично выполняют построение всех других точек съёмочного обоснования. Для контроля построений сравнивают расстояния между построенными точками с соответствующими горизонтальными проложениями между ними (графа 6, таблица 7.1).

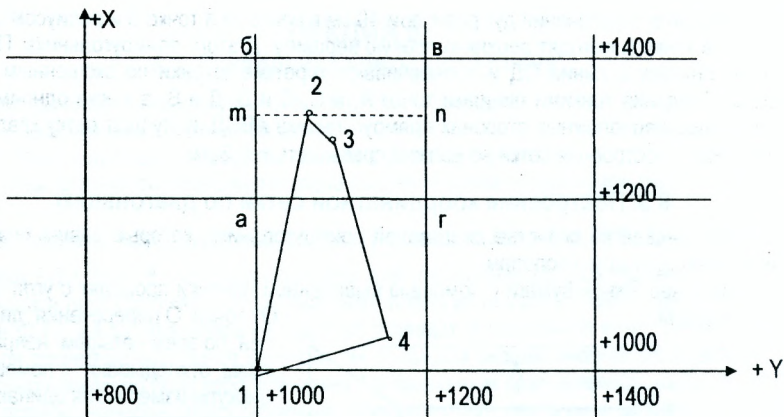


Рис. 8.3. Оцифровка координатной сетки и построение точек по координатам

### 8.5. Построение ситуационного плана

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

Построение на плане характерных точек ситуации осуществляется в зависимости от способа съемки (рис. 6.2).

Точки, снятые *полярным способом*, наносят на план при помощи транспортира и измерителя. Центр транспортира совмещают с точкой-полюсом, а нулевой диаметр транспортира направляют по исходному направлению. Карандашом отмечают полярный угол, после этого полярную точку с меткой. На этой линии от полюса откладывают в масштабе полярное расстояние. Все необходимые данные выбирают из абриса.

При способе *перпендикуляров* (прямоугольных координат) от начала опорной линии откладывают в масштабе расстояния до оснований перпендикуляров. В полученных точках при помощи транспортира восстанавливают перпендикуляры и откладывают на них отрезки, обозначенные на абрисе.

При способе *угловых засечек* нанесение точек на план выполняется при построении транспортиром углов на концах базисной линии. Пересечения сторон углов дает положение искомой точки.

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

Во всех случаях построения внимательно изучают абрис. Если форма контура вызывает сомнения, то необходимо на местности выносить дополнительные или контрольные измерения. При построении контуров все вспомогательные линии выполняют тонкими линиями, которые в последующем стирают. Значения углов и расстояний на план не выписывают.

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Каков порядок составления контурного плана?
2. Каков порядок построения координатной сетки с помощью линейки Ф.В. Дробышева?
3. Каков порядок построения координатной сетки по диагоналям?
4. Каков порядок построения точек теодолитного хода по координатам?
5. Как нанести на план характерные точки ситуации, снятые способом полярных координат?
6. Как нанести на план характерные точки ситуации, снятые способом перпендикуляров?
7. Как нанести на план характерные точки ситуации, снятые способом угловых засечек?
8. Как нанести на план характерные точки ситуации, снятые способом линейных засечек?
9. Как нанести на план характерные точки ситуации, снятые способом линейных засечек?

## ЛЕКЦИЯ 9

### 9.1. Общие понятия о геодезических измерениях

В геодезии различают три вида основных измерений.

1. Линейные измерения – определение горизонтальных расстояний между точками на земной поверхности.

2. Нивелирование – определение превышений между точками на земной поверхности с целью вычисления высот точек.

3. Угловые измерения – измерение горизонтальных и вертикальных углов.

Измерить величину  $X$  это значит сравнить её с однородной ей величиной  $g$ , принятой за единицу меры. Результатом измерений является величина  $l$  почти никогда не равная величине  $X$ . Разность между истинным значением  $X$  и результатом измерения  $l$  называется **погрешностью** ( $\Delta = l - X$ ).

Все измерения делят на прямые и косвенные. При прямых измерениях измеряемая величина сравнивается со своей единицей меры. Например, рулеткой с сантиметровыми делениями можно определить ширину аудитории. При косвенных измерениях результат вычисляется при помощи других измеренных величин. Например, длину окружности можно вычислить, измерив её радиус ( $C=2\pi R$ ).

Измерения делят на необходимые и избыточные. Так, если одна и та же величина измерена  $n$  раз, то один результат является необходимым, а все остальные  $(n-1)$  – избыточными. Избыточные измерения имеют важное значение. Они являются *средством контроля* и позволяют судить о *качестве* измерений. Они позволяют получить более надёжное значение измеренной величины по сравнению с отдельно взятым измерением. В любых геодезических измерениях обязательно присутствуют избыточные измерения.

### 9.2. Погрешности результатов измерения

Опыт показывает, что многократные измерения одной и той же величины несколько отличаются друг от друга и от истинного значения измеряемой величины. Это происходит из-за того, что все измерения неизбежно сопровождаются погрешностями.

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

$$\Delta = l - X. \quad (9.1)$$

Все погрешности делят на *грубые, систематические и случайные*.

**Грубые погрешности** являются следствием промахов, просчётов, невнимательности исполнителя и т. д. Грубые погрешности исключают путём повторных измерений и вычислений.

**Систематические погрешности** входят в результат измерений по заранее известному закону. Причины появления систематических погрешностей в каждом отдельном случае должны быть изучены. Систематические погрешности исключаются из результатов измерений путём введения поправок.

**Случайные погрешности** являются неизбежными, устранить их влияние невозможно. Они возникают в результате взаимодействия различных факторов: наблюдатель, инструмент, внешние факторы.

В теории погрешностей измерений рассматриваются результаты измерений, содержащие только случайные погрешности.

Случайные погрешности имеют следующие важные свойства:

1) они по абсолютной величине не превышают известного предела;

2) равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку случайные погрешности встречаются одинаково часто;

3) малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;

4) среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при неограниченном количестве измерений.

Последнее свойство можно выразить математически. Пусть величина  $X$  многократно измерена и получены результаты:

$$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n,$$

а случайные погрешности этих измерений:

$$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n.$$

Согласно четвёртому свойству можно записать:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0, \quad (9.2)$$

здесь  $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$ ;

Знак  $[\ ]$  называется *Гауссова сумма* и используется в теории погрешностей.

### 9.3. Арифметическая средина

Пусть имеется ряд измерений одной и той же величины  $X$ . Можно записать:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= l_1 - X \\ \Delta_2 &= l_2 - X \\ \Delta_3 &= l_3 - X \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= l_n - X \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

Сложим равенства (9.3), разделим на  $n$  — количество измерений, получим:

$$\frac{[\Delta]}{n} - X = \frac{[\Delta]}{n}, \quad (9.4)$$

учитывая (9.2), получим:

$$\frac{[\Delta]}{n} - X = 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty,$$

обозначим  $\frac{[\Delta]}{n} = X_0$  — *арифметическая средина*.

Следовательно 
$$\lim_{n \rightarrow \infty} X_0 = X, \quad (9.5)$$

*т.е. арифметическая средина стремится к её истинному значению при большом количестве измерений.*

### 9.4. Средняя квадратичная погрешность одного измерения. Предельная погрешность

По отдельно взятым случайным погрешностям сложно судить о качестве измерений. поэтому для оценки точности в геодезии применяется формула Гаусса средней квадратической погрешности

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (9.6)$$

где  $[\Delta^2] = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2$ ;  
 $\Delta_i = l_i - X \quad (i=1, 2, 3, \dots)$ .



Истинное значение  $X$  во многих случаях неизвестно. Поэтому для оценки качества одного измерения часто используется формула Бесселя

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} \quad (9.7)$$

Здесь  $v_i$  – вероятнейшие погрешности. Они получаются как разность

$$v_i = l_i - X_0,$$

где  $X_0$  – арифметическая средина, а арифметического среднего  $m_x$  по формуле

$$m_x = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (9.8)$$

Пример 9.1. Линия измерена шесть раз. Определить её вероятнейшую длину и оценить точность этого результат.

№ п/п.	Длина линии, м	$v_i$ , см	$v^2$	Формулы и вычисления
1	225,26	+6	36	$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$ $m = \pm \sqrt{\frac{158}{6-1}} = 5,6 \text{ см}$
2	225,23	+3	9	
3	225,22	+2	4	
4	225,14	-6	36	
5	225,23	+3	9	$m_x = \pm \frac{m}{\sqrt{n}}$ $m = \pm \frac{5,6}{\sqrt{6}} = 2,3 \text{ см}$
6	225,12	-8	64	
$X_0 = 225,20$		$[v] = 0$	$[v^2] = 158$	

Точность измерения длины линии необходимо оценивать относительной погрешностью. Относительная погрешность вероятнейшего значения измеренной линии будет

$$f_{\text{отн}} = \frac{m_x}{X_0} = \frac{2,3}{22520} = \frac{1}{9800}$$

В теории погрешности доказано, что случайные погрешности превышающие величину  $2m$  встречаются редко ( в пяти из ста ), а превышающие  $3m$  только в трёх случаях из тысячи измерений. Поэтому за предельную погрешность в геодезии принимают либо

$$\Delta_{\text{пред}} \leq 2m \quad (9.9)$$

с вероятностью 95,5%, либо

$$\Delta_{\text{пред}} \leq 3m \quad (9.10)$$

с вероятностью 99,7%.

## 9.5. Средняя квадратичная погрешность функций измеренных величин

Пусть для определения значения величины «у» измерены другие величины  $x, u, z, \dots$ , с которыми измеряемая величина связана функциональной зависимостью

$$y = f(x, u, z, \dots) \quad (9.11)$$

Примером такой функции может служить определение неприступного расстояния:

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta} \quad \text{т.е. } d = f(a, b, \beta).$$



Если средние квадратичные погрешности измеренных величин известны  $m_x, m_u, m_z \dots$ , то средняя квадратичная погрешность определяемой величины выражается формулой

$$m_y^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)^2 m_u^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \dots, \quad (9.12)$$

где  $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial u}, \frac{\partial f}{\partial z} \dots$  частные производные от функции, которые вычисляются со значениями измеренных аргументов  $x, u, z \dots$ .

Наиболее часто встречающиеся варианты формулы (9.12) для частных случаев функции  $y$  приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1 Средние квадратичные погрешности функций измеренных величин

№ функции	Вид функции	Средняя квадратичная погрешность
1	$y = kx$ k-постоянное число	$m_y = km_x$
2	$y = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots$	$m_y = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots}$
3	$y = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots$	$m_y = \pm \sqrt{k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + \dots}$

Пример 9.2.

Измерен радиус окружности с точностью  $m_R = \pm 0,1$  мм. Определить с какой точностью вычислена длина окружности  $m_C$ .

Известно, что  $C = 2\pi R$ , т.е.  $m_C = \pm 2\pi m_R$  или  $m_C = \pm 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \text{ мм} \approx \pm 0,63 \text{ мм}$

Пример 9.3.

Для определения площади треугольника измерены две стороны треугольника  $a = 30$  м и  $b = 40$  м с одинаковой точностью  $m_a = m_b = m = \pm 0,10$  м и угол  $\beta = 45^\circ$  между ними с точностью  $m_\beta = \pm 1'$ . Определить относительную погрешность определения площади треугольника.

Известно, что площадь треугольника в этом случае определяется формулой

$$P = \frac{1}{2} ab \sin \beta = 424,3 \text{ м}^2$$

Найдём частные производные по аргументам  $a, b$  и  $\beta$ , получим

$$\frac{\partial P}{\partial a} = \frac{1}{2} b \sin \beta; \quad \frac{\partial P}{\partial b} = \frac{1}{2} a \sin \beta; \quad \frac{\partial P}{\partial \beta} = \frac{1}{2} ab \cos \beta.$$

Далее, согласно (9.12) имеем

$$m_p^2 = \frac{1}{4} b^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot m^2 + \frac{1}{4} a^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot m^2 + \frac{1}{4} a^2 \cdot b^2 \cdot \cos^2 \beta \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$$

Здесь  $\rho = 3438'$  - число минут в радиане.

Подставив в это выражение численные значения соответствующих величин, получим

$$m_p = \pm 2,5 \text{ м}^2 \text{ и } \frac{m_p}{P} \approx \frac{1}{170}.$$

## 9.6. Понятие о неравноточных измерениях

Измерения одной и той же величины называют неравноточными, если они выполнены различным количеством приёмов или различными по точности инструментами, в различных условиях.

Для обработки неравноточных измерений вводится понятие веса. **Весом** называют число, которое выражает степень доверия к результату измерения. В тех случаях, когда веса измеренных величин неизвестны, а известны их средние квадратические ошибки, то веса можно вычислить по формуле

$$p = \frac{c}{m^2}, \quad (9.13)$$

где  $c$  – любое постоянное число.

Так, если имеем ряд измерений  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ , полученный со средними квадратичными погрешностями  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ . Определим соответствующие им веса:

$$p_1 = \frac{c}{m_1^2}; \quad p_2 = \frac{c}{m_2^2}; \quad \dots; \quad p_n = \frac{c}{m_n^2}.$$

В этом случае среднее весовое находят по формуле:

$$L_0 = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots + P_n \cdot l_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{[P]l}{[P]}. \quad (9.14)$$

Контролем правильности вычисления среднего весового является  $[PV]=0$ .

где  $V_1=L_0 - l_1; V_2=L_0 - l_2; \dots; V_n=L_0 - l_n$ .

Среднюю квадратичную погрешность одного измерения находят по формуле

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[PV^2]}{n-1}}, \quad (9.15)$$

а среднюю квадратичную погрешность средневесового  $L_0$  по формуле

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}}. \quad (9.16)$$

#### Пример 9.4.

Результаты пяти измерений угла приведены в таблице 9.2. Каждый результат измерений получен как среднее из нескольких приёмов. Определить среднее весовое значение угла, выполнить оценку точности результатов измерений.

Таблица 9.2 Оценка точности результатов неравноточных измерений

номер измерения $i$	Результат измерения $l_i$	Число приёмов $n$	Вес $P_i = n/2$	$V_i''$	$P_i V_i''$	$P_i V_i^2$	Вычисления
1	$15^{\circ}36'35''$	6	3	+4,7"	+14,1	66,27	$\mu = \pm \sqrt{\frac{[210,77]}{5-1}} =$ $= \pm 7,2''$ $M = \pm \frac{7,9}{\sqrt{13}} = \pm 2,2''$
2	$34''$	2	1	+5,7"	+5,7	32,49	
3	$41''$	6	3	-1,3"	-3,9	5,07	
4	$40''$	8	4	-0,3"	-1,2	0,36	
5	$47''$	4	2	-7,3"	-14,6	106,58	
$L_0 = 15^{\circ}36'39,7''$		$[P]=13$		$[PV]=0,1$	$[PV^2]=210,77$		

Определим вес измерений. За единицу веса примем вес результата, полученного двумя приёмами.

По формуле (9.14) найдём средневесовое значение угла

$$L_0 = 15^{\circ}36'30'' + \frac{5 \cdot 3 + 4 \cdot 1 + 11 \cdot 3 + 10 \cdot 4 + 17 \cdot 2}{3 + 1 + 3 + 4 + 2} = 15^{\circ}36'39,7''.$$

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. В чем главное различие между случайными и систематическими погрешностями измерений?
2. Какими свойствами обладают случайные погрешности?
3. Почему среднее арифметическое из результатов равноточных измерений является вероятнейшим значением измеряемой величины?
4. Как вычисляют истинные и вероятнейшие погрешности? Каким свойством обладает сумма вероятнейших погрешностей и как это свойство используется при обработке результатов геодезических измерений?
5. Точность измерения каких величин оценивают абсолютной и относительной погрешностями? Как представляют относительную погрешность в геодезии?
6. Что такое предельная погрешность и как ее определяют в зависимости от доверительной вероятности?
7. Как обрабатывают результаты многократных равноточных измерений?
8. Как обрабатывают результаты неравноточных измерений?

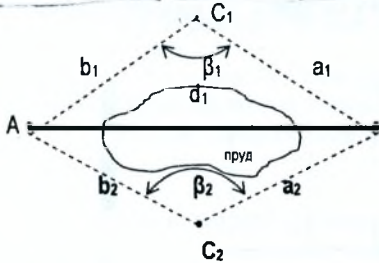
## ЛЕКЦИЯ 10

### 10.1. Линейные измерения

Измерение расстояний производят непосредственным или косвенным методами.

При непосредственном методе мерный прибор (рулетка, мерная лента) укладывают в створ измеряемого отрезка.

При косвенном методе измеряют вспомогательные параметры (углы, базисы, физические параметры), а длину отрезка вычисляют по формулам например,



если по линии АВ отсутствуют условия для непосредственного измерения, то измеряют длины линий  $a_1$  и  $b_1$ , горизонтальный угол  $\beta_1$ , (рис. 10.1), а длину линии вычисляют по

$$\text{В формуле: } d_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2a_1b_1 \cos \beta_1} \quad (10.1)$$

Рис. 10.1. Схема измерения недоступных расстояний

Для контроля и повышения точности с противоположной стороны препятствия строят другой треугольник и измеряют длины линий  $a_2$  и  $b_2$ , горизонтальный угол  $\beta_2$  и вычисляют  $d_2$ . Подсчитывают абсолютную и относительную погрешности

$$\left. \begin{aligned} \Delta d &= |d_2 - d_1| \\ \text{и} \\ f_{\text{отн}} &= \frac{\Delta d}{d} \end{aligned} \right\} \quad (10.2)$$

если  $f_{\text{отн}}$  не превышает допустимого значения, находят среднее значение  $d$ .

Для непосредственного измерения линий на местности используют землемерные ленты со шпильками (рис. 10.2), рулетки, мерные тросы. Землемерные ленты бывают:

- Штриховые ЛЗ-20, ЛЗ-50 длиной 20м и 50м.
- Шкаловые ЛЗШ-20, ЛЗШ-50 длиной 20м и 50м.

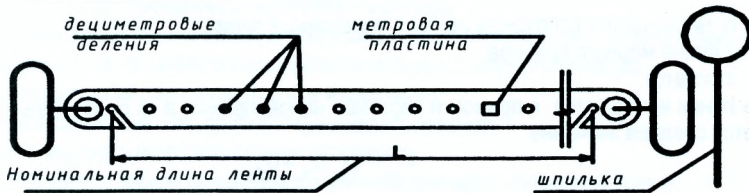


Рис. 10.2. Штриховая лента

Для измерения длин линий с повышенной точностью используют шкаловые ленты, на которых нанесены сантиметровые деления. В комплект с лентой входят 6 шпилек.

Под влиянием различных факторов (времени, температуры и т.п.) длина мерного прибора изменяется. Поэтому перед началом и в конце полевого цикла мерные приборы компарировать. Компарирование – определение фактической длины мерного прибора путём сравнения с эталоном.

Сравнение производят на ровной поверхности путём непосредственного измерения разности длин. В этом случае длину мерного прибора  $l$  можно представить в виде суммы номинала  $l_0$  и поправки  $\delta_{lk}$

$$l = l_0 + \delta_{lk} \quad (10.3)$$

Измерение длин линий производят в следующей последовательности.

1. *Рекогносцировка* – предварительное ознакомление с местностью;
2. *Вешение линий* – установка вешек в створе измеряемой линии. Створом называют вертикальную плоскость, проходящую через конечные точки. Чтобы не закрывать видимость по створу, вешение выполняют «на себя», т.е. начинают с точки 1, затем устанавливают вешку 2 и т.д.

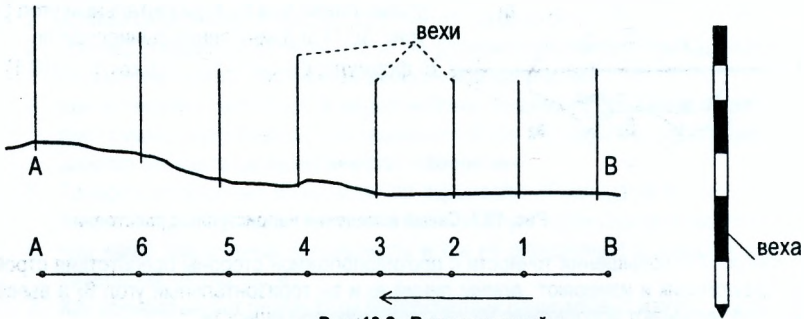


Рис. 10.3. Вешение линий

3. *Измерение длины линии.* Измерения выполняют два мерщика – задний и передний. В начале измерений передний мерщик берёт себе 5 шпильки из 6. Задний мерщик втыкает шестую шпильку в центр колышка и закрепляет за неё конец ленты и направляет переднего мерщика по линии АВ. Передний мерщик встряхивает ленту, натягивает её с усилием примерно в 10 кг и фиксирует длину ленты шпилькой. Задний мерщик вынимает шпильку, а передний протягивает ленту вперёд для измерения следующего отрезка. Задний мерщик, подойдя к оставленной в земле шпильке, зацепляет за неё конец ленты и т.д. последний отрезок (остаток) измеряется с точностью 0,01 м. Длину линии  $D$  вычисляют по формуле:

$$D = n \cdot l + r, \quad (10.4)$$

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

$l$  – длина мерного прибора;

$r$  – остаток.

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

$$D = \frac{D_{пр} + D_{обр}}{2}. \quad (10.5)$$

Точность измерения линий характеризуется следующими относительными погрешностями:

- $\frac{1}{3000}$  – благоприятные условия (асфальт, бетон, твёрдая подстилающая поверхность);
- $\frac{1}{2000}$  – обычные условия (поле с мелкой луговой растительностью и т.п.);
- $\frac{1}{1000}$  – неблагоприятные условия (кустарник, высокая трава, кочки).



**Пример 10.1.** Длина линии измерена в прямом и обратном направлениях. Получены результаты:  $D_{пр} = 212,86\text{м.}$ ;  $D_{обр} = 212,74\text{м.}$  Условия измерений хорошие. Найти абсолютную и относительные погрешности измерений и оценить результаты измерений.

Абсолютная погрешность равна:  $\Delta D = D_{пр} - D_{обр} = 212,86 - 212,74 = 0,12\text{м.}$

Окончательная длина линии равна:  $D = \frac{212,86 + 212,74}{2} = 212,80\text{м.}$

Относительная погрешность равна:  $\frac{\Delta D}{D} = \frac{0,12}{212,80} = \frac{1}{1773} > \frac{1}{2000}$ .

Относительная погрешность больше предельно допустимой, следовательно, линию необходимо измерить заново.

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

- Поправка  $\delta D_K$  за компарирование мерного прибора

$$\delta D_K = D - D_0 = \frac{D_0}{l_0} \delta l_K \quad (10.6)$$

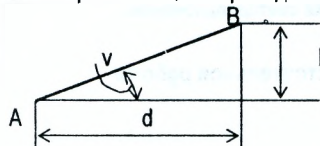
- Поправка  $\delta D_t$  за температуру мерного прибора

$$\delta D_t = D - D_0 = \alpha (t - t_0) D_0 \quad (10.7)$$

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

$$d = D \cos v; \quad (10.8)$$

$$\delta D_{v,h} = d - D = -D(1 - \cos v) = -2D \sin^2\left(\frac{v}{2}\right); \quad (10.9)$$



$$\delta D_{v,h} = -\frac{h^2}{2D} \quad (10.10)$$

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

Окончательное горизонтальное проложение линии с учётом всех поправок равно:

$$d = D_0 + \delta D_K + \delta D_t + \delta D_{v,h} \quad (10.11)$$

В приведенных формулах

$l_0$  – длина номинала;

$\delta l_K$  – поправка за компарирование мерного прибора;

$D_0$  – длина линии, вычисленная с номинальным значением длины мерного прибора;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала мерного прибора;

$t$  – температура мерного прибора при измерениях;

$t_0$  – температура мерного прибора при компарировании;

$v$  – угол наклона измеряемой линии к горизонту;

$h$  – превышение между начальной и конечной точками измеряемой линии.

## 10.2. Общие сведения о светодальномерах

Светодальномер – электронно-оптический прибор, предназначенный для измерения расстояний с использованием световых волн. Измерение расстояния  $D$  светодальномером сводится к следующему: на одной из конечных точек  $A$  (рис. 10.4) устанавливается приёмопередатчик 1, который излучает электромагнитные колебания и направляет их на отражатель 2, расположенный в точке  $B$ . Отражатель принимает световой поток и направляет его обратно в точку  $A$ . Приёмопередатчик фиксирует моменты выхода  $t_1$  и

возвращения  $t_2$  светового потока. Таким образом, световой поток в интервале времени  $t_{20} = t_2 - t_1$ , пройдёт расстояние  $D$  в прямом и обратном направлениях. Зная скорость  $v$  распространения электромагнитных колебаний, можно выразить формулой

$$D = \frac{v \cdot t_{20}}{2} \quad (10.12)$$

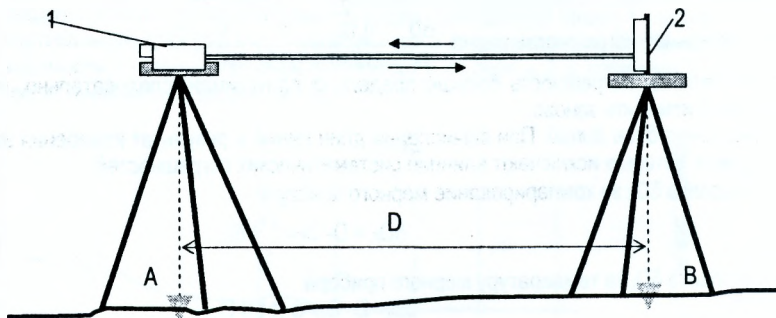


Рис. 10.4. Схема измерения расстояния светодальномером

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как измерить неприступное расстояние?
2. Что такое компарирование мерного прибора?
3. Что такое рекогносцировка местности?
4. Для чего производится вешение линий при измерении расстояний?
5. Длина линии измерена в прямом и обратном направлениях. Получены результаты:  $D_{пр} = 112,65 \text{ м}$ ;  $D_{обр} = 112,61 \text{ м}$ . Условия измерений хорошие. Найти абсолютную и относительные погрешности измерений и оценить результаты измерений.
6. Какие поправки вводятся в результаты измерений при вычислении длин линий?
7. Почему поправка за наклон линии к горизонту всегда отрицательна?



Она представляет стеклянную пластинку в металлической оправе, крепится между объективом и окуляром при помощи исправительных винтов 6 и может перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях за счёт зазора 11. Исправительные винты закрыты защитным колпаком 7. На сетке нанесены четыре штриха (рис. 11.2), два из которых наиболее длинные 7 и 8, которые называются горизонтальной и вертикальной нитью соответственно. Пересечение этих нитей (точка С) называется пересечением сетки нитей. Две другие, более короткие, 9 и 10 называются дальномерными. Они предназначены для измерения расстояний. Чёткость изображения сетки (установка трубы по глазу) достигается изменением расстояния между сеткой и окуляром при помощи диоптрийного кольца 8 (рис. 11.1).

Зрительная труба имеет две оси: визирную и оптическую.

Прямая, соединяющая оптический центр объектива  $O_1$  с центром сетки нитей С, называется **визирной осью зрительной трубы**, её положение можно изменять винтами 6.

Прямая, соединяющая оптические центры объектива  $O_1$  и окуляра  $O_2$ , называется **оптической осью зрительной трубы**.

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

$$v = \frac{f_{об}}{f_{ок}}, \quad (11.1)$$

$$\text{или } v = \frac{D}{d}, \quad (11.2)$$

где  $D$  – диаметр объектива;  $d$  – диаметр окуляра.

Трубы геодезических приборов имеют увеличение от 15 до 50X и более.

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

## 11.2. Уровни

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

**Цилиндрический уровень** (рис. 11.3 а) представляет собой стеклянную трубку (ампулу) 1, внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определённого радиуса. Радиус кривизны в зависимости от назначения уровня бывает от 3,5 до 200 м. Стеклянная трубка заполняется нагретым до  $+60^\circ$  спиртом 2 или эфиром и запаивается. После охлаждения жидкость сжимается и в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называется пузырьком уровня 3, точка О в средней части ампулы называется нуль-пунктом уровня. Прямая  $UU$ , касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте, называется осью цилиндрического уровня.

Изготовленная таким образом ампула вставляется в металлическую оправу, один конец из которой (5) скреплен с прибором при помощи шарнира, а другой (6) при помощи винтов (7), которые называются исправительными винтами уровня. На верхней части ампулы нанесены деления длиной  $\ell = 2$  мм. Центральный угол, который стягивается дугой в одно деление, называется ценой деления уровня (рис. 11.3 б)

$$\tau = \frac{\ell \cdot \rho}{R}, \quad (11.3)$$

где  $\ell$  – линейная величина одного деления уровня;  $\rho = 206265$  – число секунд в радианах;  $R$  – радиус дуги внутренней поверхности.



В геодезических инструментах используются цилиндрические уровни от 6" до 60".

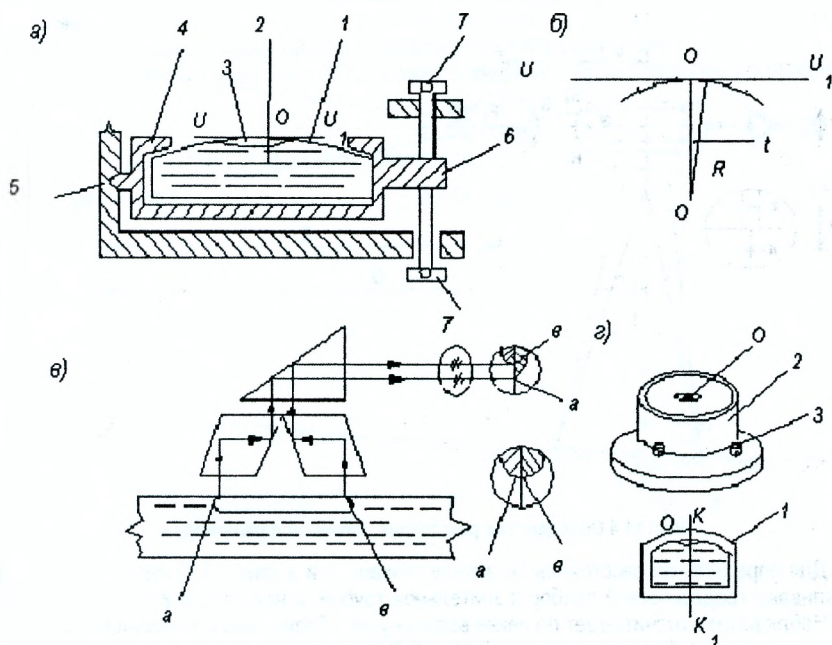


Рис. 11.3. Уровни

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

Для повышения точности приведения уровня в нуль-пункт применяют контактные уровни (рис. 11.3 в). Это призмочно - оптическая система, которая передаёт изображение двух концов "а" и "в" пузырька уровня в окуляр трубы. В окуляре видны два конца пузырька, разделённые оптической гранью призмы. Пузырёк считается установленным в нуль-пункт, если его концы видны совмещёнными.

**Круглый уровень** (рис. 11.3 г) представляет собой стеклянную ампулу с отшлифованной внутренней сферической поверхностью определённого радиуса. За нуль-пункт  $O$  круглого уровня принимается центр окружности, выгравированной в середине верхней поверхности ампулы. Ось круглого уровня является нормаль  $KK_1$ , проходящая через нуль-пункт  $O$  перпендикулярно к плоскости, касательной внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте. Ампула вставляется в металлическую оправу (2), которая крепится к прибору тремя винтами (3). Винты называются исправительными. Круглый уровень имеет, как правило, небольшую чувствительность (цена деления порядка 3-5') и применяется для предварительной установки прибора.



### 11.3. Нитяной дальномер

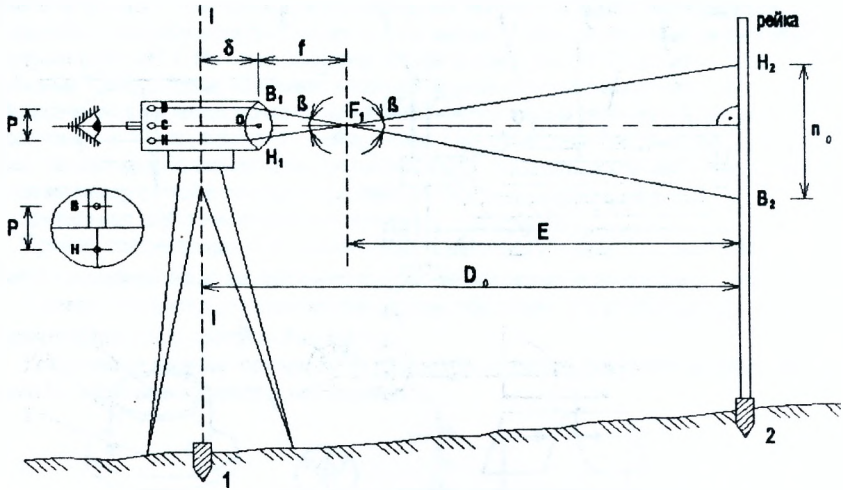


Рис. 11.4 Определение расстояния нитяным дальномером

Для определения расстояния  $D_0$  между точками 1 и 2 (рис. 11.4) над точкой 1 устанавливают геодезический прибор с зрительной трубой, а над точкой 2 нивелирную рейку. Наблюдатель отсчитывает по рейке величину  $p_0$  – базис, число делений между штрихами сетки В и Н. В треугольниках  $F_1B_1H_1$  и  $F_1B_2H_2$  величины  $\beta$  – угол;  $f$  – фокусное расстояние объектива,  $P=V_1H_1$  – расстояние между дальномерными нитями сетки являются постоянными для данной зрительной трубы. Величина  $p_0$  – зависит от удаления рейки от прибора. Из подобия этих треугольников можно составить равенство

$$\frac{E}{p_0} = \frac{f}{P} \quad \text{или} \quad E = \frac{f}{P} \cdot p_0$$

или

$$E = k \cdot p_0,$$

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

Расстояние  $D_0$  между точками 1 и 2 можно выразить формулой:

$$D_0 = k p_0 + c, \quad (11.4)$$

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

В геодезических приборах  $k = 100$ .

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

$$D_0 = k p_0 \quad (11.5)$$

Формула  $D_0 = k \cdot p_0$  получена для случая, когда рейка установлена перпендикулярно к визирной оси трубы.

При измерениях наклонных расстояний это условие нарушается, т.к. рейку устанавливают вертикально и при наклонном положении визирной оси (рис. 11.5). В этом случае

вместо отсчёта  $n_0 = H_2 B_2$  по рейке измеряется расстояние  $n = H'_2 B'_2$ . Треугольники  $O_1 H_2 H'_2$  и  $O_1 B_2 B'_2$  можно считать прямоугольными, из которых можно записать

$$n_0 = n' \cdot \cos v, \quad (11.6)$$

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

Из прямоугольного треугольника  $BCO_1$  можно определить горизонтальное проложение линии  $d$

$$d = D_0 \cdot \cos v. \quad (11.7)$$

Формула (11.7) с учётом (11.5) и (11.6) примет вид

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (11.8)$$

где  $D = k \cdot n$ .

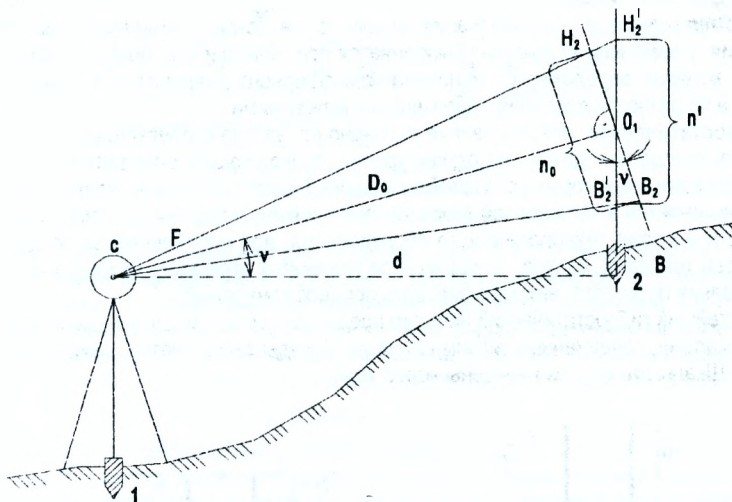


Рис. 11.5. Приведение наклонных расстояний, измеренных нитяным дальномером, к горизонту

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

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как выполняется установка зрительной трубы по глазу?
2. Что называется визирной осью зрительной трубы?
3. Что называется осью цилиндрического уровня?
4. Что называется осью круглого уровня?
5. Как определить расстояние при помощи нитяного дальномера?
6. Как привести наклонное расстояние, измеренное при помощи нитяного дальномера, к горизонту?

## ЛЕКЦИЯ 12

### 12.1. Нивелирование

Нивелирование - вид геодезических измерений, в результате которых определяются разности высот (превышения) точек земной поверхности с целью вычисления высот (отметок) над принятой уровенной поверхностью. По методам нивелирование подразделяется на:

- Геометрическое;
- Тригонометрическое;
- Гидростатическое;
- Барометрическое.

**Барометрическое** нивелирование основано на законе изменения атмосферного давления с изменением высоты. Выполняется при помощи микробарометров, по показаниям которых определяется величина атмосферного давления в соответствующих точках, а по разности давлений - превышение между ними.

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

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

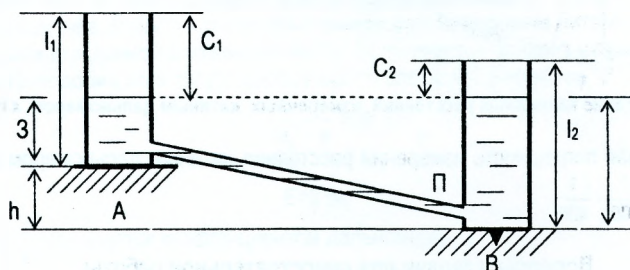


Рис. 12.1. Гидростатическое нивелирование

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

$$h = 3 - \Pi = (l_1 - C_1) - (l_2 - C_2) = (C_2 - C_1) - (l_2 - l_1). \quad (12.1)$$

Для любого гидростатического нивелира разность  $l_2 - l_1$  является постоянной величиной; эту величину называют местом нуля и обозначают через  $MO$ . Тогда

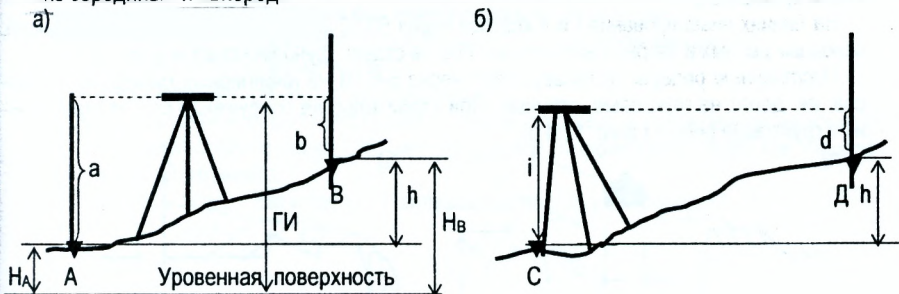
$$h = C_2 - C_1 - MO. \quad (12.2)$$

## 12.2. Сущность геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование производится горизонтальным визирным лучом, который получают при помощи прибора, называемого – нивелир.

Различают два способа геометрического нивелирования (рис. 12.2)

«из середины» и «вперёд»



а) Нивелирование «из середины»

б) нивелирование «вперёд»

Рис. 12.2. Геометрическое нивелирование

При нивелировании из середины (рис. 12.2 а) в точках А и В устанавливаются отвесно нивелирные рейки, а посередине между ними – нивелир. Визирную ось зрительной трубы по уровню приводят в горизонтальное положение перед каждым отсчётом, берут отсчёт «а» по рейке, установленной в точке А и «b» - в точке В. Если нивелирование выполняется по направлению от точки А к точке В, то рейку в точке А считают задней, а в точке В - передней. Превышение вычисляется по правилу «*взгляд назад минус взгляд вперёд*»

$$h = 3 - П = a - b. \quad (12.3)$$

Для определения превышения способом «вперёд» (рис. 12.2 б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился на одной отвесной линии с точкой С. Приводят визирную ось в горизонтальное положение, измеряют при помощи нивелирной рейки высоту инструмента  $i$  и производят отсчёт  $d$  по рейке, установленной в точке Д. Превышение равно

$$h = i - d. \quad (12.4)$$

Следует отметить, что нивелирование «из середины» более предпочтительно. Методика исключает ряд погрешностей, которые неизбежны при нивелировании.

## 12.3. Способы вычисления отметок точек

По известной отметке  $H_A$  точки А можно вычислить отметку второй точки  $H_B$  через превышение или через горизонт инструмента (рис. 12.2 а).

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

$$H_B = H_A + h. \quad (12.5)$$

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

$$ГИ = H_A + a, \quad (12.6)$$

$$H_B = ГИ - b, \quad (12.7)$$

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



## 12.4. Нивелирные знаки

Нивелирные знаки служат для обозначения и сохранения на местности точек с известными высотами. Точки, высоты которых определены в процессе нивелирования, закрепляют нивелирными знаками – *реперами*. Их делят на фундаментальные, постоянные и временные.

На линиях нивелирования I и II классов через 50-60 км вблизи урвнмерных станций, основных речных и озёрных водомерных постов ставят *фундаментальные* реперы.

*Постоянные* реперы устанавливают через 5-6 км на нивелирных линиях всех классов, их делят на грунтовые, стенные. При строительстве сооружений ставят строительные грунтовые реперы (рис. 12.3 а).

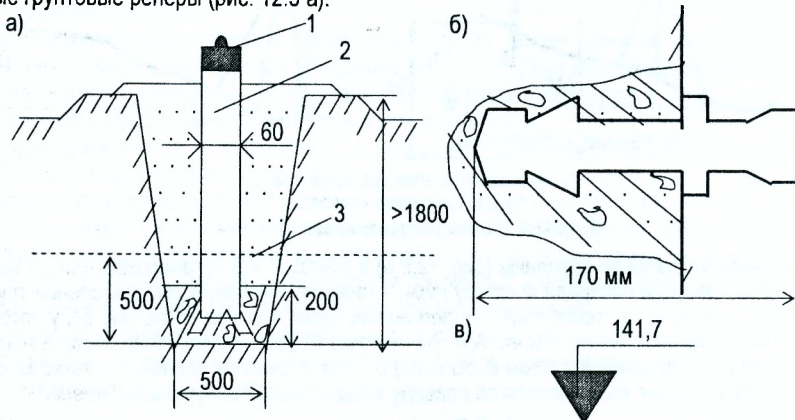


Рис. 12.3. Нивелирные знаки

Стенные реперы (рис. 12.3 б) закладывают в стены массивных сооружений, в устои мостов и гидротехнических сооружений: плотин, шлюзов, насосных станций.

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

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

В процессе строительства высоты иногда закрепляют на существующих конструкциях несмываемой краской в виде треугольника, верхнее основание которого соответствует определённой высоте (рис. 12.3 в).

На площади, занятой мелиоративной системой, надо поставить столько постоянных реперов, чтобы наибольшее расстояние от любой точки системы до ближайшего репера было не более 700 м, т.е. на каждые 100 га надо устанавливать по реперу. При изысканиях вдоль рек и каналов реперы ставят около водомерных постов, у сужений русла. У переправ и порогов, около островов, при устьях впадающих рек и суходолов, около существующих и в местах проектируемых сооружений, предусматривая его будущую сохранность.

*Временные знаки* устанавливают на период топографических съёмки. В качестве временных знаков используют колья длиной около 0,5-1,0 м, гвозди – дюбели, забитые в строения, деревянные опоры связи, в деревья, мосты и т.п.



### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Какие существуют методы нивелирования?
2. Назовите способы геометрического нивелирования.
3. Где применяется гидростатическое нивелирование?
4. В чём сущность гидростатического нивелирования?
5. Как вычисляют превышения при нивелировании «из середины»?
6. Как вычисляют превышения при нивелировании способом «вперёд»?
7. Как вычисляются отметки точек?
8. Что называется горизонтом инструмента?
9. Отметка точки Р равна  $H_P = 51,098$  м. Отсчёты по рейке, установленной на точке Р, равны: по чёрной стороне рейки 1307 мм; по красной стороне рейки 6092 мм. Определить горизонт инструмента.
10. Что такое репер? Как и где устанавливаются постоянные реперы?

## ЛЕКЦИЯ 13

### 13.1. Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования

При геометрическом нивелировании используют следующие приборы и принадлежности:

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

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

Таблица 13.1 Технические характеристики точных и технических нивелиров

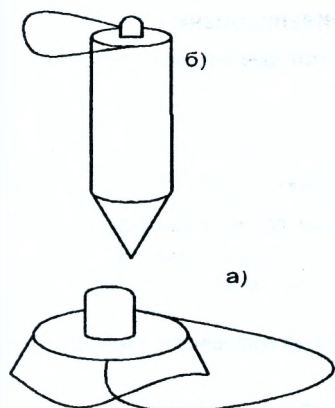
Показатели	Тип нивелира			
	Н-3	Н-3К	Н-10	Н-10КЛ
1) Средняя квадратическая погрешность, мм: на 1 км хода	3	3	10	10
на станции при расстоянии до реек до 100м	2	2	5	5
2) Увеличение зрительной трубы, крат	30	30	20	20
3) Коэффициент нитяного дальномера	100	100	100	100
4) Цена деления уровня: Круглого, мин	10	10	10	10
Цилиндрического, с	10	-	45	-
5) Масса, кг	3	-	2	-

**Штатив** предназначен для установки нивелира в рабочее положение и представляет собой треногу со станочным винтом. При помощи последнего нивелир крепится к штативу. Штативы могут быть как деревянные, так дюралюминиевые, с раздвижными ножками или цельные.

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

На одной стороне рейки нанесены черные шашечные сантиметровые деления (сторона называется основной), на другой стороне красные – дополнительная. Ноль деления черной стороны совмещен с опорной плоскостью (пяткой рейки) – жестко скрепленной с рейкой. На красной стороне с плоскостью пятки совпадает отсчет 4685мм или 4785мм. *Разность нулей пятки рейки* – разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки.

**Костыли и башмаки** предназначены для закрепления связующих и иксовых точек.



Костыли представляют собой металлический стержень диаметром 3-5см и длиной около 30см с ручкой для переноса (рис. 13. 1 б). Используются при нивелировании по мягкому грунту. Башмаки представляют собой металлическую плиту весом около 5кг с выпуклостью для постановки рейки (рис. 13.1 а). Используются при нивелировании по асфальту или бетону.

а)- башмак;  
б)- костыль.

Рис. 13.1. Приспособления для нивелирования

### 13.2. Программа работы на станции при техническом нивелировании

Работу на станции выполняют в следующей последовательности:

1. На крайние (связующие) точки нивелируемой линии устанавливают нивелирные рейки, а примерно на равном удалении от них – нивелир.
2. Нивелир приводят в рабочее положение, наводят трубу на заднюю точку и берут отсчёт по чёрной стороне рейки.
3. Наводят трубу нивелира на переднюю точку и берут отсчёты сначала по чёрной, а затем по красной сторонам рейки.
4. Снова наводят нивелир на заднюю рейку и берут отсчёт по красной стороне рейки.
5. Для контроля вычисляют разности нулей (РО) пяток реек задней -  $PO_3=3_k-3_ч$  и передней -  $PO_n=П_k-П_ч$ . *Расхождения разностей нулей пяток реек по абсолютной величине не должны превышать 5 мм.*
6. Вычисляют значения превышений, определяемые по чёрной и красной сторонам реек  $h_ч=3_ч-П_ч$  и  $h_k=3_k-П_k$ . *Измерение превышения на станции считается выполненным правильно, если расхождения превышений по чёрной и красной сторонам реек не превышают 5 мм.*
7. Вычисляют значения средних превышений, которые округляют до целых миллиметров.

$$h_{ср.} = \frac{h_ч + h_k}{2} \quad (13.1)$$

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

Например, 1395,5 округляется до 1396;

1396,5 округляется до 1396;

1397,5 округляется до 1398;

1398,5 округляется до 1398.

8. Если кроме связующих точек необходимо дополнительно определить отметки промежуточных точек, то заднюю рейку последовательно устанавливают на этих точках, берут отсчёты только по чёрной стороне рейки и записывают их в графу 5 журнала технического нивелирования.

### 13.3. Точность технического нивелирования

Из программы технического нивелирования следует, что превышение на каждой станции определяется как

$$h = \frac{hk + hc}{2} \quad \text{или}$$

$$h = \frac{1}{2}(3ч - Пч + 3к - Пк), \quad (13.2)$$

где 3ч, Пч, 3к, Пк – отсчеты по задней и передней рейкам, соответственно по черной и красной сторонам.

Это функция вида

$$y = k(x_1 \pm x_2 \pm \dots),$$

а согласно теории погрешностей средняя квадратическая погрешность такой функции выражается формулой

$$m_y^2 = k^2(m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + m_{x_3}^2 + \dots).$$

Применительно к выражению (13.2) можно записать

$$m_h^2 = \frac{1}{4}(m_c^2 + m_{c'}^2 + m_k^2 + m_{k'}^2),$$

где  $m_h$  – средняя квадратическая погрешность среднего превышения;

$m_c = m_{c'} = m_k = m_{k'} = m_0$  – средние квадратические погрешности в отсчитывании по рейкам, следовательно  $m_h = \pm m_0$ , т.е. средняя квадратическая погрешность среднего превышения равна погрешности отсчитывания по рейке.

На погрешность отсчета по рейке влияют следующие основные источники:

1)  $m_r^0$  – погрешность из-за неточного приведения визирной оси в горизонтальное положение. Эта погрешность зависит от чувствительности уровня, которая в свою очередь зависит от цены деления уровня  $\tau$ .

$$m_r^0 = \pm 0.15\tau''$$

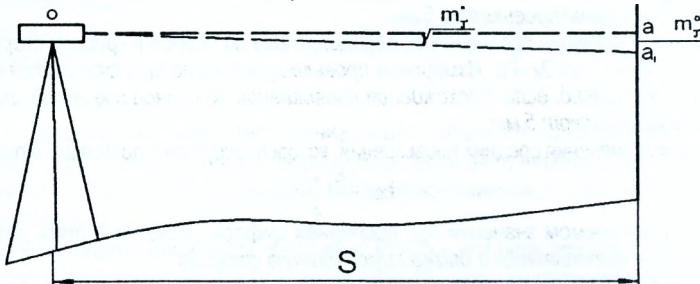


Рис. 13.2 Погрешность в отсчёте по рейке из-за чувствительности уровня

Из треугольника  $oaa_1$  (рис. 13.2) можно записать

$$m_r^0 = S \cdot \operatorname{tg} m_r^0 \quad \text{или}$$

$$m_r^0 = S \cdot \frac{m_r^0}{\rho}, \quad (13.3)$$

где  $S$  – расстояние от нивелира до рейки;

$\rho$  – 206265'' – радиан в секундах.

При  $S=100\text{м}$ ,  $\tau''=10''$ , получаем

$$m_r^0 = \pm \frac{100000\text{мм} \cdot 0,15 \cdot 10''}{206265''} \approx \pm 0,7\text{мм}.$$

2)  $m_g^0$  - погрешность вызвана неточностью отсчета из-за увеличения зрительной трубы.

Две точки можно различить раздельно, если угол, под которым они видны, не меньше критического угла зрения ( $\epsilon$ ). Этот угол зависит от остроты зрения и считается нормальным, если  $\epsilon=60''$ .

При визировании с помощью зрительной трубы критический угол уменьшается пропорционально увеличению зрительной трубы ( $\nu$ ).

Следовательно

$$m_g^* = \pm \frac{\epsilon}{\nu} = \pm \frac{60''}{\nu}.$$

Рассуждая, как и в предыдущем случае, получим

$$m_v^* = S \cdot \frac{60''}{\nu}. \quad (13.4)$$

При  $S=100\text{м}$  и  $\nu=30\text{x}$ , получим

$$m_v^* = \pm 2'', \text{ а } m_v^0 = \pm \frac{100000\text{мм} \cdot m_v^*}{206265''} = \pm 1,0\text{мм}.$$

Общая погрешность отсчета по рейке выразится формулой

$$m_b = m_h = \pm \sqrt{(m_r^0)^2 + (m_v^0)^2} \quad (13.5)$$

или, при тех же условиях,

$$m_h = \pm \sqrt{0,49 + 1} = \pm 1,2\text{мм}$$

Существуют и другие погрешности, такие как наклон нивелирных реек, погрешность из-за непараллельности визирной оси и оси уровня, оседание штатива, погрешность рефракции и т.д. Поэтому считается, что при техническом нивелировании средняя квадратическая погрешность определения превышения на станции  $m_h = \pm 2\text{мм}$ , а предельная  $\pm 5\text{мм}$ .

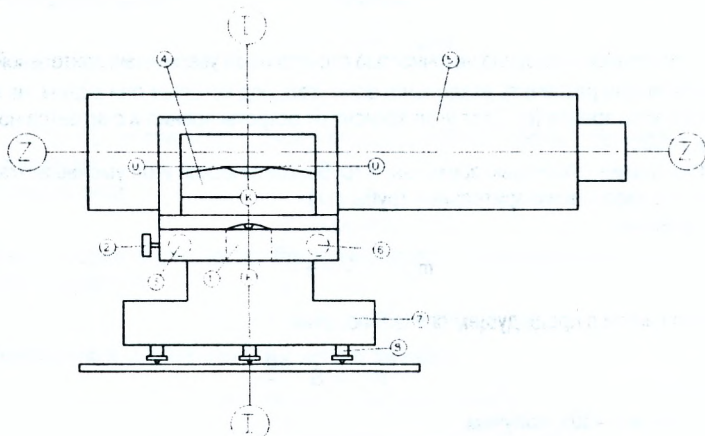
### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Какие принадлежности и приборы требуются для выполнения геометрического нивелирования?
2. Чему равна средняя квадратическая погрешность определения превышения нивелирного хода длиной 1 км нивелиром Н-ЗК?
3. Отсчёты по рейке равны: по красной стороне рейки 6409, по чёрной стороне рейки 1724. Чему равна разность нулей пятки рейки?
4. Какие основные погрешности возникают при геометрическом нивелировании?



## ЛЕКЦИЯ 14

### 14.1. Поверки и юстировка нивелиров



1. Круглый уровень; 2. Закрепительный винт; 3. Наводящий винт; 4. Цилиндрический уровень; 5. Зрительная труба; 6. Элевационный винт; 7. Подставка; 8. Подъемные винты.

#### Оси нивелира:

- I-I — ось вращения прибора; Z-Z — визирная ось зрительной трубы; K-K — ось круглого уровня;  
U-U — ось цилиндрического уровня (отсутствует у нивелиров с компенсатором).

Рис. 14.1. Нивелир Н-3

*Поверка геодезического прибора* – обнаружение соответствия взаимного расположения осей и плоскостей прибора с его теоретической (геометрической) схемой.

*Юстировка геодезического прибора* – исправление взаимного расположения отдельных деталей геодезического прибора после его поверки для восстановления принципиальной геометрической схемы прибора.

Для нивелиров Н-3, Н-3К должны соблюдаться следующие условия.

1. **Ось круглого уровня K-K должна быть параллельна оси вращения нивелира I-I.**

Поверку этого условия выполняют приведением пузырька круглого уровня в нуль-пункт при помощи подъемных винтов и поворотом нивелира на  $180^\circ$ . При этом пузырек не должен отклоняться более одного деления (рис. 14.2). Если отклонение не допустимое, выполняют юстировку исправительными винтами круглого уровня на половину отклонения пузырька. Поверку повторяют.

2. **Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.**

*1-ый способ.* Поверку этого условия выполняют при помощи рейки, установленной вертикально на расстоянии 20-30 м от нивелира, предварительно установленного по круглому уровню. Вращая наводящий винт, наводят сначала левый, а затем правый конец горизонтальной нити сетки нитей на рейку, беря отсчеты  $a_1$  и  $a_2$  (рис. 14.3 а). Отсчеты не должны отличаться более чем на 2 мм. Выполнение этого условия гарантируется заводом-изготовителем.

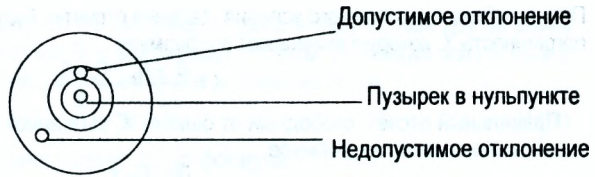


Рис. 14.2. Поверка круглого уровня.



Рис. 14.3. Поверка второго условия

2-ой способ. Нивелир приводится в рабочее положение. На расстоянии 20-30 м от нивелира подвешивается отвес, визируют (рис. 14.3 б) вертикальную нить сетки на нить отвеса. Условие выполняется, если изображение вертикальной нити сетки нитей совпадает с нитью отвеса.

3. Ось цилиндрического уровня U-U нивелира Н-3 должна быть параллельна визирной оси Z-Z. Визирная ось нивелира Н-ЗК должна быть горизонтальна (в пределах угла компенсации).

Это условие называется главным условием нивелира.

1-ый способ. Главное условие нивелира можно проверить двойным нивелированием. Для этого на ровной местности на расстоянии примерно 50 -75 м. друг от друга забивают колышки, на которые устанавливают нивелирные рейки (рис 14.4).

Нивелир вначале устанавливают вблизи (6-8 м.) одной рейки (рис. 14.4 а) и берут отсчеты по ближней рейке  $B_1$ , и дальней  $D_1$ . Затем вблизи другой рейки (рис. 14.4 б) берут отсчеты по ближней рейке  $B_2$  и дальней  $D_2$ .

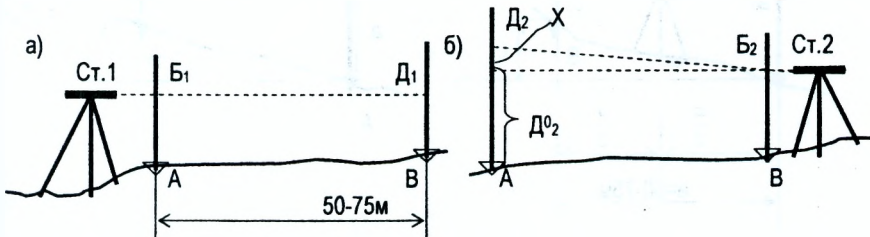


Рис. 14.4. Поверка главного условия нивелира (1 способ)

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

$$X = \frac{D_1 + D_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (14.1)$$

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

$$D_2^0 = D_2 - X. \quad (14.2)$$

Результаты проверки главного условия оформляют в виде таблицы 14.1

Таблица 14.1 Проверка главного условия

№№ станций	№№ точек визирн.	Наименование отсчетов	Отсчеты по рейкам, мм		Контроль (разность нулей)
			Красная сторона	Черная сторона	
1	2	3	4	5	6
1	A	B <sub>1</sub>	6409 (1)	1624 (2)	4785 (3)
	B	D <sub>1</sub>	6065 (4)	1282 (5)	4783 (6)
2	B	B <sub>2</sub>	6536 (7)	1754 (8)	4782 (9)
	A	D <sub>2</sub>	6882 (10)	2098 (11)	4784 (12)

Величина  $X$  вычисляется по «красным» и «черным» отсчетам по формуле 14.1

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

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

Правильный отсчет  $D_2^0 = 2098 - 2 = 2096$

2-ой способ. На колышки, закрепляющие линию АВ длиной 50-75м, устанавливают нивелирные рейки, а точно посередине между рейками – нивелир (рис. 14.5 а). После приведения нивелира в рабочее положение берутся отсчёты «а<sub>0</sub>» и «b<sub>0</sub>» по рейкам. Эти отсчёты будут исключены от влияния  $X$  – несоблюдения главного условия нивелира, следовательно, превышение

$$h_3 = a_0 - b_0 \quad (14.3)$$

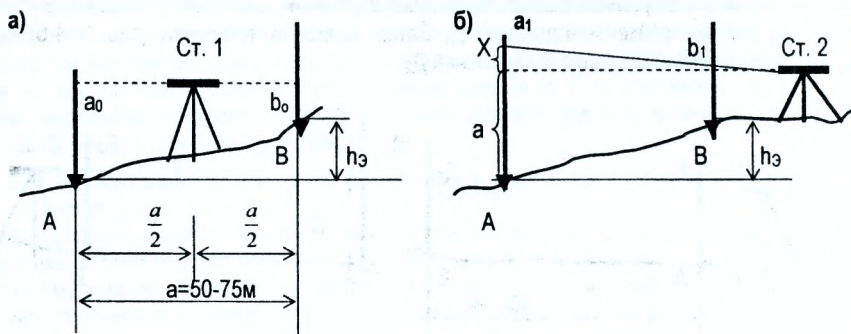


Рис. 14.5. Проверка главного условия нивелира (2 способ)

будет также свободно от влияния. Затем нивелир устанавливают вблизи другой рейки (рис. 14.5 б), например вблизи рейки В, и опять берут отсчёты по рейкам «а<sub>1</sub>» и «b<sub>2</sub>» и вычисляют превышение. Это превышение включает и значение X, т.е.

$$h+X=a_1-b_1, \quad (14.4)$$

следовательно, величину X можно подсчитать по формуле

$$X= h- h_3, \quad (14.5)$$

а правильный отсчёт  $a=a_1-X$ . (14.6)

**Для расстояния АВ, равного 50 - 75 м, погрешность X не должна превышать 4 мм.**

Исправление несоблюдения главного условия выполняется в следующем порядке.

*Нивелир Н-3.* Элевационным винтом совмещают горизонтальную среднюю нить сетки с правильным отсчетом (формулы 14.2 и 14.6), при этом пузырек цилиндрического уровня сместится с нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня приводят пузырек в нульпункт. Исправительные винты расположены слева от окуляра под круглой защитной крышкой, крепящейся винтом к корпусу трубы. Ослабив отверткой винт, отводя крышку в сторону вверх, шпилькой вращают вертикальные исправительные винты цилиндрического уровня. После исправления поверку повторяют.

*Нивелир Н-3К.* При помощи исправительных винтов сетки нитей сетку перемещают так, чтобы отсчёт по рейке стал равным правильному, вычисленному по формулам (14.2) или (14.6). После исправления поверку повторяют.

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что такое поверка геодезического прибора?
2. Что такое юстировка геодезического прибора?
3. Назовите оси нивелира Н-3.
4. Назовите оси нивелира Н-3К.
5. Как выполняется поверка круглого уровня?
6. Как проверить правильность установки сетки нитей?
7. Назовите главное условие нивелира Н-3.
8. Назовите главное условие нивелира Н-3К.
9. Как проверить выполнение главного условия нивелира?

## ЛЕКЦИЯ 15

### 15. Геодезические работы на трассе линейного типа

#### 15.1. Общие сведения о трассе

**Линейным сооружением** считают сооружение, имеющее малую площадь и значительную протяжённость (дорожные коммуникации, каналы, наземные и подземные трубопроводы, линии электропередач и т.д.).

**Трассой** называют ось линейного сооружения. Положение трассы на местности характеризуется её планом - проекцией на горизонтальную плоскость и её продольным профилем – вертикальным разрезом.

Каждое линейное сооружение в каждом отдельном случае имеет свою специфику геодезических работ. Однако наиболее полной по объёму и одновременно типичной является программа геодезических работ применительно к дорожным сооружениям. В плане трасса автомобильной дороги состоит из прямых отрезков разного направления, которые сопрягаются между собой горизонтальными кривыми постоянного или переменного радиусов. Эти кривые называют **круговыми кривыми**.

В продольном профиле трасса также состоит из прямых линий различного уклона, которые сопрягаются **вертикальными кривыми**.

Комплекс работ по выбору оптимального варианта трассы, отвечающего всем требованиям технических условий, называется **трассированием**.

Угол отклонения трассы от своего прямолинейного направления называется **углом поворота трассы** (углы  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  рис. 15.1).

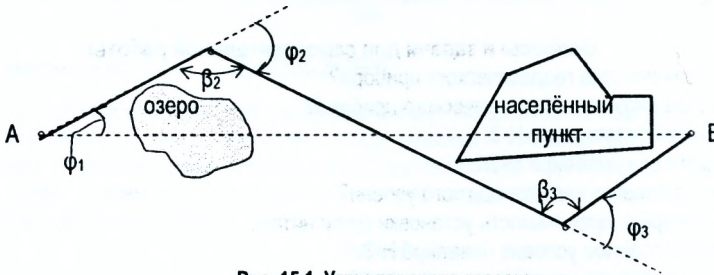


Рис. 15.1. Углы поворота трассы

Угол поворота трассы оказывает существенное влияние на удлинение трассы. Радиусы кривых  $R$  и уклоны участков задаются проектом в зависимости от категории автомобильной дороги. Можно назвать следующий состав геодезических работ при проектировании:

1. Составление проекта (камеральное трассирование);
2. Вынос проекта трассы в натуру и закрепление углов поворотов;
3. Проложение магистрального (теодолитного) хода по трассе;
4. Разбивка пикетажа вдоль трассы;
5. Техническое нивелирование вдоль трассы;
6. Составление продольного профиля и поперечников и проекта трассы.

В процессе камерального трассирования по картам или аэрофотоснимкам намечают оптимальный вариант, который в последующем выносят на местность, и определяют координаты всех углов поворота, начала и конца трассы, для чего прокладывают магистральный ход с измерением всех прямых участков и горизонтальных углов между прямыми линиями.



По горизонтальным углам (рис. 15.1) вычисляют углы поворота трассы по формулам (15.1).

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= 180^\circ - \beta_2 \\ \varphi_3 &= \beta_3 - 180^\circ \end{aligned} \right\} \quad (15.1)$$

## 15.2. Разбивка пикетажа и поперечников

При разбивке пикетажа по трассе между началом и концом фиксируют и закрепляют на местности 100-метровые отрезки, которые называют *пикетами*. Номер пикета обозначает количество сотен метров от начала трассы. При этом нулевой пикет (ПК0) совмещают с началом трассы. Разбивку пикетажа производят стальной лентой или рулеткой. Если трасса проходит по наклонной местности, то следует учитывать поправку за наклон линии к горизонту. Точки перегиба рельефа, пересечения с трассой границ угодий, линий ЛЭП и т.д. также закрепляют. Такие точки называют *плюсовыми*. Каждая точка обозначается присоединением к номеру ближайшего младшего пикета величины расстояния до него, например ПК1+25 (рис. 15.2).

В местах, где поперечный уклон более 20%, разбивают *поперечники*. Длина поперечников зависит от ширины сооружения. При разбивке поперечников закрепляют кольями его концы, точки пересечения с трассой, а также все точки перегиба рельефа. Начало поперечника обозначают также как плюсовую точку.

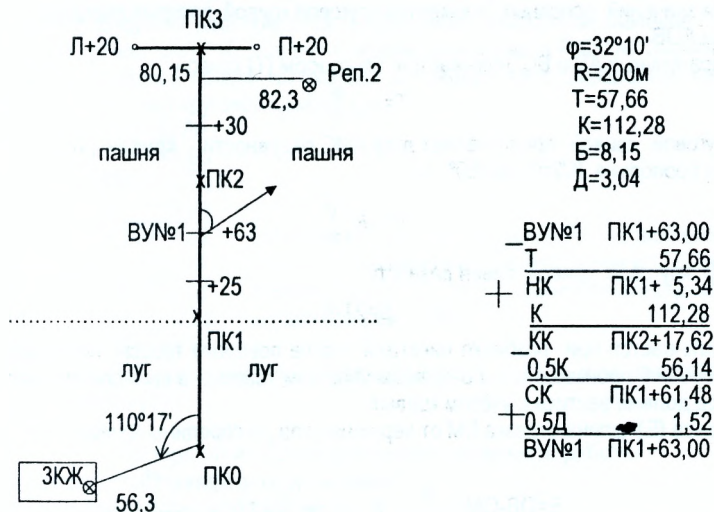
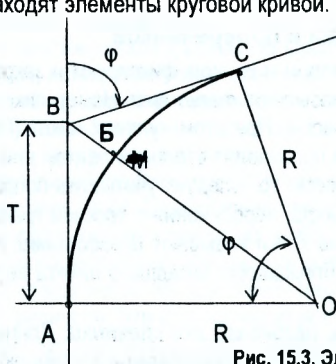


Рис. 15.2. Пикетажный журнал

Одновременно с разбивкой пикетажа ведут *пикетажный журнал* (рис. 15.2). В пикетажный журнал заносят результаты угловых и линейных измерений, номера точек, расчеты пикетажных значений главных точек круговых кривых, а также составляется абрис съёмки полосы участка местности вдоль оси трассы. Ось трассы в пикетажном журнале показывается условно в виде прямой линии, а углы поворота трассы показываются стрелками.

### 15.3. Элементы круговой кривой

Пикетаж разбивают до вершины угла (ВУ) поворота трассы. Так как счёт пикетажа ведётся по кривой (для дорог), а пикетаж разбивают по ломаной линии, поэтому, подойдя к вершине угла (ВУ), которому присваивается плюсовая точка (ПК1+63,0 рис. 15.2), находят элементы круговой кривой.



Точки А, М, С являются главными точками круговой кривой и называются: начало кривой (НК); середина кривой (СК); конец кривой (КК).

Рис. 15.3. Элементы круговой кривой

Часть оси трассы, очерченной по дуге постоянного радиуса, называется круговой кривой. Её элементы - угол поворота -  $\varphi$  и радиус  $R$  служат исходными данными для определения значений основных элементов круговой кривой, которые определяются из треугольника  $AOB$ .

Длина касательных  $AB$  и  $BC$  называется **тангенсом (Т)** кривой

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (15.2)$$

Длина круговой кривой представляет дугу  $AMC$  окружности – **кривая (К)**. Поскольку справедлива пропорция  $K/2\pi R = \varphi/360^\circ$ , то

$$K = \pi R \frac{\varphi}{180}. \quad (15.3)$$

**Домер (Д)** круговой кривой равен разности.

$$D = 2T - K. \quad (15.4)$$

Домер учитывается при разбивке пикетажа после поворота трассы, поскольку линейные измерения производятся по прямым участкам трассы, а вычисление расстояний по трассе должно вестись с учётом кривых.

**Биссектриса (Б)**- длина отрезка  $BM$  от вершины угла до середины кривой

$$B = OB - OM = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R = R \left( \sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right) = \frac{2R \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{\cos \frac{\varphi}{2}}. \quad (15.5)$$

Пример 15.1. Радиус круговой кривой равен  $R=200\text{м}$ . Угол поворота равен  $\varphi=32^\circ 10'$ . Определить значения основных элементов круговой кривой.

Значение  $T$  вычисляется по формуле (15.2)

$$T = 200 \operatorname{tg} \frac{32^\circ 10'}{2} = 200 \operatorname{tg} 16^\circ 05' = 200 \cdot 0,288320 = 57,66\text{м}.$$

Значение К вычисляется по формуле (15.3)

$$K = 3,14 \cdot 200 \cdot \frac{32 \cdot 10}{180} = 3,14 \cdot 200 \cdot \frac{32,167}{180} = 112,28 \text{ м.}$$

Значение Д вычисляется по формуле (15.4)

$$D = 2 \cdot 57,66 - 112,28 = 3,04 \text{ м.}$$

Значение Б вычисляется по формуле (15.5)

$$B = \frac{200}{\cos \frac{32 \cdot 10}{2}} - 200 = \frac{200}{0,960860} - 200 = 8,15 \text{ м.}$$

Главные точки круговой кривой - точки начала (НК), конца (КК) и середины (СК) кривой являются опорными для определения на местности контура кривой. Пикетажные значения главных точек кривой вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК ВУ} - T \\ \text{ПК КК} &= \text{ПК НК} + K \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - \frac{K}{2} \end{aligned} \right\} \quad (15.6)$$

где ПК ВУ – пикетажное значение вершины угла поворота трассы.

Контроль вычислений осуществляется по формуле:

$$\text{ПК ВУ} = \text{ПК СК} + \frac{D}{2}; \quad (15.7)$$

Пример 15.2. Вершина угла поворота трассы имеет пикетажное значение ПК1+63,00. Угол поворота равен  $\varphi = 32^\circ 10'$ . Радиус круговой кривой равен  $R = 200 \text{ м}$ . Значения основных элементов круговой кривой вычислены в примере 15.1. Определить пикетажные значения главных точек круговой кривой.

– ВУ№1	ПК1+63,00
– Т	57,66
– НК	ПК1+ 5,34
+ К	112,28
– КК	ПК2+17,62
– 0,5·К	56,14
+ СК	ПК1+61,48
+ 0,5·Д	1,52
ВУ№1	ПК1+ 63,00

Разбивка начала (НК) и конца (КК) круговой кривой сводится к отложению расстояний 5,34 м и 17,62 м соответственно от ПК1 и сдвинутого вперед на величину домера (3,04) ПК2.

Значения Т, К, Д, Б вычисляются по формулам (15.2) – (15.3) или находятся по специальным таблицам [10].

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что называется линейным сооружением?
2. Что называется трассированием?
3. Зачем составляется пикетажный журнал?
4. Какие точки являются главными точками круговой кривой?
5. Назовите основные элементы круговой кривой.
6. Что называется тангенсом круговой кривой?
7. Как вычислить длину круговой кривой?
8. Как учитывается величина домера при разбивке пикетажа?
9. Как вычислить пикетажные значения главных точек круговой кривой?

## ЛЕКЦИЯ 16

### 16.1. Нивелирование трассы

Для определения высот всех закреплённых точек (углов поворота, пикетов, плюсовых точек, точек на поперечниках) по ним прокладывают нивелирный ход. Ход должен быть привязан к пунктам государственной геодезической сети через 7-15 км.

Работы выполняются техническим или точным нивелиром типа Н-3. Нивелирование выполняется способом «из середины». Нормальным расстоянием от нивелира до реек считается 100-150 м. При неблагоприятных условиях это расстояние сокращается до 50 м.

Превышения в ходе измеряют по программе технического нивелирования (раздел 13.2). После отсчётов на связующие точки и вычислений превышений, задний реечник последовательно устанавливает рейку на всех промежуточных точках, а нивелировщик берёт отсчёты по черной стороне рейки. Результаты записывают в специальный журнал технического нивелирования (таблица 16.1).

В качестве связующих точек могут быть использованы пикеты или другие закреплённые точки. Километровые пикеты, углы поворота трассы и временные реперы нивелируются обязательно как связующие.

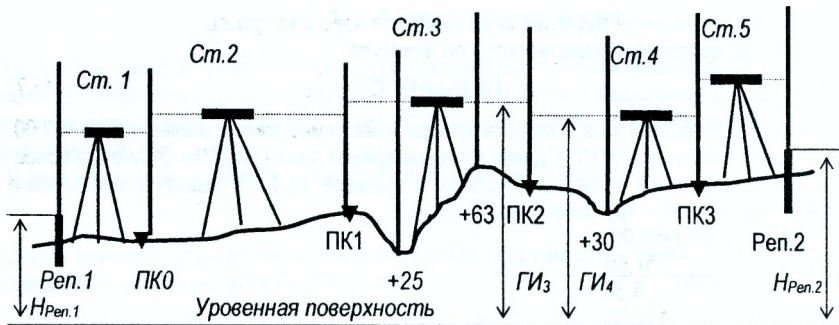


Рис. 16.1. Последовательное продольное нивелирование

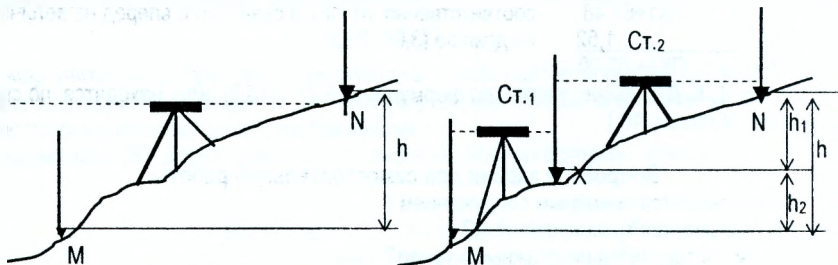


Рис. 16.2. Нивелирование крутых склонов (иксовые точки)

При нивелировании крутых скатов определяемое превышение может оказаться больше длины рейки. В этом случае назначаются дополнительные связующие точки, называемые **иксовыми** (рис. 16.2). **Иксовые** точки служат для передачи отметки с задней точки на переднюю и расстояние до них не измеряется. Количество иксовых точек зависит от конкретных условий.

Искомое превышение равно  $h = h_1 + h_2$  (рис. 16.2).

Результаты полевых измерений заносят в «Журнал технического нивелирования» (графы 1-7) (таблица 16.1)

Таблица 16.1 Журнал технического нивелирования

№ станций	№ точек	Отсчёты по рейке, мм			Превышения, мм			Горизонт инструмента ГИ, м	Отметки Н, м
		Задний	Передний	Промежуточный	Вычисленные	Средние	Исправленные		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	РЕП.1	2493(1)							
		7277(4)							51,315
		4784(5)			+1509(7)	-3			
	ПК0		0984(2)		+1512(8)	+1510(9)	+1507		
			5765(3)						52,822
			4781(6)						
2	ПК0	1573	0691		+882	-2			52,822
		6358	5474		+884	+883	+881		
	ПК1	4785	4783						53,703
3	ПК1	0870	1835		-965	-3			53,703
		5652	6619		-967	-966	-969		
	ПК2 +25 +63	4782	4784						52,734
				2773				54,573	51,800
			1213					53,360	
4	ПК2	2813	1562		+1251	-2			52,734
		7596	6342		+1254	+1252	+1250		
	ПК3 +30	4783	4780						53,984
	П+20			3116				55,547	52,431
	Л+20			1417					54,130
			1763					53,784	
5	ПК3	1916	2113		-197	-3			53,984
		6701	6896		-195	-196	-199		
	РЕП.2	4785	4783						53,785
Постраничный контроль		ΣЗ	ΣП		Σ <sub>выч</sub>	Σ <sub>ср</sub>			
		43249	38281		+4968	+2483			
		ΣЗ- ΣП=+4968							

$$\Sigma З - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч}} \approx 2 * \Sigma h_{\text{ср}}$$

$$+4968 = +4968 \approx 2 * (+2483)$$

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - \Sigma h_T = 2483 - 2470 = +13 \text{ мм.}$$

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

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

$$f_h < f_{h, \text{доп}}$$



## 16.2. Работа на станции при техническом нивелировании

Работу на станции выполняют в следующей последовательности (Рис. 16.1):

1. На крайние (связующие) точки (например, для станции 1 – точки Реп. 1 и ПК0) нивелируемой линии устанавливают нивелирные рейки, а примерно на равном удалении от них – нивелир.
2. Нивелир приводят в рабочее положение, наводят трубу на заднюю точку (Реп. 1) и берут отсчёт (2493) по чёрной стороне рейки.
3. Наводят трубу нивелира на переднюю точку (ПК0) и берут отсчёты сначала по чёрной (0984), а затем по красной (5765) сторонам рейки.
4. Снова наводят нивелир на заднюю рейку (Реп. 1) и берут отсчёт по красной стороне рейки (7277).
5. Для контроля вычисляют разности нулей (РО) пятюк реек: задней -  $PO_3 = 3_к - 3_ч = 7277 - 2493 = 4784$  и передней -  $PO_П = П_к - П_ч = 5765 - 0984 = 4781$ . *Расхождение разностей нулей пятюк реек по абсолютной величине не должно превышать 5мм.*
6. Вычисляют значения превышений, определяемые по чёрной и красной сторонам реек  $h_ч = 3_ч - П_ч = 2493 - 984 = +1509$  и  $h_к = 3_к - П_к = 7277 - 5765 = +1512$ . *Измерение превышения на станции считается выполненным правильно, если расхождения превышений по чёрной и красной сторонам реек не превышают 5мм.*
7. Вычисляют значения средних превышений, которые округляют до целых миллиметров.

$$h_{CP} = \frac{h_ч + h_к}{2} \quad (16.1)$$

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

На станции 1  $h_{CP} = \frac{+1509 + 1512}{2} = +1510,5$ ; 1510,5 округляется до 1510;

На станции 4  $h_{CP} = \frac{+1251 + 1254}{2} = +1252,5$ ; 1252,5 округляется до 1252.

9. Если кроме связующих точек необходимо дополнительно определить отметки промежуточных точек, то заднюю рейку последовательно устанавливают на этих точках, берут отсчёты только по чёрной стороне рейки и записывают их в графу 5 журнала технического нивелирования. (Таблица 16.1).

## 16.3. Обработка результатов технического нивелирования

1. Обработку результатов нивелирования выполняют после вычисления в полевых условиях превышений и средних превышений с постраничного контроля, который служит для исключения грубых ошибок при вычислениях. Для выполнения постраничного контроля на каждой странице находят сумму всех задних отсчетов  $\Sigma Z$ , сумму передних отсчетов  $\Sigma П$ , сумму вычисленных превышений  $\Sigma h_{выч}$  и сумму средних превышений  $\Sigma h_{CP}$  и проверяют  $\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h_{выч} \approx 2 \Sigma h_{CP}$ . (16.2)

В нашем примере (Таблица 16.1)  $\Sigma Z - \Sigma П = 43249 - 38281 = +4968$ ;

$$\Sigma h_{выч} = +4968;$$

$$\Sigma h_{CP} = +2483;$$

$$2 \Sigma h_{CP} = +2 \cdot 2483 = +4966.$$

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

2. Определяют невязку в превышениях по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - \sum h_{\text{т}}, \quad (16.3)$$

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

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

$\sum h_{\text{т}} = 0$  - для замкнутого нивелирного хода.

$\sum h_{\text{т}} = H_k - H_n$  - для разомкнутого нивелирного хода,

где  $H_k$  - отметка конечного репера;

$H_n$  - отметка начального репера.

3. В примере  $\sum h_{\text{т}} = H_k - H_n = 53,785 - 51,315 = 2,470\text{м} = 2470\text{мм}$ .

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - \sum h_{\text{т}} = 2483 - 2470 = +13\text{мм}$$

Допустимая невязка определяется по формулам

$$f_{h, \text{доп}} = \pm 50 \sqrt{L}, \quad (\text{для равнинной местности}), \quad (16.4)$$

где  $L$  - длина хода, выраженная в километрах.

$$f_{h, \text{доп}} = \pm 10 \sqrt{n}, \quad (\text{для холмистой местности}), \quad (16.5)$$

где:  $n$  - количество станций.

В примере  $f_{h, \text{доп}} = \pm 10 \sqrt{5} = \pm 22\text{мм}$ .

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

$$\sum h_{\text{испр}} = \sum h_{\text{т}}. \quad (16.6)$$

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

По заданной отметке начального репера вычисляют отметки всех связующих точек по правилу: отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс исправленное превышение между ними.

Например  $H_{\text{ПК0}} = H_{\text{реп.1}} + h_{\text{испр}} = 51,315 + 1,507 = 52,822$ ;

$H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_{\text{испр}} = 52,822 + 0,881 = 53,703$ .

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

5. После вычисления отметок связующих точек вычисляются отметки промежуточных точек. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента  $\{GI\}$ . **Горизонтом инструмента называют высоту визирной оси над уровневой поверхностью или ее отметку.** Горизонт инструмента равен отметке точки плюс отсчет по чёрной стороне рейки, установленной на этой точке.

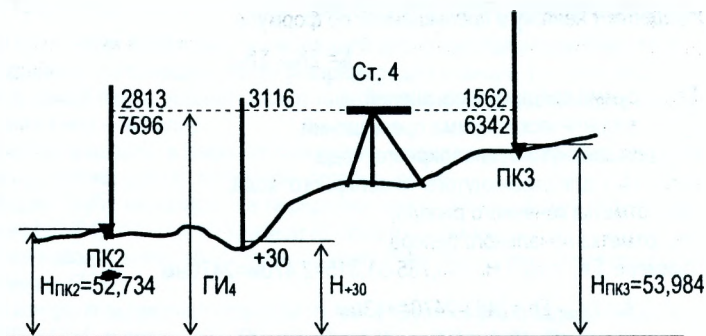


Рис. 16.3. Схема к определению отметки промежуточной точки через горизонт инструмента

Горизонт инструмента станции 4 равен (Рис. 16.3)  $GI_4 = 52,734 + 2,813 = 55,547$ ;  
или  $GI_4 = 53,984 + 1,562 = 55,546$ .

Отметка промежуточной точки  $PK2+30$  равна  $H_{+30} = 55,547 - 3,116 = 52,431$ .

В характерных точках местности, прилегающей к оси трассы, разбивают и нивелируют так называемые поперечники. Точки поперечников нивелируют так же, как обычные промежуточные точки. В примере поперечник разбит на  $PK3$  и пронивелирован со станции 4. Перпендикулярно оси нивелирного хода на  $PK3$  была разбита линия, на которой намечены точки, расстояние до которых измерено при помощи рулетки ( $П+20$ ,  $Л+20$ ). Отметки точек равны  $H_{П+20} = 55,547 - 1,417 = 54,130$ ;  $H_{Л+20} = 55,547 - 1,763 = 53,784$ .

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как определяются превышения при нивелировании трассы линейного сооружения?
2. Как выполнить нивелирование крутого ската?
3. Как определяется среднее превышение на станции при техническом нивелировании?
4. Как вычисляются отметки промежуточных точек?

## ЛЕКЦИЯ 17

### 17. Построение продольного профиля трассы

Продольный профиль строят по данным пикетажной книжки и журнала технического нивелирования. Построение выполняют в следующей последовательности. Работу начинают с построения профильной сетки (боковика) на миллиметровой бумаге. Образец профильной сетки дан на рисунке 17.2 применительно к автомобильной дороге. Размеры граф даны в мм. При составлении профиля другого сооружения профильную сетку изменяют. Так, для подземных коммуникаций исключают графы «План трассы» и «Километры», а добавляют «Проектные отметки лотков труб», «Проектные отметки люков колодцев», «Диаметр и материал труб» и т. д..

Данные для заполнения граф 1 и 6 выбирают из пикетажного журнала. В соответствии с расчётами пикетажных значений главных точек кривых начало кривой (НК) и конец кривой (КК) наносят в графе 6 по центру. Над прямолинейными участками трассы подписывают горизонтальные расстояния, под ними – их ориентирные направления. В местах закруглений выписывают элементы кривой ( $\phi$ , R, T, K, Д, Б). В графе 6 подписывают номера пикетов.

Посредине графы 1 проводят прямую линию (ось трассы), на которой отмечают стрелками вершины углов поворота, а также наносят всю ситуацию вдоль трассы согласно сведениям пикетажной книжки.

Заполняют графу 5 „Расстояния”, откладывая в ней горизонтальные расстояния в заданном масштабе. Плановое положение всех пикетов и плюсовых точек фиксируют в этой графе вертикальными отрезками. Сумма всех расстояний в пределах одного пикета должна равняться 100 м. Например (рис. 17.2), между пикетами ПК1 и ПК2  $25+38+37=100$  м.

Заполняют графу 4 „Отметки поверхности земли”, выписывая в неё из журнала технического нивелирования отметки точек с округлением до сотых долей метра.

По отметкам поверхности земли строят чёрную линию профиля, откладывая высоты точек в масштабе  $M_v$  вверх от линии условного горизонта (на перпендикулярах к линии условного горизонта).

После построения профиля трассы приступают к нанесению проектной линии, которую строят с соблюдением следующих требований:

- Проектный уклон не должен превышать допустимого значения для данного сооружения, т.е.  $i_{пр} \leq i_{доп}$ ;
- Объём земляных работ должен быть минимальным, т.е. сумма объёмов земляных работ по выемке должна примерно равняться сумме объёмов по насыпи (баланс земляных работ).

Начальной проектной отметкой (ПК0), как правило, является отметка примыкания трассы к существующей дороге, а конечной – отметка планировочной поверхности на объекте, к которому дорога подходит.

Проектный профиль строят методом последовательных приближений. Для этого на отдельных участках проводят прямую, соблюдая второе условие. Высоты начала ( $H_n$ ) и конца ( $H_k$ ) прямых линий определяют по профилю и подсчитывают уклон по формуле (17.1).

$$i_{пр} = \frac{H_k - H_n}{d}, \quad (17.1)$$

где  $d$  – горизонтальное расстояние между началом и концом линии, определяется по графе 5. Если  $i_{пр} \leq i_{доп}$ , то линию оставляют, в противном случае изменяют положение линии за счёт увеличения объёмов земляных работ. После уточнения положения проектной линии приступают к заполнению граф 2 и 3. В местах перелома проектного уклона в графе 2 проводят ординаты, разделяющие отрезки с различным уклоном.

Внутри графы проводят линию, показывающую направление уклона. Выше этой линии подписывают значение уклона на данном участке, а под линией длину участка. В графу 3 выписывают проектные отметки всех точек, которые нивелировались. Проектные отметки находят по формуле

$$N_{\text{Посл}} = N_{\text{Пред}} + i_{\text{пр}} \cdot d, \quad (17.2)$$

где  $N_{\text{Пред}}$  - исходная отметка;  
 $N_{\text{Посл}}$  - вычисляемая отметка;  
 $i_{\text{пр}}$  - проектный уклон;  
 $d$  - расстояние между точками.

В примере  $N_{\text{ПК1+63}} = 53,02 + 0,00221 \cdot 163 = 53,38$  м;

$N_{\text{ПК3}} = 53,38 + (-0,00168) \cdot 137 = 53,15$  м.

На всех пикетах и плюсовых точках профиля вычисляют рабочие отметки (высоты насыпей и глубины выемок)

$$h_p = N_p - H. \quad (17.3)$$

На выемках рабочие отметки записывают под красной (проектной) линией, а на насыпях – над ней. Над точками пересечения линии профиля поверхности земли с проектной (красной) линией, называемыми **точками нулевых работ**, записывают рабочие отметки 0.00.

Из точки нулевых работ опускают перпендикуляр на линию условного горизонта и вычисляют горизонтальные расстояния ( $X$  и  $Y$ ) до этой точки от ближайших пикетов.

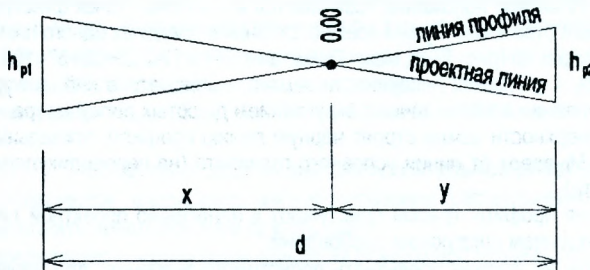


Рис. 17.1. Вычисление расстояния от точки нулевых работ до ближайших пикетов

$$x = \frac{h_{p1}}{h_{p1} + h_{p2}} \cdot d; \quad y = \frac{h_{p2}}{h_{p1} + h_{p2}} \cdot d, \quad (17.4)$$

где  $x, y$  - горизонтальные расстояния до точки нулевых работ от ближайших к ней пикетов (слева и справа);

$h_{p1}, h_{p2}$  - рабочие отметки;

$d$  - горизонтальное расстояние.

**Вычисление расстояний  $x$  и  $y$  контролируется соблюдением равенства  $x + y = d$ .**

В окончательном виде продольный профиль вычерчивается в туши или гелевыми ручками, при этом элементы, характеризующие существующую поверхность и профильная сетка вычерчиваются чёрным цветом; проектная линия, отметки, рабочие отметки, уклоны и расстояния оформляются красным цветом. Точки нулевых работ, отметки точек нулевых работ изображаются синим цветом.



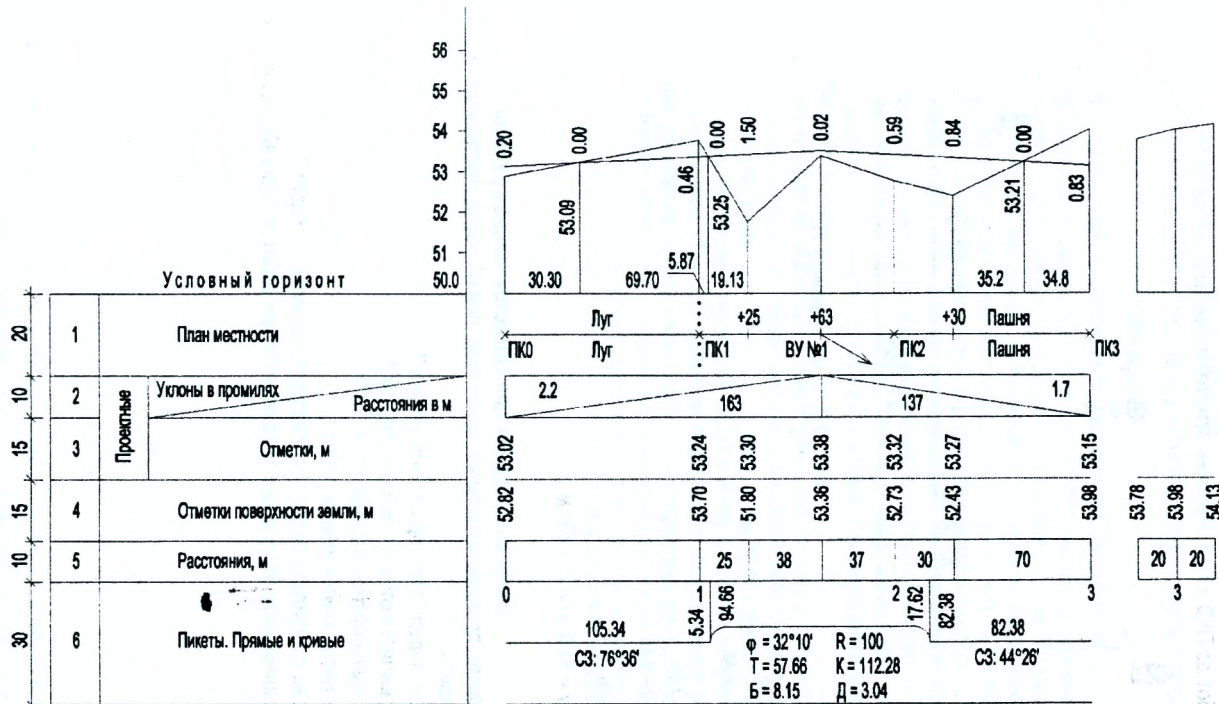


Рис. 17.2. Продольный профиль и поперечник на ПК3

Пример 17.1 На продольном профиле (рис. 17.2) вычислить расстояния от точки нулевых работ до ПК0 и ПК1. Рабочие отметки приведены на профиле.

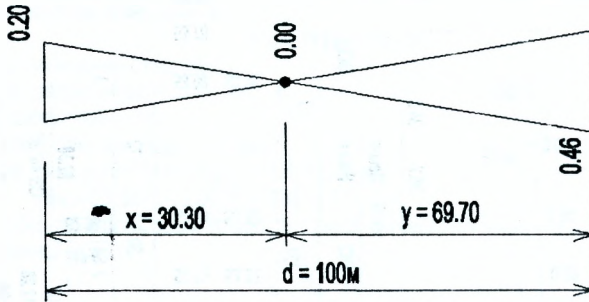


Рис. 17.3. Схема к примеру 17.1

$$X = \frac{0,20}{0,20 + 0,46} \cdot 100 = 30,30 \text{ м};$$

$$Y = \frac{0,46}{0,20 + 0,46} \cdot 100 = 69,70 \text{ м};$$

Контроль

$$d = x + y = 30,30 + 69,70 = 100 \text{ м}.$$

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Укажите порядок нанесения проектной линии после построения чёрной линии профиля.
2. Как определяются проектные уклоны?
3. Как вычисляются проектные отметки?
4. Как вычисляются рабочие отметки?
5. Что такое точка нулевых работ?
6. Как на профиле определить отметку точки нулевых работ?
7. Как вычислить расстояния от точки нулевых работ до ближайших пикетов?

## ЛЕКЦИЯ 18

### 18. Геодезические измерения и расчеты при вертикальной планировке

#### 18.1. Нивелирование поверхности по квадратам

Нивелирование поверхности производится на местности со слабо выраженным рельефом для получения крупномасштабного топографического плана участка. В зависимости от конкретных условий, уклонов местности, требований к точности изображения рельефа, масштаба и назначения сетки используют сетку квадратов со сторонами 10, 20 или 40 м.

На участках значительной площади вначале разбивают большие квадраты со сторонами 100, 200 или 400 м. Для этого в точке, расположенной примерно в середине участка, с помощью теодолита строят две примерно перпендикулярные линии - магистрали. От начальной точки по магистралям с помощью ленты откладывают и закрепляют стороны больших квадратов. От построенных точек разбивают и закрепляют вершины основных квадратов на всём участке.

Внутри больших квадратов разбивают и закрепляют заполняющие квадраты. Вершины основных квадратов закрепляют бетонными или деревянными столбами, а заполняющих - деревянными кольями.

Одновременно с разбивкой сети квадратов ведут съёмку ситуации с привязкой контуров к вершинам квадратов. При составлении планов для целей мелиорации повышенное внимание уделяется съёмке существующих ирригационных систем и сооружений на них, нивелируют урезы воды, замкнутые понижения рельефа. Основными способами съёмки ситуации являются способ промеров по створу, способ перпендикуляров и способ линейных засечек. Данные съёмки наносят на схему разбивки квадратов.

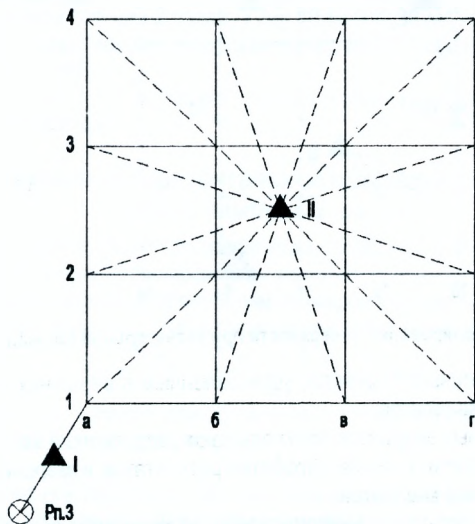


Рис. 18.1. Нивелирование поверхности по квадратам с одной постановки нивелира

Порядок нивелирования вершин квадратов зависит от размеров строительной площадки. При небольших размерах нивелирование может быть выполнено с одной постановки нивелира (рис. 18.1). В этом случае нивелир устанавливается в середине площадки,

приводится в рабочее положение, и с этой станции берутся отсчёты только по чёрной стороне рейки, устанавливаемой на вершинах квадратов. Отметку от репера на одну из вершин квадратов, например, от Рп.3 на вершину квадрата 1а, передают нивелированием «из середины» с отсчётами по двум сторонам рейки. По отметке этой точки и отсчёту по рейке на ней вычисляют горизонт инструмента, а далее по горизонту инструмента и отсчёту по рейке вычисляются отметки всех вершин квадратов.

$$\begin{aligned} N_{1a} &= N_{\text{Рп.3}} + h; \\ \text{ГИ}_{\text{II}} &= N_{1a} + b_{1a}; \\ N_{2a} &= \text{ГИ}_{\text{II}} - b_{2a}; \\ N_{3a} &= \text{ГИ}_{\text{II}} - b_{3a}; \\ N_{4a} &= \text{ГИ}_{\text{II}} - b_{4a}. \end{aligned}$$

$b_{1a}$ ,  $b_{2a}$ ,  $b_{3a}$ ,  $b_{4a}$  – отсчёты по чёрной стороне рейки, установленной на точках 1а, 2а, 3а, 4а . . . .

При значительных размерах участка (рис. 18.2) прокладывается замкнутый нивелирный ход. В этом случае некоторые точки (Реп.1, 6г, 3д) будут связующими точками. По результатам нивелирования вычисляют отметки связующих точек в замкнутом полигоне, горизонт прибора на станциях и отметки всех вершин квадратов.

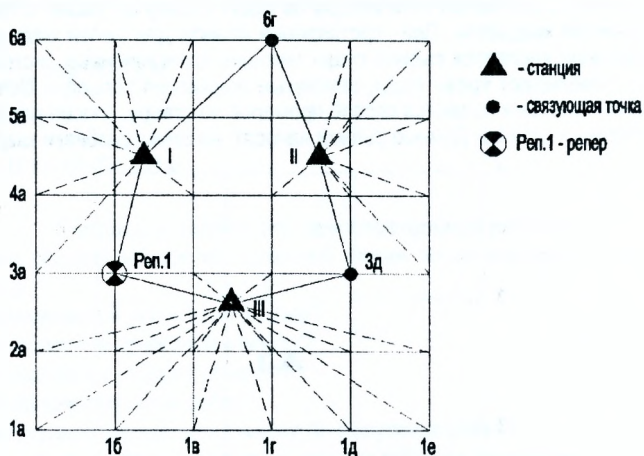


Рис. 18.2. Нивелирование поверхности при значительной площади участка

Отсчёты, произведенные по рейкам, установленным в вершинах квадратов, записываются на схеме сети квадратов.

По сторонам основных квадратов прокладывают теодолитный ход, опирающийся на пункты геодезической сети, и после обработки результатов измерений получают координаты вершин основных квадратов.

Пример 18.1. По результатам нивелирования по квадратам вычислить отметки вершин квадратов. Отметка от репера на вершину квадрата 3а передана нивелированием «из середины». Отметка репера  $N_{\text{РЕП}}=10,000\text{м}$ . Результаты измерений приведены в левой схеме нивелирования по квадратам (рис. 18.3).

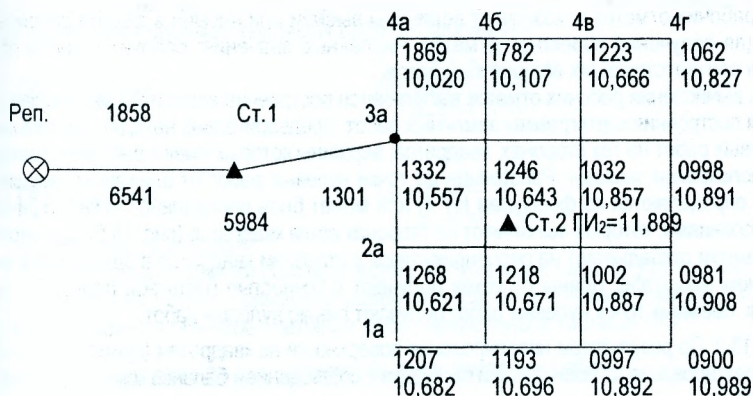


Рис. 18.3. Полевая схема нивелирования по квадратам

Таблица 18.1 Ведомость вычисления отметки точки 3а

№ станции	№№ точек	Отсчёты		Превышения, мм		Отметки, м
		Задний	Передний	Вычисленные	Средние	
1	2	3	4	5	6	7
1	Реп.	1858	1301	+557	+557	10,000
	3а	6541	5984	+557		10,557

Горизонт инструмента станции 2 равен  $\text{ГИ}_2 = 10,557 + 1,332 = 11,889\text{ м}$ .

Отметки всех остальных вершин квадратов вычисляются через горизонт инструмента  $\text{Н}_{1а} = 11,889 - 1,207 = 10,682$ ;

$\text{Н}_{2а} = 11,889 - 1,268 = 10,621$  и т.д. Результаты вычислений записаны в полевую схему нивелирования по квадратам.

## 18.2. Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ

Преобразование существующей топографической поверхности в проектную называется *вертикальной планировкой*. Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ является простейшим примером вертикальной планировки.

1. Решение задачи начинается с вычисления проектной отметки планировки по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{\sum H_1 + 2 \cdot \sum H_2 + 3 \cdot \sum H_3 + 4 \cdot \sum H_4}{4n}, \quad (18.1)$$

где  $\sum H_1$ ;  $\sum H_2$ ;  $\sum H_3$ ;  $\sum H_4$  – сумма отметок вершин, принадлежащих соответственно одному, двум, трём и четырём квадратам;  $n$  – число квадратов.

2. Пользуясь величиной проектной отметки планировки и значением фактических отметок  $H_i$ , вычисляют рабочие отметки по формуле (18.2).

$$h_i = H_{\text{пр}} - H_i, \quad (18.2)$$

$i = 1, 2, 3, \dots$  – номер вершины.



Значения рабочих отметок показывают величины выемки или насыпи в данной вершине квадрата для получения проектной отметки. Численные значения рабочих отметок показывают у соответствующих вершин квадратов.

3. После вычисления рабочих отметок выполняется построение *картограммы земляных работ*. Для построения картограммы земляных работ предварительно находят положение точек нулевых работ на тех сторонах квадратов, вершины которых имеют рабочие отметки с противоположными знаками. Расстояния до точки нулевых работ от ближайших вершин квадратов определяются по формулам (17.4) или может быть определено также графическими построениями, которые выполняют на сторонах сетки квадратов (рис. 18.5). Для этого рабочие отметки откладывают на перпендикулярах к сторонам квадратов в одном и том же произвольном масштабе. Длины отрезков получают с точностью масштаба плана. После соединения смежных точек нулевых работ получают линию нулевых работ.

Пример 18.2. По результатам нивелирования поверхности по квадратам (пример 18.1) выполнить проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ.

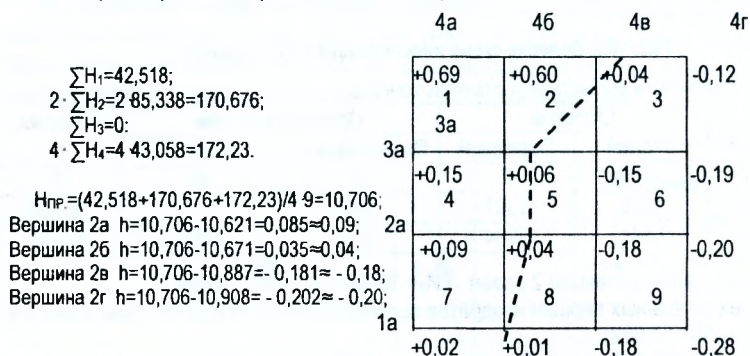


Рис. 18.4. Картограмма земляных работ

Ниже приводятся примеры определения местоположения точки нулевых работ на стороне квадрата 2б-2в.

а) аналитически по формулам (17.4)

$$a = \frac{0,04}{0,04 + 0,18} \cdot 20 = 3,64\text{м}; \quad b = \frac{0,18}{0,04 + 0,18} \cdot 20 = 16,36\text{м}. \quad \text{Контроль } a + b = 3,64 + 16,36 = 20\text{м}.$$

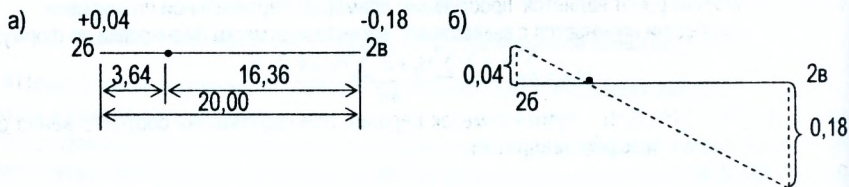


Рис. 18.5. Определение местоположения точки нулевых работ

При графическом способе (рис. 18.5 б) рабочие отметки в произвольном масштабе откладываются на перпендикулярах, проведенных в противоположные стороны из вершин квадрата. Концы перпендикуляров соединяются прямой линией. Точка нулевых работ находится в месте пересечения данной прямой со стороной квадрата.

4. Объёмы земляных работ подсчитывают отдельно для каждого квадрата в ведомости вычислений объёмов земляных работ по формулам

$$\left. \begin{aligned} \text{Объём выемки} & V_B = \frac{(\sum h_B)^2}{\sum (|h_H| + |h_B|)} \cdot \frac{f}{4} \\ \text{Объём насыпи} & V_H = \frac{(\sum h_H)^2}{\sum (|h_H| + |h_B|)} \cdot \frac{f}{4} \end{aligned} \right\} \quad (18.3)$$

где  $f$  - площадь квадрата;

$h_B$ ;  $h_H$  – рабочие отметки соответственно по выемке и насыпи. Контролем правильности вычислений служит примерное равенство (баланс) объёмов насыпи  $\sum V_H$  и выемки  $\sum V_B$ . Вычисления объёмов земляных работ приведены в таблице 18.2.

Таблица 18.2 Ведомость вычисления объёмов земляных работ

№ квадрата	$\frac{f}{4}$	$\sum h_H$	$(\sum h_H)^2$	$\sum h_B$	$(\sum h_B)^2$	$\sum ( h_H  +  h_B )$	Объём, м <sup>3</sup>	
							$V_H$	$V_B$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	100	1,5	2,25	-	-	1,5	150,00	-
2	100	0,70	0,49	0,15	0,02	0,85	57,65	2,65
3	100	0,04	0,00	0,46	0,21	0,50	0,40	42,32
4	100	0,34	0,12	-	-	0,34	34,00	-
5	100	0,1	0,01	0,33	0,11	0,43	2,33	25,33
6	100	-	-	0,72	0,52	0,72	-	72,00
7	100	0,16	0,03	-	-	0,16	16,00	-
8	100	0,05	0,00	0,37	0,14	0,42	0,71	32,60
9	100	-	-	0,85	0,72	0,85	-	85,00
Сумма							261,09	259,9

Разница в объёмах выемки и насыпи (дисбаланс) составляет

$$\Delta V = \frac{261,09 - 259,9}{261,09} \cdot 100\% = 0,46\%$$

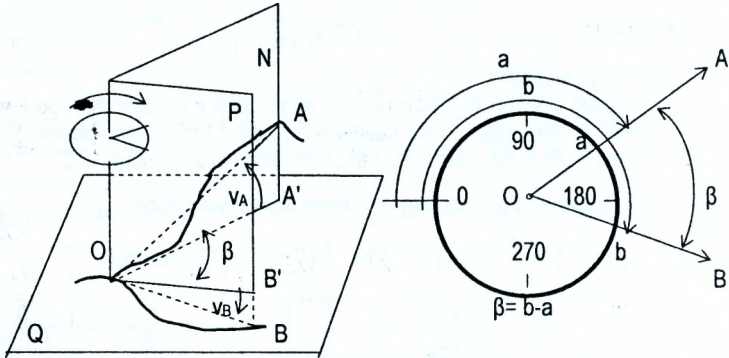
#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Каков порядок разбивки и закрепления квадратов?
2. Каков порядок нивелирования квадратов с одной постановки прибора?
3. Как вычисляются отметки вершин при нивелировании поверхности по квадратам?
4. Как вычисляется проектная отметка планировки при условии нулевого баланса земляных работ?
5. Как вычисляются рабочие отметки планировки?
6. Как вычислить расстояния до точки нулевых работ от ближайших вершин квадратов?
7. Как определить местоположение точки нулевых работ графическим способом?

## ЛЕКЦИЯ 19

### 19.1. Угловые измерения

Измерения углов выполняют для определения взаимного положения точек в пространстве. Пусть на местности имеем вершину угла точку  $O$ , точки  $A$  и  $B$ , образующие угол  $AOB$  (рис. 19.1).



**Рис. 19.1. Схема измерения углов на местности**

На сторонах  $OA$  и  $OB$  построим вертикальные плоскости  $N$  и  $P$ , а через вершину угла  $O$  проведём горизонтальную плоскость  $Q$ . Для определения положения точек в плановом отношении измеряют горизонтальные углы. *Горизонтальным углом называется двугранный угол  $\beta$  между отвесными плоскостями, проходящими через его стороны.* Он определяется углом  $\beta$  между проекциями сторон  $OA$  и  $OB$  на горизонтальную плоскость  $Q$ , т.е. углом  $A'O'B'$ . Горизонтальный угол отсчитывается по ходу часовой стрелки от  $0$  до  $360^\circ$ .

Для определения высот точек и превышений между ними измеряют вертикальные углы (углы наклона). *Вертикальным называется угол между стороной угла и её проекцией на горизонтальную плоскость.* На рисунке 19.1 вертикальный угол  $\nu_A$  образован сторонами  $OA$  и  $OA'$ . Вертикальные углы отсчитываются от проекции к стороне. Если сторона угла расположена выше проекции, то угол будет положительным, если ниже - отрицательным. Вертикальные углы могут принимать значения в пределах от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ .

Для измерения горизонтального угла над его вершиной располагают градуированный круг (*лимб*). Центр круга совмещают с отвесной линией, проходящей через вершину угла  $O$ , а сам круг размещают в горизонтальной плоскости. Тогда угол  $\beta$  между радиусами  $Oa$  и  $Ob$  - сечениями круга вертикальными плоскостями  $N$  и  $P$  - будет равен горизонтальному углу между направлениями местности  $OA$  и  $OB$ . Если деления на лимбе подписаны по ходу часовой стрелки, а отсчёты обозначить через  $a$  и  $b$ , то горизонтальный угол равен  $\beta = b - a$ . Описанный принцип измерения углов на местности реализуется в угломерном приборе, называемом - **теодолит**.

### 19.2. Типы теодолитов

Теодолиты различаются по точности измерения углов и конструктивным особенностям. Шифр теодолита содержит заглавную букву  $T$  и цифры после буквы, которые соответствуют величине средней квадратической погрешности измерения угла в секундах

одним приёмом в лабораторных условиях. Предусмотрено изготовление теодолитов: высокоточного – Т05, Т1, точных – Т2, Т5, технических – Т15, Т30, Т60. Теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний (дальномер), совместное вращение лимба с алидадой и гнездо для закрепления буссоли, называется *теодолитом-тахеометром*.

Таблица 19.1 Технические характеристики теодолитов

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

**Высокоточные теодолиты Т05, Т1** предназначены для измерения углов при развитии государственных геодезических сетей, построении специальных геодезических сетей, как основы для точных разбивочных работ, и изучения деформаций сооружений, а также при установке и монтаже оборудования угловыми методами.

**Точные теодолиты Т2, Т5** предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов, а также аналитических сетях 1 и 2 разрядов: они могут быть использованы также при строительстве сооружений, изучении их деформаций, монтаже машин и заводского оборудования.

**Технические теодолиты Т15 и Т30** применяются для проложения теодолитных и тахеометрических ходов, выполнения плановых и высотных съёмок, при рекогносцировочных и изыскательских работах. Цифра перед буквой Т обозначает номер модификации. Например, 2Т30 - 2-ая модель; 4Т30 - 4-ая модель и т.д.

### 19.3. Приспособления для центрирования

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

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

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



## 19.4. Отсчётные устройства

Отсчётные устройства служат для оценки долей делений лимба. В качестве отсчётных устройств используются штриховые и шкаловые микроскопы, микроскопы-микрометры и оптические микрометры.

Современные теодолиты имеют прозрачные лимбы, что позволяет применять оптические отсчётные устройства (рис. 19.2,а).

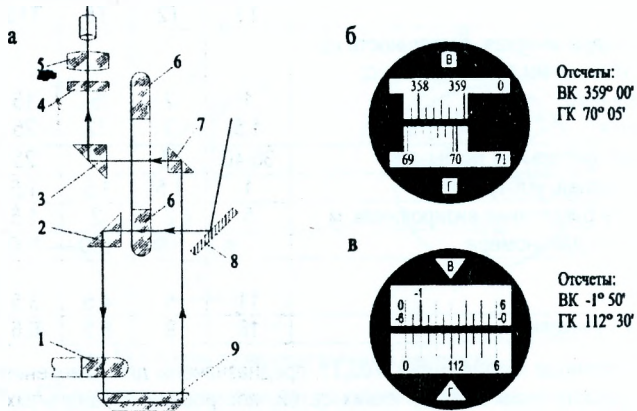


Рис. 19.2 Отсчётные устройства теодолитов Т30, 2Т30:

а - оптическая схема; б - поле зрения теодолита Т30;  
в - поле зрения теодолита 2Т30.

Луч света, отражаясь от зеркала 8, проходит через лимб вертикального круга 6 и попадает на призму 2. Посеребренная поверхность отражает луч и направляет его на лимб горизонтального круга 1. После двукратного отражения в призме 9 он проходит через призмы 7 и 3 и попадает на плоско-параллельную пластину 4, на которой нанесены один или несколько штрихов. Изображение штрихов лимба горизонтального круга на пластине рассматривают через окуляр 5 отсчётного микроскопа.

Поле зрения отсчётного микроскопа теодолитов Т30 и 2Т30 приведено на (рис. 19.2,б) и (рис. 19,в).

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

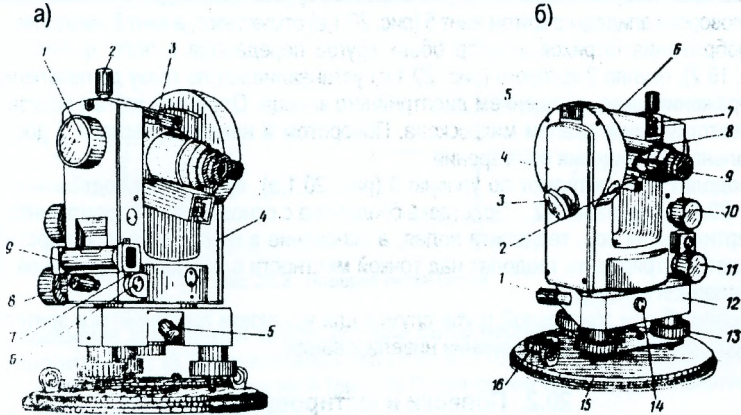
1. Что называется горизонтальным углом?
2. Что называется вертикальным углом наклона?
3. Каков принцип измерения горизонтальных углов при помощи теодолита?
4. Какова средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним полным приёмом теодолитом Т15?
5. Что такое центрирование теодолита?
6. Как выполняется центрирование теодолита при измерении горизонтальных углов?
7. Чем отличаются отсчётные устройства теодолитов Т30 и 2Т30?



## ЛЕКЦИЯ 20

### 20.1. Устройство теодолита Т30, 2Т30

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



- 1-кремальера;
- 2-закрепительный винт трубы;
- 3-визир;
- 4-колонка;
- 5-закрепительный винт горизонтального круга (лимба);
- 6-гильза;
- 7-юстировочный винт уровня;
- 8-закрепительный винт алидады;
- 9-уровень при алидаде.

- 1-наводящий винт горизонтального круга (лимба);
- 2-окуляр микроскопа;
- 3-зеркало подсветки;
- 4-боковая крышка;
- 5-посадочный паз для буссоли;
- 6-уровень при трубе;
- 7-юстировочная гайка уровня при трубе;
- 8-колпачок;
- 9-диоптрийное кольцо окуляра;
- 10-наводящий винт трубы;
- 11-наводящий винт алидады;
- 12-подставка;
- 13-подъемные винты;
- 14-втулка;
- 15-основание;
- 16-крышка.

Рис. 20.1. Общий вид теодолита при КП (круге „право“) а и при КП (круге „лево“) б

Зрительная труба обоими концами переводится через зенит. Фокусирование её на цель осуществляется вращением кремальеры 1 (рис. 20.1,а). Вращением диоптрийного кольца 9 (рис. 20.1,б) окуляр устанавливает по глазу до резкой видимости изображения сетки нитей.

Корпус зрительной трубы представляет единое целое с горизонтальной осью, установленной в лагерьях колонки 4 (рис. 20.1,а).

Коллиматорный визир 3 предназначен для грубой наводки на цель. При пользовании визиром глаз должен быть на расстоянии 25-30 см от него.

Точное наведение зрительной трубы на предмет в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом 11 (рис. 20.1,б) после закрепления алидады винтом 8 (рис. 20.1,а), в вертикальной плоскости – наводящим винтом 10 (рис. 20.1,б) после закрепления винтом 2 (рис. 20.1,а).

Вращение теодолита вместе с горизонтальным кругом производится винтом 1 (рис. 20.1,б). Для поворота алидады с кругом винт 5 (рис. 20.1,а) открепляют, а винт 8 закрепляют.

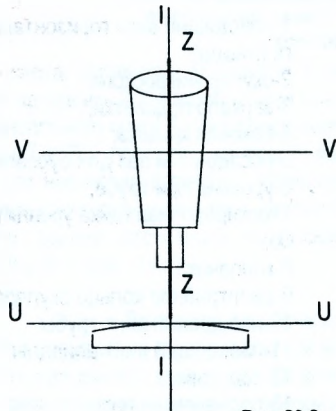
Изображения штрихов и цифр обоих кругов передаются в поле зрения микроскопа (рис. 19.2), окуляр 2 которого (рис. 20.1,б) устанавливают по глазу до появления чёткого изображения шкал вращением диоптрийного кольца. Отсчёт по кругам производится по соответствующим шкалам микроскопа. Поворотом и наклоном зеркала 3 достигают оптимального освещения поля зрения.

Теодолит горизантируют по уровню 9 (рис. 20.1,а) вращением подъёмных винтов 13 (рис. 20.1,б) подставки 12. Подставка соединена с основанием 15 тремя винтами.

Вертикальная ось теодолита полая, а основание в центре имеет отверстие, что позволяет центрировать теодолит над точкой местности с помощью зрительной трубы, установленной в надири.

Уровень 6 при зрительной трубе служит для установки визирной оси зрительной трубы горизонтально при выполнении нивелирования.

## 20.2. Поверки и юстировка теодолита



I – I – ось вращения теодолита;  
 V – V – ось вращения зрительной трубы;  
 U – U – ось цилиндрического уровня;  
 Z – Z – визирная ось зрительной трубы.  
 Оси Z-Z и I-I на рис. 20.2 совпадают.

Рис. 20.2. Схема осей теодолита

Соблюдение основных требований, которым должен удовлетворять теодолит, проверяется выполнением следующих поверок.

**1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ( $UU \perp II$ ).** Поворотом верхней части теодолита уровень устанавливается по направлению двух подъёмных винтов и, вращая их, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают уровень на  $180^\circ$ . Если пузырек уровня остался на середине,

то условие выполнено (допуск 1 деление уровня). В противном случае, на половину отклонения перемещают пузырек уровня к нуль-пункту исправительными винтами 7 уровня (рис. 20.1,а), а на оставшуюся часть – подъемными. Далее поверку повторяют.

2. Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита. Наводят визирную ось трубы на точку и, работая наводящим винтом трубы, наклоняют трубу вверх и вниз. Если при этом точка не будет сходить с вертикальной нити, то условие выполнено. В противном случае ослабляют винты крепления окулярного колена к трубе и поворотом окулярного колена добиваются правильного положения сетки нитей. После выполнения юстировки винты закрепляют.

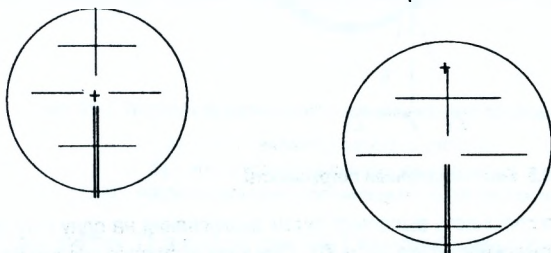


Рис. 20.3. Поверка сетки нитей

3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита ( $VV \perp II$ ). Устанавливают теодолит в 5-10 м от стены и наводят на какую-либо высоко расположенную точку А (рис. 20.4) при одном из положений вертикального круга, например при «круге право».

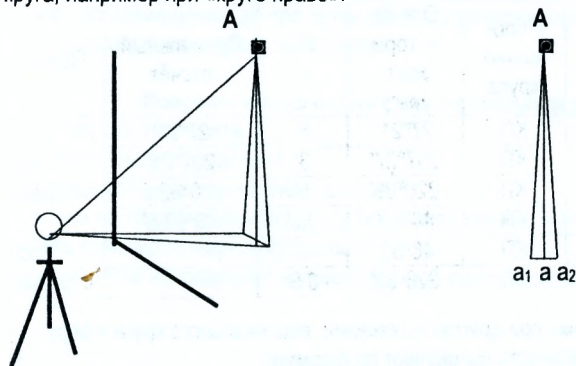


Рис. 20.4. К определению перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к оси вращения теодолита

Наклоном зрительной трубы проектируют верхнюю точку в нижнюю часть стены (примерно на уровень инструмента), где помощник пометает карандашом проекцию пересечения сетки нитей (точка  $a_1$ ). Переводят зрительную трубу через зенит и аналогичные действия производят при другом положении вертикального круга, пометая точку  $a_2$ . Условие будет выполнено, если проекции верхней точки при КП и КЛ совпали. В случае несовпадения средняя точка из двух проекций (точка  $a$ ) будет соответствовать правильному расположению осей. В современных конструкциях теодолитов невыполнение условия может быть устранено только в мастерской или в заводских условиях.

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

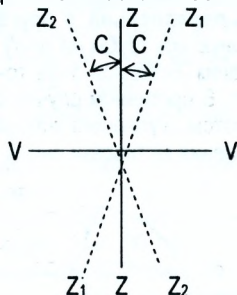


Рис. 20.5. Коллимационная погрешность

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

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

Таблица 20.1 Журнал определения коллимационной погрешности

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

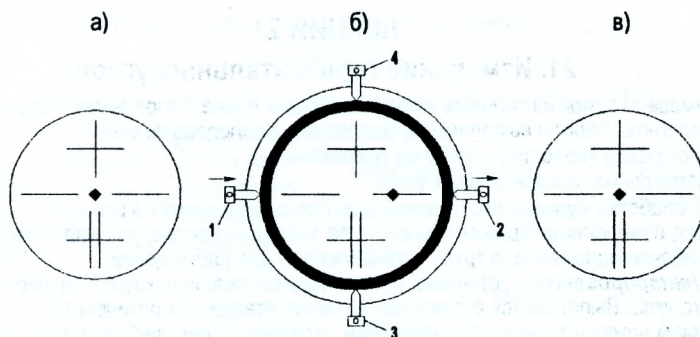
3. Наводят на ту же точку при другом положении вертикального круга и берут отсчет. Коллимационную погрешность вычисляют по формуле

$$C = 0,5 \cdot (КЛ - КП \pm 180^\circ), \quad (20.1)$$

где КП и КЛ – отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при соответствующем круге. Отсчеты записывают в журнал (табл. 20.1)

Правильность определения коллимационной погрешности проверяют повторными наблюдениями. Если  $|C| \leq 1'$ , то условие считается выполненным.

Исправление коллимационной погрешности выполняют следующим образом (рис. 20.6)



**Рис. 20.6. Порядок исправления коллимационной погрешности**

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

1. Наводящим винтом 11 алидады (рис. 20.1,б) устанавливается на лимбе правильный отсчет, вычисленный по формуле

$$N = (КП + КЛ \pm 180^\circ) \cdot 0,5 \quad (20.2)$$

При этом верхняя часть теодолита повернется на угол  $C$ , вследствие чего изображение точки в поле зрения трубы сместится с пересечения нитей (рис. 20.6,б)

2. Действуя боковыми исправительными винтами 1 и 2 (рис. 20.6,б) сетки, последнюю перемещают до совмещения центра сетки нитей с изображением точки (рис. 20.6,в)

3. После исправления поверку повторяют.

#### **Вопросы и задачи для самостоятельной работы**

1. Назовите оси теодолита.
2. Назовите поверки теодолита.
3. Что такое коллимационная погрешность?
4. Отсчёты по горизонтальному кругу теодолита равны:  $КП = 4^\circ 24'$ ,  $КЛ = 184^\circ 30'$ . Определить коллимационную погрешность.
5. Каков порядок исправления коллимационной погрешности.



## ЛЕКЦИЯ 21

### 21. Измерение горизонтальных углов

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

- Установка теодолита в рабочее положение;
- Измерение горизонтальных углов;
- Обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

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

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

**2. Нивелирование** - приведение плоскости лимба горизонтального круга в горизонтальное положение, т.е. установка вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение. Для этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня на середину. Открыв закрепленный винт алидады, поворачивают ее на 90° и, вращая третий подъемный винт, приводят пузырек уровня на середину. Уточняют центрирование теодолита.

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

Веи устанавливаются на следующую и предыдущую точки хода вертикально позади кола так, чтобы они находились в створе наблюдаемой линии.

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

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

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

#### 21.1. Способ приёмов

Полный прием состоит из двух полуприёмов, т.е. угол измеряется при двух положениях вертикального круга (КП и КП).

1. Первый полуприём начинают, например, при КП. При **закреплённом лимбе** наводят трубу на правую точку В (рис. 19.1), берут отсчёт  $b_1$  и записывают его в журнал.
2. Наводят трубу на точку А (рис. 19.1) и берут отсчёт  $a_1$ . Угол  $\beta_1$ , полученный при КП, вычисляется по формуле

$$\beta_1 = b_1 - a_1. \quad (21.1)$$

3. Перед вторым полуприёмом смещают лимб примерно на 2-3° и закрепляют. Эти действия позволяют обнаружить возможные грубые ошибки при отсчетах на лимбе и уменьшить инструментальные погрешности. Переводят трубу через зенит и уже при КП в той же последовательности, как и в первом полуприёме, визируют на точки В и А, берут соответственно отсчёты  $b_2$  и  $a_2$

$$\beta_2 = b_2 - a_2. \quad (21.2)$$

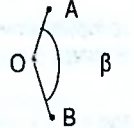
В случае, если отсчёт на правую точку меньше отсчёта на левую, к нему прибавляют 360°.

4. При  $|\beta_1 - \beta_2| \leq 1'$  из двух значений угла вычисляют среднее

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (21.3)$$

Результаты измерений записывают в специальный журнал (таблица 21.1)

Таблица 21.1 Журнал измерения горизонтальных углов

№ станции	Круг	№ точки наблюдения	Отсчет по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол		Схема измеряемого угла $\beta$
				Измеренный	Среднее	
О	КЛ	В А	368° 38' 307° 39'	60° 59'	60° 58.0'	
	КП	В А	185° 57' 125° 00'	60° 57'		

## 21.2. Способ круговых приёмов

Способ круговых приёмов используется в случае, когда в одной точке сходится более двух направлений (рис. 21.1).

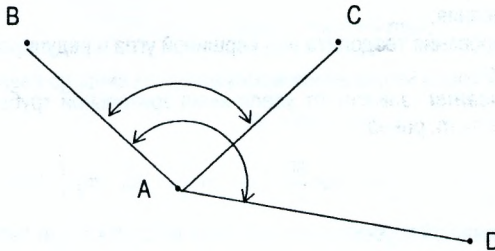


Рис. 21.1. Схема измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов

Измерения выполняют в следующей последовательности.

1. Рабочее положение теодолита устанавливают при КЛ. Работая винтами алидады отсчёт по горизонтальному кругу устанавливают близким к нулю и закрепляют алидаду.
2. Работая винтами лимба визирную ось наводят на точку, принятую за исходную (например В). Закрепляют лимб и проверяют отсчёт. Он должен оставаться близким к нулю. Полученный отсчёт записывается в графу 4 (табл. 21.2).

Таблица 21.2 Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов

№№ точек стояния	№№ точек визирования	Положение круга	Отсчёт		Направления
			полученный	средний	
А	В	КЛ	0°02'	0°01'30"	0°00'00"
		КП	180°01'		
	С	КЛ	68°42'	68°42'30"	68°41'0"
		КП	248°43'		
	D	КЛ	133°34'	133°34'00"	133°32'30"
		КП	313°34'		
	В	КЛ	0°01'	0°01'00"	
		КП	180°01'		

3. При закреплённом лимбе вращают алидаду по ходу часовой стрелки и поочерёдно наводят визирную ось на точки С, D и снова на В и при этом берут отсчёты по горизонтальному кругу, которые записывают в графу 4 (табл. 21.2).
4. Устанавливают рабочее положение теодолита КП, наводят на точку В, и, вращая теодолит против хода часовой стрелки, визируют на точки D, С и В. Отсчёты записывают в графу 4 снизу вверх. Вычисляют средние значения отсчётов, полученных при КП и КП, по формуле:

$$N = \frac{КП + КП - 180}{2}, \quad (21.4)$$

которые записывают в графу 5.

В графе 6 получают направления, подсчитанные по формуле

$$n_i = N_i - N_1, \quad (21.5)$$

где  $i=1,2,3$  – номера направлений.

### 21.3. Точность измерения горизонтальных углов

На точность измерения горизонтальных углов влияют главным образом:

- инструментальные погрешности;
- погрешности визирования;
- погрешности центрирования теодолита над вершиной угла и редуцирования;
- погрешности отсчётов.

**Погрешность визирования** зависит от увеличения зрительной трубы, а средняя квадратическая погрешность  $m_v$  равна:

$$m_v = \frac{60''}{v}, \quad (21.6)$$

где  $v$  – увеличение зрительной трубы.

Для теодолита Т-30 с увеличением  $v=18$  получим  $m_v = \frac{60''}{18} \approx 3''$ .

**Погрешность отсчитывания** по штриховому микроскопу зависит от цены деления шкалы  $t$ .

$$m_0 = 0,03 t. \quad (21.7)$$

Для теодолита Т-30, имеющего цену деления  $t=10'$ ,  $m_0=18''$ .

**Погрешность за центрирование** зависит от погрешности  $m_1$  установки теодолита над вершиной угла и длины  $d$  стороны угла

$$m_x = \left( \frac{\rho}{d} \right) \cdot m_1, \quad (21.8)$$

где  $\rho=206265''$  – число секунд в радиане.

Если при измерении угла длины сторон в наиболее неблагоприятном случае равны  $d=75$ м, а теодолит центрируется над точкой нитяным отвесом со средней квадратической погрешностью  $m_1=5$ мм, то

$$m_x = \frac{206265''}{75 \cdot 10^3} \cdot 5 \approx 14''$$

**Погрешность за редуцирование**  $m_p$  аналогична погрешности за центрирование.

$$m_p \approx m_x \approx 14''$$

Средняя квадратическая погрешность  $m_a$  определения одного направления при измерении угла равна

$$m_a = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2} = \pm \sqrt{3^2 + 18^2 + 14^2 + 14^2} \approx \pm 27'' \approx \pm 0,5'.$$

Так как угол вычисляется как разность двух направлений  $\beta = a_1 - a_2$ , то средняя квадратическая погрешность  $m_{\beta n}$  измерения угла одним полуприёмом равна

$$m_{\beta n}^2 = m_{a1}^2 + m_{a2}^2.$$

Приравняв средние квадратические погрешности  $m_{a1} = m_{a2} = m_a$ , получим

$$m_{\beta n} = \pm m_a \cdot \sqrt{2}.$$

За окончательный результат измерения угла принимается среднее значение

$$\beta = \frac{\beta_n + \beta_n}{2}.$$

Поэтому средняя квадратическая погрешность  $m_\beta$  измерения угла одним приёмом равна:

$$m_\beta^2 = \frac{1}{4} m_{\beta n}^2 + \frac{1}{4} m_{\beta n}^2.$$

Приравняв средние квадратические погрешности измерения углов в полуприёмах,

$$m_{\beta n} = m_{\beta n} = \pm m_a \cdot \sqrt{2}$$

$$m_\beta^2 = \frac{1}{4} (m_a \cdot \sqrt{2})^2 + \frac{1}{4} (m_a \cdot \sqrt{2})^2 = \frac{1}{4} \cdot m_a^2 \cdot 2 + \frac{1}{4} \cdot m_a^2 \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot m_a^2 + \frac{1}{2} \cdot m_a^2 = m_a^2.$$

Откуда  $m_\beta = m_a$ . В качестве предельной погрешности  $\Delta_\beta$  измерения угла одним приёмом принимается утроенная средняя квадратическая погрешность  $\Delta_\beta = 3 m_\beta = 3 m_a$

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

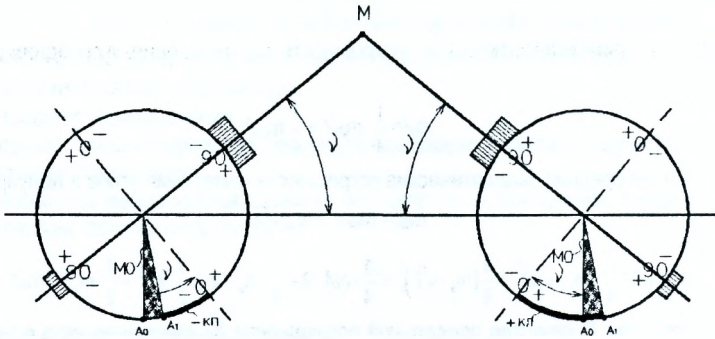
1. Назовите состав работ при центрировании теодолита.
2. Назовите наиболее часто применяемые способы измерения горизонтальных углов.
3. Как измеряется угол способом приёмов?
4. Как измеряются углы способом круговых приёмов?
5. Какие факторы влияют на точность измерения горизонтальных углов?

## ЛЕКЦИЯ 22

### 22. Вертикальный круг теодолита. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление. Измерение вертикальных углов

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

#### 22.1. Вертикальный круг теодолита 2Т-30



$A_0$  – положение отсчётного индекса при  $МО=0$ ;  
 $A_1$  – положение отсчётного индекса при  $МО \neq 0$

Рис. 22.1. Вертикальный круг теодолита 2Т30

Вертикальный круг теодолита 2Т-30 скреплён со зрительной трубой по диаметру  $90^\circ$ - $90^\circ$  и оцифрован в обе стороны от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Против хода часовой стрелки нанесены положительные деления, а по ходу часовой стрелки – отрицательные. Если допустить, что значение  $МО$  известно, то значение вертикального угла (рис. 22.1) можно вычислить по формулам (22.1) и (22.2)

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}, \quad (22.1)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП}. \quad (22.2)$$

Решая (22.1) и (22.2) относительно  $v$  и  $МО$ , получим:

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2}, \quad (22.3)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}. \quad (22.4)$$

Следовательно, для определения величины  $МО$  нужно на одну и ту же точку навести зрительную трубу при КП и КЛ, взять отсчёты по вертикальному кругу и вычислить  $МО$  по формуле (22.4).



**Пример 22.1.** Определить МО для теодолита 2Т-30 и величину вертикального угла наклона  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны:  $КП = 5^{\circ}17'$ ;  $КЛ = -5^{\circ}19'$ .

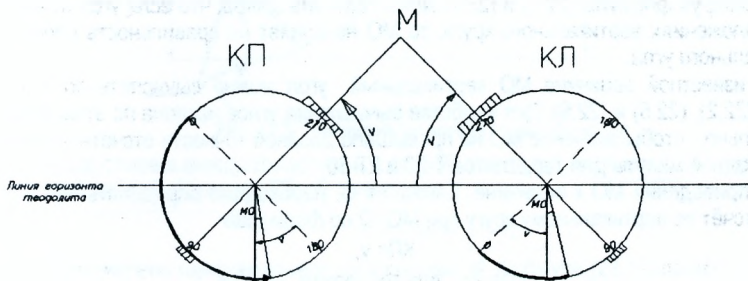
$$МО = \frac{КЛ + КП}{2} = \frac{-5^{\circ}19' + 5^{\circ}17'}{2} = -1',$$

$$v = КП - МО = 5^{\circ}19' - (-1') = 5^{\circ}18',$$

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

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

## 22.2. Вертикальный круг теодолита Т-30



**Рис. 22.2.** Вертикальный круг теодолита Т-30

Вертикальный круг теодолита Т-30 скреплён со зрительной трубой по диаметру  $90^{\circ} - 270^{\circ}$  и оцифрован против хода часовой стрелки от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ . Из рисунка 22.2 следует, что

$$v = КП - МО, \quad (22.5)$$

$$v = МО - КП + 180^{\circ}, \quad (22.6)$$

решая (22.5) и (22.6) относительно  $v$  и  $МО$ , получим

$$v = \frac{КЛ - КП + 180}{2}, \quad (22.7)$$

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180}{2}. \quad (22.8)$$

$МО$  определяется так же, как для теодолита 2Т-30.

**Пример 22.2.** Определить  $МО$  теодолита Т-30 и вертикальный угол  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны:  $КП = 175^{\circ}28'$ ;  $КЛ = 4^{\circ}36'$ .

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

$$v = КП - МО = 175^{\circ}28' - 2' = 175^{\circ}26';$$

$$v = MO - КП + 180^\circ = 2' - 175^\circ 28' + 180^\circ = 4^\circ 34';$$

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

**Пример 22.3.** Определить МО теодолита Т-30 и вертикальный угол  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны:  $КП = 356^\circ 53'$ ;  $КП = 183^\circ 09'$ .

$$МО = \frac{КП + КП - 180}{2} = \frac{356^\circ 53' + 183^\circ 09' - 180}{2} = \frac{360^\circ 02'}{2} = 1'.$$

$$v = КП - МО = 356^\circ 53' - 1' = 356^\circ 52' - 360^\circ = -3^\circ 08';$$

$$v = МО - КП + 180^\circ = 1' - 183^\circ 09' + 180^\circ = -3^\circ 08';$$

$$v = \frac{КП - КП + 180}{2} = \frac{356^\circ 53' - 183^\circ 09' + 180}{2} = \frac{356^\circ 53' - 3^\circ 09' - 360}{2} = -3^\circ 08'.$$

Анализируя формулы (22.3) и (22.7) можно сделать вывод, что если угол измерен при двух положениях вертикального круга, то МО не влияет на правильность определения вертикального угла.

При известной величине МО вертикальный угол можно вычислить по формулам (22.1), (22.2), (22.5) и (22.6). Для удобства вычисления углов наклона по этим формулам желательно, чтобы значение МО не превышало двойной точности отсчётного устройства, т.е. одной минуты для теодолитов Т-30 и 2Т-30.

Для приведения МО к величине, близкой к 0, необходимо определить МО и вычислить отсчёт по вертикальному кругу при  $МО=0$  по формулам

$$КП = v,$$

$$КП = -v \text{ для теодолита 2Т-30 и}$$

$$КП = 180^\circ - v \text{ для теодолита Т-30.}$$

Далее, вращая наводящий винт зрительной трубы, устанавливают вычисленный отсчёт по вертикальному кругу, после чего центр сетки нитей сместится с точки. Действуя вертикальными исправительными винтами 3 и 4 (рис. 20.4 б) сетки нитей, центр сетки нитей совмещают с изображением точки.

Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу 22.1

Таблица 22.1 Журнал определения МО и вертикальных углов

Теодолит	№ станций	№№ точек визирования	Круг	Отсчет	МО $v$	Правильный отсчет
1	2	3	4	5	6	7
Т-30	1	4	КП	$3^\circ 36'$	$2'$	$3^\circ 34'$
		4	КП	$176^\circ 28'$	$3^\circ 34'$	$176^\circ 26'$
		5	КП	$2^\circ 45'$	$1^\circ 30''$	$2^\circ 43' 30''$
		5	КП	$177^\circ 18'$	$2^\circ 43' 30''$	$177^\circ 16' 30''$
2Т-30	2	6	КП	$4^\circ 17'$	$-30''$	$4^\circ 17' 30''$
		6	КП	$-4^\circ 18'$	$4^\circ 17' 30''$	$-4^\circ 17' 30''$
		5	КП	$3^\circ 48'$	$-1'$	$3^\circ 49'$
		5	КП	$-3^\circ 50'$	$3^\circ 49'$	$-3^\circ 49'$

### 22.3. Тригонометрическое нивелирование

В точке А (рис. 22.3) устанавливают теодолит, приводят прибор в рабочее положение, измеряют высоту инструмента  $i$  при помощи нивелирной рейки. В точке В устанавливают нивелирную рейку. При помощи нитяного дальномера измеряют наклонное расстояние  $D$  от прибора до рейки. С помощью вертикального круга теодолита измеряют вертикальный угол наклона  $v$ . Расстояние  $u$  от пятки рейки до точки визирования называется *высотой визирования*.

Из рисунка 22.3 
$$h + u = h' + i \quad (22.9)$$

или 
$$h = h' + i - u. \quad (22.10)$$

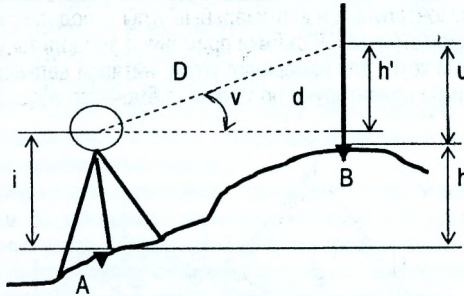


Рис. 22.3. Тригонометрическое нивелирование

Если расстояние между теодолитом и рейкой измеряют нитяным дальномером с вертикальной рейкой, формула (22.10) примет вид

$$h = \frac{D}{2} \sin 2v + i - u. \quad (22.11)$$

Если вычислено горизонтальное проложение  $d$ , формула (22.10) примет вид

$$h = d \operatorname{tg} v + i - u. \quad (22.12)$$

При учёте поправки  $f$  за кривизну Земли и рефракцию формула (22.11) будет иметь вид:

$$h = \frac{D}{2} \sin 2v + i - u + f, \quad (22.13)$$

$$f = 0,43 \frac{d^2}{R}; R = 6371 \text{ км} - \text{радиус Земли}. \quad (22.14)$$

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

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Что такое место нуля вертикального круга теодолита?
2. Как определить значение места нуля теодолита Т-30?
3. Как определить значение места нуля теодолита 2Т-30?
4. Как измерить вертикальный угол наклона при помощи теодолита?
5. Как привести значение места нуля теодолита к нулю?
6. Как определить превышение при помощи тригонометрического нивелирования?
7. Как вычислить поправку за кривизну Земли и рефракцию при выполнении тригонометрического нивелирования?
8. Определить МО теодолита Т-30 и вертикальный угол  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны: КП =  $170^{\circ}06'$ ; КЛ =  $9^{\circ}51'$ .
9. Определить МО теодолита 2Т-30 и величину вертикального угла наклона  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны: КП =  $4^{\circ}36'$ ; КЛ =  $-4^{\circ}39'$ .

## ЛЕКЦИЯ 23

### 23. Тахеометрическая съёмка

#### 23.1. Сущность тахеометрической съёмки

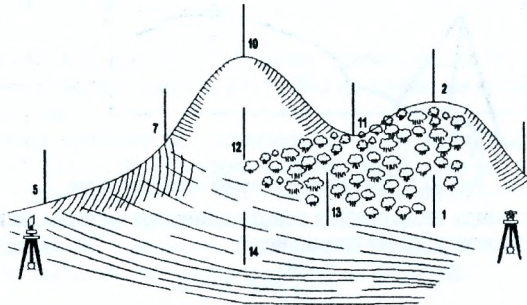
«Тахеометрия» (греч.)- быстрое измерение.

При тахеометрической съёмке одновременно определяют плановое и высотное положение точек местности, что позволяет сразу получить топографический план местности.

Плановое положение характерных точек местности определяют полярным способом, высоты - тригонометрическим нивелированием. При этом расстояния измеряют нитяным дальномером, а горизонтальные и вертикальные углы - теодолитом.

Для производства тахеометрической съёмки применяют теодолиты, имеющие вертикальный и горизонтальный круги для измерения углов, нитяной дальномер для измерения расстояний. Ноль лимба ориентируют по точкам съёмочного обоснования.

а) вид участка.



б) кроки

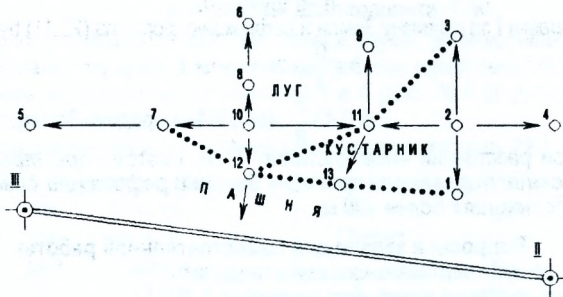


Рис. 23.1. Тахеометрическая съёмка

**Буссоль магнитная** – прибор для измерения на местности магнитных азимутов.

Для измерения магнитных азимутов буссоль устанавливают на теодолите, ориентируют и закрепляют лимб теодолита так, чтобы при совмещении нулевых штрихов буссоли с концами стрелки отсчёт по лимбу был равен  $0^{\circ}00'$ . После этого поворачивают алидаду в нужном направлении и находят магнитный азимут этого направления, снимая отсчёт по горизонтальному кругу.

Точками съёмочного обоснования могут быть пункты триангуляции, трилатерации, точки высотных теодолитных ходов.

## 23.2. Порядок работы на станции при тахеометрической съёмке

1. Устанавливают теодолит на точке съёмочного обоснования, центрируют, приводят в рабочее положение и измеряют высоту инструмента с помощью нивелирной рейки с округлением до 1 см.

2. Ориентируют лимб теодолита, для чего нуль алидады совмещают с нулём лимба, закрепляют алидаду и, вращением лимба вместе с алидадой, наводят трубу на какую-либо точку съёмочного обоснования. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят трубу на рейку, устанавливаемую на реечные точки при съёмке ситуации и пикетные точки при съёмке рельефа. После наведения прибора на рейку берут отсчёты по дальномерным нитям, горизонтальному и вертикальному кругам. Отсчёты проводятся при одном положении вертикального круга (обычно КП). Результаты полевых измерений заносят в «Журнал тахеометрической съёмки» (табл. 23.1).

3. По окончании съёмки ситуации и рельефа снова наводят трубу на точку, по которой был ориентирован лимб, и берут контрольный отсчёт, который с первоначальным отсчётом не должен расходиться более 2'.

На станции перед началом измерений составляют схематический чертёж (рис. 23.1 б) (кроки), на котором зарисовывают элементы ситуации и показывают точки. В процессе измерения полярных углов и расстояний на кроки проставляются номера пикетов.

При съёмке рельефа особое внимание уделяется выбору местоположения пикетных точек. На холме пикетные точки располагают на вершине и вдоль подошвы; в котловине - на дне и по бровкам; на хребте и ложине - по линиям водораздела и водослива. Кроме этого пикетные точки должны ограничивать (разделять на участки) скаты с равномерными уклонами. На кроки обязательно показывают стрелками направления равномерного ската рельефа.

## 23.3. Камеральная обработка результатов тахеометрической съёмки

Вычисления в журнале выполняются по формулам

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad (23.1)$$

$$d = D \cos^2 v; \quad (23.2)$$

$$h' = \frac{1}{2} (D \sin 2v); \quad (23.3)$$

$$h = h' + i - u; \quad (23.4)$$

$$H = H_{\text{ст.}} + h, \quad (23.5)$$

где  $v$  - вертикальный угол наклона;

КЛ - отсчёт по вертикальному кругу теодолита при КП;

МО - место нуля вертикального круга теодолита;

$d$  - горизонтальное проложение;

$D$  - наклонное расстояние, измеренное при помощи нитяного дальномера;

$i$  - высота инструмента;

$u$  - высота наведения (визирования);

$h$  - превышение;

$H$  - отметка пикетной точки;

$H_{\text{ст.}}$  - отметка станции.



Таблица 23.1

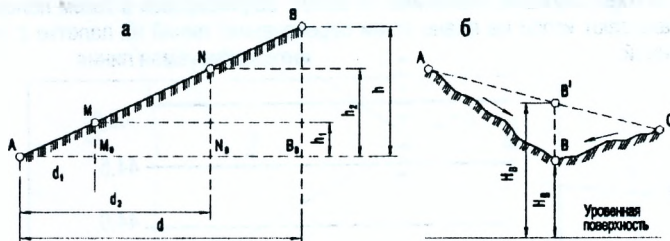
## Журнал тахеометрической съёмки

Станция II			Ориентировка на ст. III								
Высота инструмента $i=1,43\text{м}$			Место нуля $\text{МО} = -0^{\circ}01'$								
Высота станции $H_{\text{ст.}} = 43,12\text{м}$			Отсчёты		Угол наклона, $v = \text{КП} - \text{МО}$	Гор. проложение, $d = D \cos^2 v$	$h = 1/2 (D \sin 2v)$	$i - u$ , м	$h = H + i - u$ , м	$H = H_{\text{ст.}} + h$ , м	
№ точек визирования	Высота наведения, $u$	Дальномерное расстояние, $D$	Горизонтальный круг	Вертикальный круг, КП							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,43	16,25	22°42'	+0°14'	+0°15'	16,25	+0,07	0,00	+0,07	43,19	
2	1,43	21,90	57°03'	+4°43'	+4°44'	21,75	+1,79	0,00	+1,79	44,91	
3	3,00	29,06	68°23'	+3°17'	+3°18'	28,97	+1,67	-1,57	+0,10	43,22	
4	1,43	17,51	114°57'	+1°25'	+1°26'	17,50	+0,44	0,00	+0,44	43,56	
5	1,43	48,13	23°02'	+0°04'	+0°05'	48,13	+0,07	0,00	+0,07	43,19	
6	3,00	47,34	43°32'	+1°48'	+1°49'	47,20	+1,51	-1,57	-0,07	43,05	
7	1,43	55,61	25°26'	+0°33'	+0°34'	55,60	+0,55	0,00	+0,55	43,67	
8	3,00	43,57	37°30'	+2°15'	+2°16'	43,50	+1,72	-1,57	+0,15	43,27	
9	3,00	34,21	51°58'	+2°39'	+2°40'	34,14	+1,59	-1,57	+0,02	43,14	
10	1,43	40,83	30°24'	+2°35'	+2°36'	40,75	+1,85	0,00	+1,85	44,97	
11	1,43	30,06	39°33'	+1°42'	+1°43'	30,03	+0,90	0,00	+0,90	44,02	
12	1,43	38,75	21°03'	+0°31'	+0°32'	38,75	+0,36	0,00	+0,36	43,48	
13	1,43	24,50	14°44'	+0°28'	+0°29'	24,50	+0,21	0,00	+0,21	43,33	
14	1,43	40,63	6°11'	-0°12'	-0°11'	40,63	-0,13	0,00	-0,13	42,99	

### 23.4. Построение топографического плана по результатам тахеометрической съёмки

После нанесения на план точек съёмочного обоснования выполняют нанесение пикетных (реечных) точек. Пикетные точки на план наносят по значениям полярных углов и расстояний. При этом следует помнить, что на каждой станции для набора пикетов лимб теодолита был ориентирован по направлению на смежную точку съёмочного обоснования. Так, для станции II лимб был ориентирован по направлению II-III. При построении пикетов прикладывают транспортир к соответствующей вершине теодолитного хода и откладывают горизонтальные углы от направления, по которому был ориентирован лимб по ходу часовой стрелки. По полученным таким образом направлениям откладывают с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки горизонтальные проложения. Построение заметно облегчается при использовании кругового транспортира или тахеографа.

После нанесения реечных точек и построения ситуации переходят к отображению рельефа, для чего по линиям равномерного ската проводят интерполяцию - определение промежуточных значений. Интерполяцию производят только по линиям с равномерным скатом, отмеченным на кроки стрелками.



а – равномерный склон; б – неравномерный склон

Рис. 23.2. Схема интерполирования высот

Если интерполяцию провести между точками А и С (рис. 23.2 б), то вместо действительного положения точки В будет получена точка В' и соответственно вместо отметки  $H_B$  – отметка  $H_{B'}$ .

Различают интерполяцию: а) аналитическая;  
б) линейная (графическая).

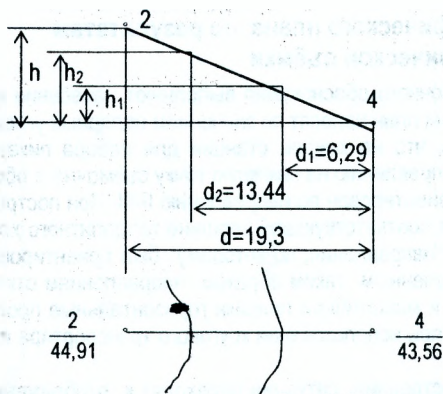
При аналитической интерполяции по известным высотам точек А и В и расстоянию  $d$  между этими точками находят значения расстояний  $d_1$  и  $d_2$  от точки а до точек М и N с отметками  $H_M$  и  $H_N$ , равными отметкам горизонталей.

$$d_1 = \frac{h_1}{h} \cdot d \quad \text{и} \quad d_2 = \frac{h_2}{h} \cdot d, \quad (23.6)$$

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

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

**Пример 23.1.** Выполнить интерполяцию между пикетными точками 2 и 4.  $H_2=44,91$ ;  $H_4=43,56$ ;  $d=19,3$ м. Высота сечения рельефа  $h=0,5$  м.



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

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

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

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

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

Рис. 23.3. Схема к примеру 23.1

При линейной (графической) интерполяции на интерполируемую линию плана накладывают палетку и поворачивают её так, чтобы конечные точки линии занимали на кальке места, соответствующие значениям их высот. Зафиксировав в таком положении палетку, накалывают иглой на плане точки пересечения линий на палетке с интерполируемой линией.

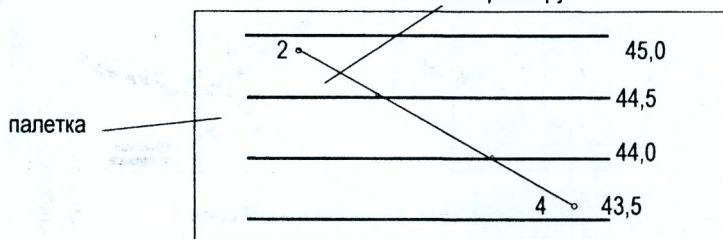


Рис. 23.4. Линейная (графическая) интерполяция

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как определяется плановое положение характерных точек местности при тахеометрической съёмке?
2. Как определяются высоты точек местности при тахеометрической съёмке?
3. Назовите порядок измерения магнитного азимута.
4. Каков порядок работы на станции при тахеометрической съёмке?
5. Назовите порядок ориентирования лимба при тахеометрической съёмке.
6. Как вычисляются отметки речных точек при тахеометрической съёмке?
7. Каков порядок нанесения пикетных точек при построении топографического плана?
8. Как выполняется аналитическая интерполяция при отображении рельефа?
9. Как выполняется графическая интерполяция при отображении рельефа?
10. Почему при отображении рельефа интерполяция выполняется только по линиям равномерного ската?

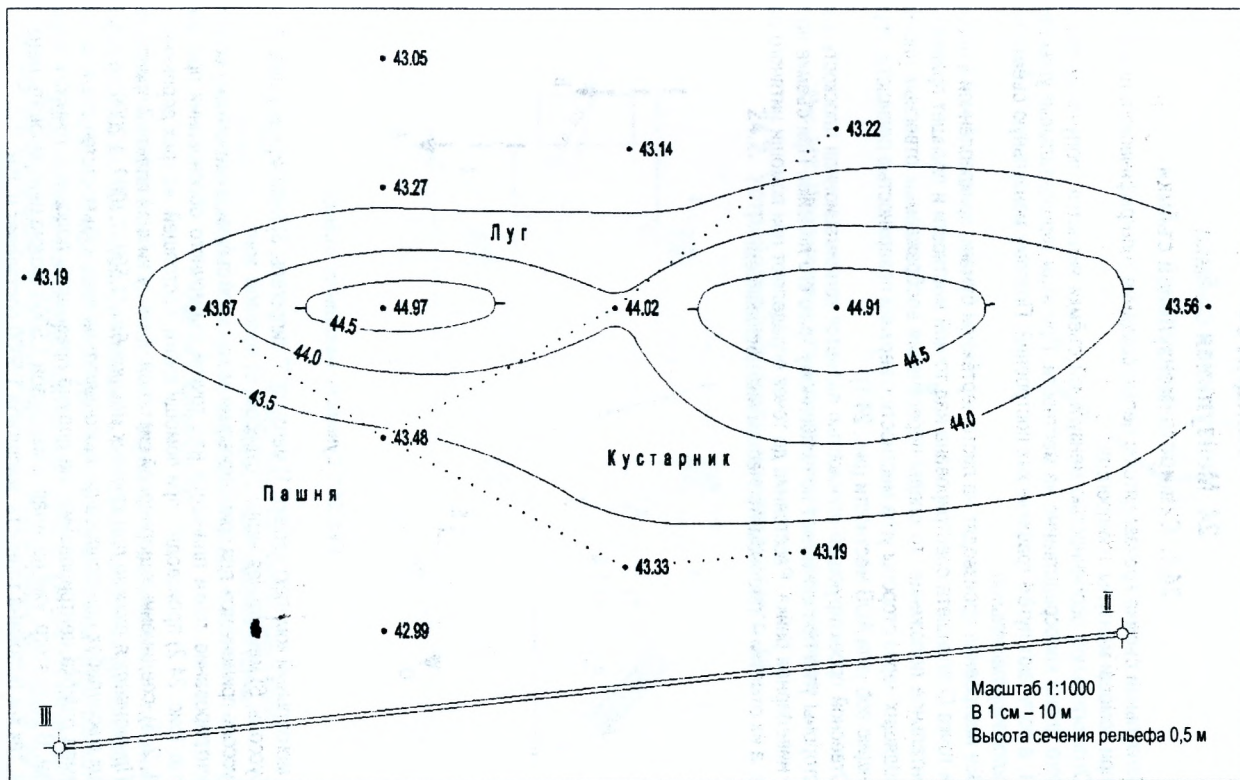


Рис. 23.5. Топографический план

## ЛЕКЦИЯ 24

### 24. Мензульная съёмка

#### 24.1. Сущность мензульной съёмки

Мензульная съёмка производится с целью создания топографического плана местности при помощи мензулы и кипрегеля.

Отличительной особенностью мензульной съёмки является получение топографического плана непосредственно на местности. При этом горизонтальные углы не измеряют, а получают путём графических построений. Поэтому мензульную съёмку называют *углоначертательной*.

Все построения производят на листе чертёжной бумаги, прикреплённой к планшету. Если точка  $O$  планшета сцентрирована над точкой местности и планшет приведён в горизонтальное положение, то следы пересечения воображаемых отвесных плоскостей, проходящих через стороны угла местности с верхней поверхностью планшета, образуют проекцию  $oab$  угла  $AOB$  местности (рис. 24.1).

Отвесной проектирующей плоскостью является коллимационная плоскость кипрегеля, стороны угла прочерчивают по скошенному краю его линейки. При съёмке применяется нивелирная рейка. Расстояние до точек определяют при помощи нитяного дальномера, а их отметки – тригонометрическим нивелированием.

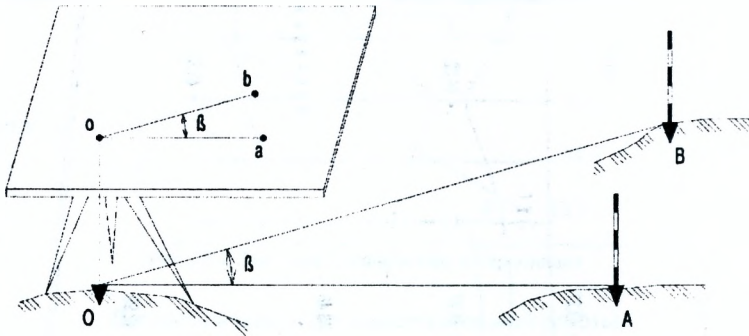


Рис. 24.1. Сущность мензульной съёмки

В мензульный комплект входит: 1) мензула; 2) кипрегель; 3) нивелирная рейка; 4) ориентир-буссоль; 5) мензульная вилка с отвесом; 6) полевой зонт.

*Буссоль* применяется для ориентирования мензульной съёмки по магнитному меридиану.

Центрирование точки планшета над точкой съёмочного обоснования при полевых работах (рис. 24.2) производят при помощи вилки, состоящей из трёх деревянных планок (1, 2, 3), соединённых шарнирной системой. К концу нижней планки 3 прикреплён отвес. Применяется только при крупных масштабах (1:500, 1:1000, 1:2000), а при более мелких масштабах центрирование выполняют на глаз. Объясняется это тем, что допустимая ошибка центрирования не должна превышать половины точности масштаба съёмки. В силу этого, уже начиная с масштаба 1:5000, можно центрировать мензулу без вилки, так как половина точности масштаба 1:5000 составляет 0,25м.



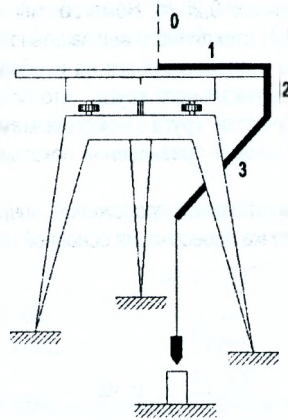
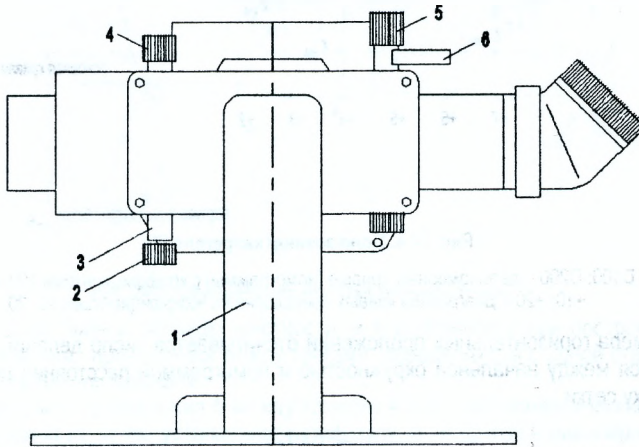


Рис. 24.2. Центрирование планшета при помощи мензуральной вилки

## 24.2. Устройство кипрегеля номограммного КН



- |                       |  |
|-----------------------|--|
| 1. колонка;           | 4. наводящий винт вертикального круга; |
| 2. колпачок;          | 5. наводящий винт зрительной трубы;    |
| 3. винт юстировочный; | 6. закрепительный винт трубы.          |

Рис. 24.3. Кипрегель КН

Кипрегель монограммный КН позволяет определять расстояния и превышения, спроецированные на горизонтальную плоскость при одном наведении зрительной трубы на вертикальную рейку. Кипрегель имеет уровень при вертикальном круге, ось которого приводят в горизонтальное положение. Зрительная труба кипрегеля КН имеет внутреннюю фокусировку, увеличение  $25\times$  и поле зрения  $1,5^\circ$ . Номограммы кипрегеля работают в пределах  $\pm 40^\circ$  и имеют коэффициенты кривых превышений 10, 20, 100 и для расстоя-

ний 100 и 200. Точность номограммы  $\pm 0,20\%$ . Номограммы превышений и расстояний нанесены на поверхность (рис. 24.4) стеклянного вертикального круга и передаются системой призм в поле зрения трубы и проектируются на изображение рейки. Зрительная труба вращается относительно вертикального круга, что позволяет при её наклоне видеть в поле зрения различные участки круга с номограммами кривых.

Знак (-) перед коэффициентом кривых превышений показывает понижение, а (+) - повышение.

*Измерение превышений и горизонтальных проложений линий выполняется при КП.*

Центром сетки нитей является точка пересечения основной кривой с отвесной линией.

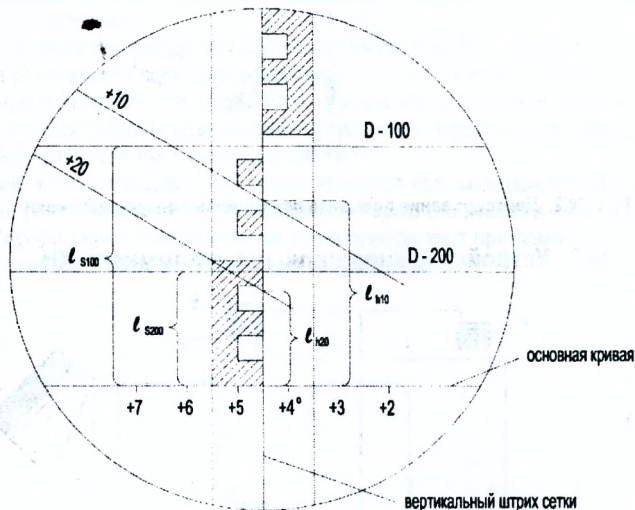


Рис. 24.4. Поле зрения кипрегеля КН

D100; D200 – дальномерные кривые (номограммы) с коэффициентами 100 и 200;  
+10; +20 – диаграммы кривых превышений с коэффициентами 10; 20.

Для замера горизонтальных проложений отсчитывается число делений рейки, укладываемое между начальной окружностью и номограммой расстояний по вертикальному штриху сетки.

$$d = K_S \cdot l_s, \quad (24.1)$$

где  $K_S$  - коэффициент номограммы, равный 100 или 200;

$l_s$  - отсчёт по рейке в сантиметрах.

Превышения  $h$  определяются по формуле

$$h = K_h \cdot l_h, \quad (24.2)$$

где  $K_h$  - коэффициент номограммы превышений;

$l_h$  - отсчёт по рейке в сантиметрах.

*Если видны две кривые превышений, то  $h$ , вычисленное по кривой с меньшим коэффициентом, будет более точным.*

**Пример 24.1.** Поле зрения кипрегеля приведено на рис. 24.4. Определить значения горизонтального проложения  $d$  и превышения  $h$ .

$$\ell_{h10} = 7,5 \text{ см};$$

$$\ell_{h20} = 3,8 \text{ см};$$

$$\ell_{s100} = 9,4 \text{ см};$$

$$\ell_{s200} = 4,7 \text{ см}.$$

$$d = 100 \cdot 9,4 \text{ см} = 9,4 \text{ м};$$

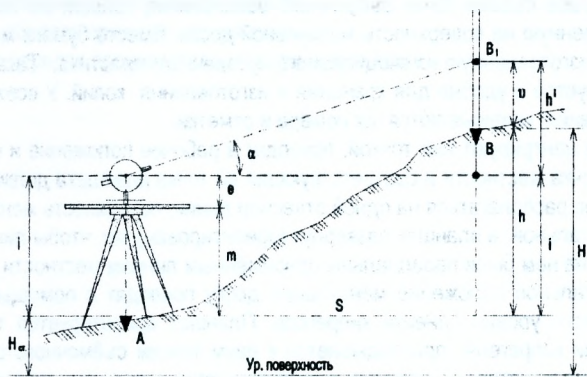
$$d = 200 \cdot 4,7 \text{ см} = 9,4 \text{ м};$$

$$h = K_h \cdot \ell_h;$$

$$h = +20 \cdot 3,8 \text{ см} = +76 \text{ см} = +0,76 \text{ м};$$

$$h = +10 \cdot 7,5 \text{ см} = +75 \text{ см} = +0,75 \text{ м}.$$

### 24.3. Вычисление отметки речной точки при мензульной съёмке



**Рис. 24.5.** Определение отметки речной точки

При мензульной съёмке рельефа местности, и в особенности при построении съёмочного обоснования, превышения между точками определяются с одной станции тригонометрическим нивелированием.

Для определения превышения  $h$  между точками А и В тригонометрическим нивелированием на одной из точек устанавливают мензулу, а на другой – нивелирную рейку. Пусть горизонтальное проложение между точками А и В равно  $d$ . На станции измеряют высоту инструмента  $i$ , представляющую отрезок отвесной линии от точки А до оси вращения зрительной трубы. Определяют высоту наведения  $\nu$  от точки В до точки В<sub>1</sub>, на которую производится визирование. Из рис. 24.5 видно, что

$$\left. \begin{aligned} H_r &= H_{ст} + h \\ h &= h' + (i - \nu) \\ h' &= d \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (24.3)$$

где  $H_{ст}$  - отметка станции;  
 $i$  - высота инструмента;  
 $\nu$  - высота наведения;  
 $d$  - горизонтальное проложение.

- Высота инструмента  $i$  равна сумме двух частей ( $e + m$ );  
здесь  $e$  – постоянная для данного мензульного комплекта – от нижней поверхности доски до оси вращения зрительной трубы;
  - $m$  – расстояние от нижней поверхности доски до точки съёмочного обоснования.
- При учёте поправки  $k$  за кривизну Земли и поправки  $g$  за рефракцию превышение между точками А и В определится по формуле

$$h = d \operatorname{tg} \alpha + i - v + k - g. \quad (24.4)$$

Величины  $k$  и  $g$  при крупномасштабных съёмках не учитываются.

## 24.4. Порядок производства мензульной съёмки

Сущность топографической съёмки с помощью мензульного комплекта состоит в следующем.

1. Создают плано-высотное съёмочное обоснование. Густота точек обоснования и точность измерений при этом определяются целью работ и масштабом съёмки.
2. В масштабе съёмки точки съёмочного обоснования наносят по координатам на бумагу, наклеенную на поверхность мензульной доски. Вместо бумаги можно использовать плёнку, изготовленную из специального прозрачного пластика. Такая плёнка почти не деформируется и удобна для хранения и изготовления копий. У всех точек съёмочного обоснования выписываются их номера и отметки.
3. Мензулу центрируют над точкой, приводят в рабочее положение и ориентируют. В результате точка местности и соответствующая ей точка планшета должны с необходимой точностью располагаться на одной отвесной линии, поверхность мензульной доски – быть горизонтальной, а планшет развернут (ориентирован) так, чтобы линии съёмочного обоснования на нем были параллельны одноимённым линиям местности.

В горизонтальное положение мензульную доску приводят с помощью выверенного цилиндрического уровня линейки кипрегеля. Планшет ориентируется так. Скошенное ребро линейки кипрегеля прикладывается к двум точкам съёмочного обоснования на планшете, одна из которых – станция, а вторая хорошо видна при установке у неё вехи (точки О и В рис. 24.1). Планшет поворачивается руками до появления вехи точки В в поле зрения кипрегеля. Окончательно вертикальная нить наводится на веху точки В микрометренным винтом подставки. Правильность ориентирования устанавливается по второй видимой с данной станции точке съёмочного обоснования (точка А). Для этого кипрегель прикладывается скошенным ребром линейки к точке – станции планшета и поворачивается вокруг неё до совмещения вехи точки А с вертикальной нитью зрительной трубы. При этом скошенное ребро линейки кипрегеля не должно уклоняться от точки А на планшете более чем на 0,5 мм. Если уклонение будет большим, то нужно проверить правильность исходной ориентировки.

4. Кипрегель располагается на мензульной доске недалеко от точки съёмочного обоснования (станции) и поворачивается до тех пор, пока вертикальная нить сетки нитей зрительной трубы не будет направлена на снимаемую точку, в которой установлена отвесно рейка. По дальномеру трубы кипрегеля определяется расстояние от станции до снимаемой точки. Линейка-параллелограмм перемещается до совпадения её скошенного ребра со станцией на планшете. Горизонтальное расстояние от прибора до рейки откладывается измерителем по скошенному ребру вспомогательной линейки.

5. Таким же методом находится положение остальных снимаемых точек. Соответствующие точки ситуации соединяются условным знаком контура. В результате получается его изображение на планшете.

6. Плановое положение характерных рельефных точек определяют так же, как и контурных. При этом определяют отметки речных точек по формулам (24.3).

7. Между характерными точками по линии равномерного ската производится интерполирование горизонталей.

### **Вопросы и задачи для самостоятельной работы**

1. Для какой цели производится мензульная съёмка?
2. Почему мензульная съёмка называется углоначертательной?
3. Что входит в состав мензульного комплекта?
4. Для каких целей и при каких масштабах съёмки применяется мензульная вилка?
5. Как при помощи кипрегеля измерить горизонтальное проложение до речной точки?
6. Как определить отметку речной точки?
7. Назовите порядок ориентирования планшета.
8. Опишите порядок производства мензульной съёмки.



## ЛЕКЦИЯ 25

### 25. Поверки мензулы и кипрегеля

Перед началом полевых измерений производится механический осмотр мензулы, кипрегеля и принадлежностей. Затем испытывают работу подъемных винтов подставки, крепежных и микрометрических винтов мензулы и кипрегеля, надежность крепления ножек штатива с его металлической головкой и башмаками. После этого выполняют поверки.

#### 25.1. Поверки мензулы

**1. Мензула должна быть устойчива.** На прочно установленную мензулу ставят кипрегель, центр сетки нитей его трубы наводят на удаленную хорошо видимую точку. На край планшета нажимают (легко) рукой с обоих боков. Если центр сетки не возвращается в исходное положение после прекращения действия силы, то устанавливают причины неустойчивости мензулы и устраняют их.

**2. Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью.** Требование считается выполненным, если ребро хорошо выверенной линейки, прикладываемой в различных направлениях к поверхности доски, уклоняется в разных местах от планшета не более чем на 0,5 мм.

**3. Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна к оси его вращения.** Поверка производится с помощью хорошо выверенного цилиндрического уровня кипрегеля. Для этого вращением подъемных винтов подставки планшет приводится в рабочее (горизонтальное) положение и вращается. Если при этом пузырек цилиндрического уровня при линейке кипрегеля уклоняется от середины более чем на два деления, то необходимо найти причину отклонения и ликвидировать ее.

#### 25.2. Поверки кипрегеля

**1. Скошенный край линейки кипрегеля должен представлять прямую линию, а нижняя поверхность ее должна быть плоскостью.** Линейку кипрегеля проверяют как всякую линейку, по которой прочерчивают прямые линии. Устанавливают кипрегель на бумагу и прочерчивают линию по линейке. К прочерченной линии приставляют линейку с другой стороны и прочерчивают линию. Две линии должны слиться. Нижнюю поверхность проверяют прикладыванием линейки к поверхности, принимаемой за плоскость.

**2. Дополнительная линейка кипрегеля должна перемещаться параллельно скошенному ребру основной линейки.** Поверка производится прочерчиванием линий по скошенному ребру основной линейки и несколько раз по дополнительной, при ее перемещениях по плоскости планшета, с последующим измерением расстояний между этими линиями с помощью измерителя и масштабной линейки.

**3. Ось цилиндрического уровня на линейке должна быть параллельна ее нижней опорной части.** Для поверки планшет мензулы устанавливается в горизонтальное положение, кипрегель поверяемым уровнем ориентируется по направлению двух подъемных винтов подставки. Их вращением в противоположные стороны пузырек уровня приводится на середину. У скошенного ребра линейки прочерчивается линия. Кипрегель переставляется около этой линии на  $180^\circ$ . Если пузырек сошел с середины, то на половину дуги отклонения он возвращается к середине вращением шпилькой исправительного винта уровня. Оставшаяся половина устраняется вращением подъемных винтов, после чего поверка повторяется.

**4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.** Это условие проверяют точно так, как определяют С- коллимационную ошибку теодолита, лишь вместо отсчетов по лимбу прочерчивают линии на планшете вдоль линейки кипрегеля после наведения на точку при обоих положениях вертикального круга.

Планшет мензулы приводится в горизонтальное положение. Кипрегель устанавливается примерно посередине планшета, и центр его сетки нитей наводится на удаленную точку, расположенную примерно в плоскости горизонта прибора. По скошенному краю линейки прочерчивается линия. Труба переводится через зенит, прибор переставляется у линии на  $180^\circ$ , центр сетки его нитей вновь наводится на эту же точку. По скошенному краю линейки повторно проводится линия. Она должна совпасть с первой или быть параллельна ей.

5. **Ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней (опорной) плоскости линейки.** Проверка соответствует третьей проверке теодолита. Для ее выполнения планшет мензулы приводится в горизонтальное положение. Кипрегель устанавливается примерно посередине планшета, выбирается высоко расположенная точка М, которая проектируется вниз дважды при КП и КЛ, где помощник помечает карандашом проекцию пересечения сетки нитей (точки  $M_1$  и  $M_2$ ). Условие выполняется при совпадении точек  $M_1$  и  $M_2$

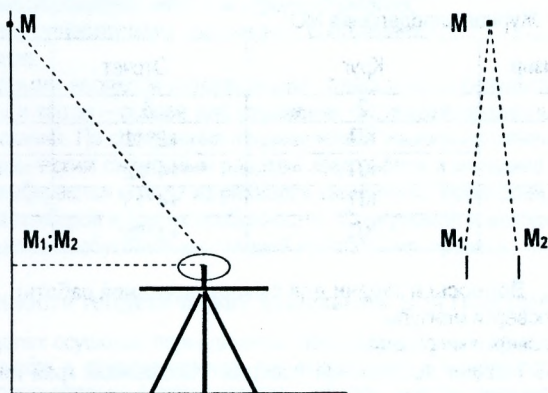


Рис. 25.1 К определению параллельности оси вращения зрительной трубы нижней плоскости линейки

6. Вертикальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси кипрегеля (оси вращения зрительной трубы). Наводят визирную ось трубы на точку и, работая наводящим винтом трубы, наклоняют трубу вверх и вниз. Если при этом точка не будет сходиться с вертикальной нити, то условие выполнено. Исправление производится поворотом сетки нитей.

7. Коллимационная плоскость зрительной трубы должна проходить через скошенный край линейки или быть ему параллельной. Для проверки планшет приводится в горизонтальное положение, кипрегель устанавливается примерно посередине планшета и выполняется визирование на удаленную хорошо видимую точку. Затем у концов скошенного края линейки устанавливаются отвесно две тонкие иглы. Плоскость визирования через середины этих игл должна быть направлена на точку. В современных кипрегелях это условие гарантируется заводом.

8. Место нуля (МО) вертикального круга должно быть равно  $0^\circ$  у кипрегелей КБ и КН и  $90^\circ$  у кипрегелей КБ-1 и КА-2. Из наблюдений на 2-3 точки определяют значение МО по формуле

$$MO = \frac{KP - KL}{2} \quad (25.1)$$

При  $MO > 1'$  место нуля необходимо привести к нулю. Для этого наводят трубу на одну из точек при КП и вращением наводящего винта 4 вертикального круга (рис. 24.) устанавливают в поле зрения отсчет, соответствующий величине угла наклона, вычисленной по формулам

$$v = \frac{КП + КЛ}{2}; \quad (25.2)$$

$$v = КП - MO; \quad (25.3)$$

$$v = КЛ + MO. \quad (25.4)$$

Затем исправительным винтом 3 уровня, соединительного с вертикальным кругом, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Для того чтобы получить доступ к исправительным винтам уровня, необходимо снять колпачок 2 (рис. 24.3)

Результаты измерений и вычислений записывают в таблицу.

Таблица 25.1 Журнал определения MO

№№ точек визир.	Круг	Отсчет	МО v
1	2	3	4
1	КП	+5°11'	+9'30"
	КЛ	+4°52'	+5°01'30"
2	КП	+4°13'	+9'00"
	КЛ	+3°55'	+4°04'

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Назовите поверки мензулы.
2. Назовите поверки кипрегеля.
3. Расскажите порядок выполнения поверки: «Скошенный край линейки кипрегеля должен представлять прямую линию, а нижняя поверхность ее должна быть плоскостью».
4. Расскажите порядок выполнения поверки: «Дополнительная линейка кипрегеля должна перемещаться параллельно скошенному ребру основной линейки».
5. Расскажите порядок выполнения поверки: «Ось цилиндрического уровня на линейке должна быть параллельна ее нижней опорной части».
6. Расскажите порядок выполнения поверки: «Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы».
7. Расскажите порядок выполнения поверки: «Ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней (опорной) плоскости линейки».
8. Расскажите порядок выполнения поверки: «Вертикальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси кипрегеля (оси вращения зрительной трубы)».
9. Расскажите порядок выполнения поверки: «Коллимационная плоскость зрительной трубы должна проходить через скошенный край линейки или быть ему параллельной».
10. Как определить значение MO для кипрегеля?
11. Как привести MO кипрегеля к нулю?
12. Назовите формулы вычисления значения угла наклона для кипрегеля.
13. Определить MO кипрегеля и вертикальный угол v, если отсчёты по вертикальному кругу известны: КП= + 6°22'; КЛ= + 5°01'.

## ЛЕКЦИЯ 26

### 26. Виды и задачи инженерно-геодезических изысканий

Составлению инженерного проекта, связанного с использованием поверхности Земли и её недр, предшествуют *инженерные изыскания* - обширный комплекс полевых, камеральных и лабораторных работ, имеющих целью изучение условий строительства и эксплуатации инженерного сооружения. Программа инженерных изысканий включает:

1. Инженерно-геодезические;
2. Инженерно-геологические;
3. Гидрологические;
4. Гидрогеологические;
5. Почвенные;
6. Климатологические;
7. Изыскания месторождений местных стройматериалов;
8. Обследование существующих инженерных сооружений;
9. Экономические.

При этом исходными являются геодезические изыскания, в результате которых составляются планы и карты – основа для отражения систематизированных показателей специальных изысканий. По содержанию геодезические изыскания отвечают ранее рассмотренным геодезическим съёмочным работам. Вид съёмки и методика измерений при их производстве выбираются исходя из размеров снимаемой территории, условий местности, имеющихся приборов и других особенностей. Содержание и методика инженерно-геодезических изысканий обусловлены стадией составления проекта.

#### 26.1. Особенности геодезических изысканий для гидромелиорации

При съёмке в целях осушения периодически переувлажняемых земель требования к изображению рельефа в микрозападинах, где скапливаются поверхностные воды, повышены. Здесь дополнительно к горизонталям необходимо проводить вспомогательные горизонтали и оставлять на плане достаточное число точек с измеренными на местности отметками. Такие же точки нужны и на водоразделах между микрозападинами.

При съёмке участков для строительства прудов и других искусственных водоёмов особое внимание уделяется рельефу, водным источникам и месту расположения будущей плотины, для которого масштаб съёмки должен быть крупнее (1:500; 1:1000), чем для остальной территории. Кроме того, в зависимости от размеров и вида плотины, а также её гидротехнических элементов в этих местах густота реперов должна быть большей.

В процессе съёмки для осушения или орошения точки съёмочного обоснования должны закрепляться надёжнее с расчётом на длительную их сохранность вообще и, особенно, в высотном отношении.

*Съёмка заболоченных участков* может осложняться неустойчивостью грунта и необходимостью получить данные о глубинах торфяного массива и всех водных источниках, питающих болото и отводящих из него воду. Нивелировать заболоченные участки лучше нивелирами с самоустанавливающейся линией визирования. В некоторых случаях приходится устанавливать ножки штатива на специально вбитые колья. Рейки также нужно устанавливать на прочно вбитые в грунт колья. Большие болота удобнее нивелировать после замерзания грунта и воды. Глубины торфа определяются его зондированием по поперечникам, разбиваемым в зависимости от конкретных условий через 100 и более метров. Геодезические изыскания на больших болотных массивах желательно проводить при участии почвоведов.



## 26.2. Геодезические работы при съёмке водоёмов и рек

Съёмка водоёмов и рек может быть обычной, выполняемой при геодезических изысканиях, и специальной как водоприемника, водоисточника, водохранилища и как источника водного транспорта. В первом случае реки и водоёмы снимаются как элементы геодезической ситуации с определением их характеристик (высоты уровней воды, характерных глубин, скорости течения, уклонов и т.д.). Специальные съёмки предусматривают дополнительно изображение рельефа их дна, определение объёма водохранилищ, гидрологических характеристик рек и др.

Масштабы съёмок озёр, водохранилищ и рек, а также высота сечения рельефа их дна определяются назначением этих работ и размерами снимаемой территории. Так, при площади водохранилища (или участка под него) до 50 га съёмку принято производить в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 0,5 м по дну и 1 м на склонах. При площадях от 50 до 300 га рекомендуемый масштаб принимается 1:5000, высота сечения рельефа по дну и по склону составляют соответственно 1 и 2 м. При площади более 1000 га съёмка может производиться в масштабе 1:25000 при высотах сечения рельефа соответственно 2 и 5 м. Однако названные масштабы и высоты сечения рельефа могут быть обоснованно приняты другими.

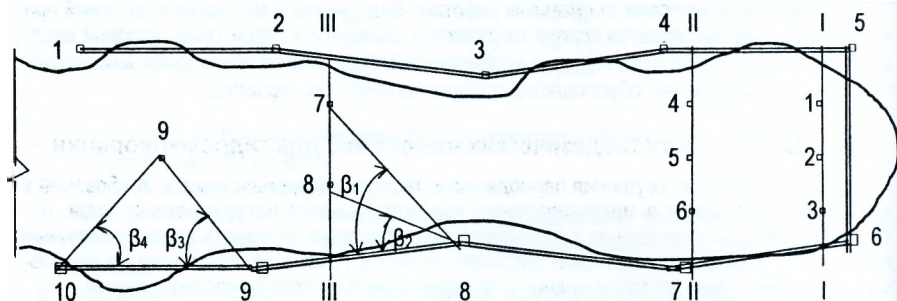


Рис. 26.1. Определение планового положения промерочных точек при съёмке водоёма

Съёмка водоёма начинается с создания вокруг него или у снимаемой его части съёмочного обоснования. Съёмке подвергаются прибрежная полоса, положение водной поверхности и дно водоёма. Положение водной поверхности устанавливается определением её высот методом геометрического нивелирования от точек съёмочного обоснования. При этом для устранения влияния колебаний поверхности воды от ветра и других внешних факторов воду необходимо отвести из водоёма небольшими траншеями и вбить там колья так, чтобы плоскость их верхнего среза совпадала с поверхностью воды. Расстояние между такими точками (точки определения высот урезов воды) должно быть равномерным и не превышать 5 см на плане. Если высоты урезов воды определялись в различное время, то их надо привести к одному уровню по данным гидрологических наблюдений водомерных постов. При отсутствии постов работы должны выполняться на всём водоёме с небольшими разрывами во времени и при одинаковых условиях.

Съёмка дна водоёма производится промерами глубин в определённой системе по точкам створов, созданных с точек съёмочного обоснования.



Плановое положение точек 1-3 и 4-6 створов I-I и II-II легко определяется по маркированному через 1 или 0,5 м тросу, натягиваемому над водой или располагаемому на поплавах.

Положение точек 7 и 8, находящихся в створе III-II, может быть определено измерением углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

В соответствующих условиях положение промерочной точки 9 может быть определено одновременным измерением углов  $\beta_3$  и  $\beta_4$  двумя теодолитами.

Для измерения глубин с учётом конкретных условий могут использоваться:

- Обычная нивелирная рейка;
- Наметка - шест длиной 5-7 м, размеченный на метровые и дециметровые интервалы;
- Ручной лот - конический металлический груз массой 3-5 кг на маркированном метровыми и дециметровыми делениями капроновом канате длиной 20 и более метров.
- Глубины в несколько десятков и сотен метров измеряются эхолотами путём измерения времени прохождения ультразвукового сигнала от поверхности воды до дна и обратно.

По результатам съёмки водоёма составляется план. На нём дно показывается горизонталями, которые называются *изобатами* - линиями равных глубин.

*Уклоны поверхности воды в реке* устанавливаются нивелированием уровней воды в характерных точках. Для этого у берегов роятся небольшие канавки, отводящие воду. В них вбиваются колья так, чтобы их срезы совпадали с поверхностью воды. Отметки верха колея находятся геометрическим нивелированием, выполняемым от точек съёмочного обоснования. Плановое положение этих точек обычно совмещается со створами или привязывается к съёмочному обоснованию. Уклон будет равен отношению разности высот смежных уровней воды к горизонтальному расстоянию между ними.

### 26.3. Нивелирование через водные преграды

Характерной особенностью инженерных изысканий для мелиоративного строительства является относительно частая необходимость нивелирования через водные преграды (реки, каналы, небольшие озёра). При нивелировании через водные преграды в первую очередь следует выбирать благоприятные места для передачи отметки на другой берег (наиболее узкое русло, пологие берега, наличие островов).

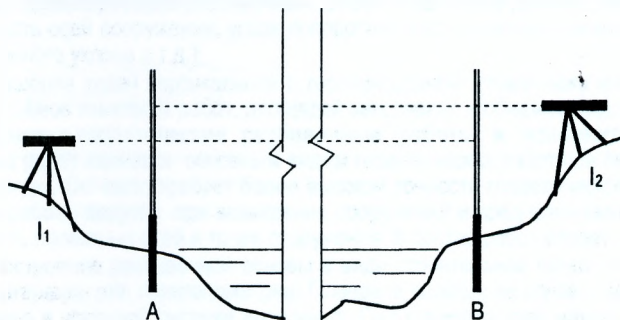


Рис. 26.2. Нивелирование через водные преграды

На обоих берегах близко к урезу воды (в точках А и В) забивают два кола. Расстояния  $I_1A$  и  $BI_2$  должны быть приблизительно равными.

Со станции  $I_1$  берут отсчеты по обеим сторонам ближней рейки в точке А, а затем дальней - в точке В. После записи отсчетов нивелир перевозят на другой берег и устанавливают на станции  $I_2$ . Не меняя фокусировки трубы берут отсчеты соответственно по дальней рейке в точке А и далее наводят на ближнюю рейку в точке В, чем заканчивается первый приём. Второй приём производят в том же порядке, но в другое время дня. За окончательное значение превышения принимается среднее из двух приёмов, расхождение между которыми не должно превышать 8мм.

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Для каких целей выполняются инженерные изыскания?
2. Какие виды изысканий включает в себя программа инженерных изысканий?
3. Почему геодезические изыскания являются исходными в программе инженерных изысканий?
4. Назовите особенности геодезических изысканий при съёмке заболоченных участков?
5. Какие геодезические работы выполняются при съёмке водоёмов и рек?
6. Как выполняются измерения глубин с учётом конкретных условий?
7. Как выполняется нивелирование через водные преграды?
8. Как установить уклон участка реки?

## ЛЕКЦИЯ 27

### 27. Состав и организация геодезических работ при строительстве инженерных сооружений. Генеральный план

#### 27.1. Состав работ

В зависимости от этапа строительства различают следующие виды геодезических работ:

- Инженерно-геодезические изыскания;
- Инженерно-геодезическое проектирование;
- Инженерно-геодезические разбивочные работы и исполнительные съёмки;
- Выверка конструкций и агрегатов;
- Наблюдения за деформациями оснований и сооружений.

Каждый из этих пяти видов работ связан с определённым этапом строительства и отличается решаемыми задачами и точностью измерений.

**Инженерно-геодезические изыскания** служат основой для проектирования сооружений. Этот вид работ включает:

- Создание съёмочного обоснования и инженерно-топографические съёмки. В результате получают топографические планы местности и каталог координат и высот существующей сети и вновь созданной;
- Трассирование линейных сооружений. В результате этого вида работ получают продольные и поперечные профили трасс сооружений, продольные и поперечные профили рек и каналов в случае мелиорации и строительства мелиоративных каналов, трубопроводов;
- Геодезическую привязку геологических выработок (скважины, шурфы, шахты и т.п.), гидрологических створов. В результате этого вида работ получают каталоги координат и высот точек геологических выработок.

**Инженерно-геодезическое проектирование** крупных объектов строительства (ГЭС, АЭС, автомобильных дорог большой протяжённости, промышленных предприятий и т.д.) начинают в период изысканий и ведут его по мере поступления материала. При этом в момент проектирования часто возникает необходимость дополнительных изысканий. Инженерно-геодезическое проектирование включает:

- Составление для проектирования сооружений планов в необходимых масштабах, профилей и других материалов;
- Геодезическую подготовку данных для перенесения проектов сооружений в натуру, проектирование разбивочных работ (подготовка данных для выноса на местность осей сооружений, углов поворота трасс, проектных линий, высот, линий заданного уклона и т.д.);
- Решение задач вертикальной и горизонтальной планировки местности, подсчёт объёмов земляных работ, площадей затопления и объёмов водохранилищ.

**Инженерно-геодезические разбивочные работы и исполнительные съёмки.** Этот вид работ является основным видом геодезических работ при перенесении проектов в натуру. Он часто требует более высокой точности геодезической основы. Разбивочные работы ведутся при возведении сооружений и предназначаются для выноса на местность проектных осей и точек сооружения. В состав работ входят:

- Построение разбивочной основы в виде строительной сетки, триангуляции, трилатерации или полигонометрии. Плановое положение основы может быть выполнено в условной системе координат. При строительстве малых объектов она может быть в виде замкнутого или разомкнутого теодолитного хода;

- Для сооружений линейного типа в эти работы входит восстановление трассы, детальная разбивка круговых кривых. Вынос линий с заданным уклоном, разбивка земляного полотна или профилей каналов, дамб и т.д.;
- Исполнительные съёмки.

**При выверке конструкций и агрегатов** устанавливаются в проектное положение в плане, по высоте и по вертикали различных конструкций и агрегатов (колонны, подкрановые балки и рельсы, технологическое оборудование, фундаменты под линии проката и т.д.).

**Наблюдения за осадками и деформациями сооружений или отдельных конструкций**, как правило, ведутся с начала строительства и продолжаются в период эксплуатации сооружения. Выполняются высокоточными методами и включают:

- Определение осадок оснований и фундаментов;
- Определение кренов (наклонов) высотных зданий, башен, труб и т.д.

От этих видов работ зависит нормальная эксплуатация сооружения. Они позволяют вовремя наметить меры по устранению недопустимых деформаций и обосновывают правильность теоретических расчётов устойчивости сооружений.

## 27.2. Организация геодезических работ в строительстве

При строительстве инженерных сооружений возможны следующие формы организации геодезических работ:

1. Все геодезические работы выполняются полностью на всех этапах строительства специальной геодезической организацией или силами специально созданной геодезической группой. В этом случае в задачу строителей входит утверждение планов и смет на геодезические работы, а также контроль за ходом геодезических работ. Такая форма организации целесообразна при строительстве крупных инженерных сооружений, промышленных предприятий, ГЭС, АЭС, городов и т.д.;
2. Наиболее сложные работы выполняются силами геодезической организации или геодезической группы, а строители выполняют менее сложные геодезические работы. В этом случае непосредственно выполняют полевые и камеральные работы. Такая форма организации практикуется при жилищном строительстве в городах;
3. Наиболее сложные геодезические работы (создание разбивочной основы, съёмка местности крупного масштаба и т.д.) выполняются силами геодезической организации или группы, а менее сложные - прикомандированным к каждому, сравнительно небольшому строительству, техником или инженером-геодезистом. За строителями, в этом случае, остаются лишь контрольные функции и согласование во времени тех или иных работ. Такая форма практикуется при каркасно-панельном строительстве жилых домов;
4. Все геодезические работы (съёмочные и разбивочные) выполняются строителями. Такая форма организации геодезических работ возможна на небольших и несложных объектах, например, при строительстве 1-4-х этажных жилых зданий в существующей застройке.

Любая из перечисленных форм может изменяться и выбирается руководством строительной организации. При любой форме организации строитель должен иметь запас знаний, который позволил бы ему самостоятельно выполнять съёмку участка под небольшие объекты, произвести все разбивочные работы зданий, включая ввод в дом



коммуникаций и вертикальную планировку около зданий. Строитель должен понимать назначение и содержание любых геодезических работ на строительстве, чтобы компетентно участвовать в разработке и утверждении программ и планов геодезических работ и вести наблюдение за их выполнением.

### 27.3. Генеральный план. Виды генеральных планов и их назначение

**Генеральным планом (генпланом)** называют крупномасштабный топографический план, на котором нанесён весь комплекс наземных, подземных и воздушных сооружений.

В зависимости от того, являются ли изображённые сооружения проектируемыми или уже построенными, на местности различают **проектный генплан или исполнительный**. На проектный генплан наносятся все построенные сооружения: промышленные, транспортные, городские и т.д. с указанием координат главных осевых точек и отметок основных горизонтов.

Отдельным видом проектного генплана является **строительный генеральный план (стройгенплан)**, на котором даётся проект размещения временных и подсобных сооружений, необходимых для строительства постоянных сооружений.

Проектный генплан является основным документом для выноса проектов сооружений в натуру.

Окончательный – **исполнительный генплан** составляется после завершения строительства. На нём наносятся все построенные здания и сооружения, подлежащие сдаче в эксплуатацию. Он является основным документом построенного сооружения. План составляется на основании исполнительных съёмов, выполняемых по мере возведения объектов.

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Какие задачи решаются при инженерно-геодезических изысканиях?
2. Какие задачи решаются при инженерно-геодезическом проектировании?
3. Какие работы выполняются при инженерно-геодезических разбивочных работах и исполнительных съёмках?
4. Что такое генеральный план?
5. Что такое строительный генеральный план?



## ЛЕКЦИЯ 28

### 28.1. Геодезическая подготовка данных для перенесения проектов сооружений в натуру

Под перенесением проектов сооружений в натуру понимают обозначение и закрепление на местности точек, определяющих положение объекта и его размеры в соответствии с проектом.

Для перенесения проектов сооружений в натуру составляются *разбивочные чертежи*, которые определяют положение основных точек сооружений. Данные для составления разбивочных чертежей можно получить *аналитическим, графическим или комбинированным* способом.

Сущность *аналитического* способа состоит в том, что все данные, определяющие положение сооружения в горизонтальной плоскости, т.е. координаты точек, дирекционные углы и длины линий вычисляются аналитически путём решения обратной геодезической задачи (лекция 3). По результатам расчётов составляется *разбивочный чертёж*.

*Разбивочный чертёж* - чертёж, содержащий все необходимые данные для перенесения отдельных элементов сооружения в натуру.

Преимуществом этого способа является то, что проектирование можно производить с любой заданной точностью, которая не зависит от масштаба плана.

При *графическом* способе подготовки данных для перенесения проектов сооружений в натуру координаты точек, длины линий и дирекционные углы получают по плану с помощью измерителя, поперечного масштаба и транспортира. Точность графического способа зависит от масштаба плана, и её можно подсчитать по формуле

$$m = \pm t \cdot M, \quad (28.1)$$

где:  $t$  – предельная точность нормального поперечного масштаба, равная  $\pm 0,2$  мм;

$M$  – знаменатель численного масштаба плана или карты.

Например, при масштабе плана 1:2000, точность подготовки данных будет  $m = \pm 0,2 \cdot 2000 = \pm 0,4$  м.

Недостатком способа является зависимость его точности от масштаба карты.

Сущность *комбинированного* способа подготовки данных по перенесению проектов сооружений в натуру заключается в том, что координаты некоторых точек вычисляются аналитически, а другие определяются графически, т.е. проектирование производят сочетанием графического и аналитического способов. Этот способ наиболее распространён в практике.

Перенесение проекта сооружения в натуру может производиться в плане от пунктов триангуляции, трилатерации, полигонометрии, пунктов строительной сетки и точек теодолитных ходов, а по высоте от реперов нивелирования или точек, закреплённых на местности, высоты которых известны.

При перенесении проектов возникают следующие работы:

1. Построение на местности проектных углов;
2. Построение на местности проектных длин линий;
3. Построение на местности точки с заданной проектной отметкой;
4. Построение на местности линий или плоскостей с проектным уклоном.

При перенесении в натуру отдельных точек применяются следующие способы:

1. Способ прямоугольных координат;
2. Способ полярных координат;
3. Способ угловых засечек;
4. Способ линейных засечек;
5. Способ створной засечки.

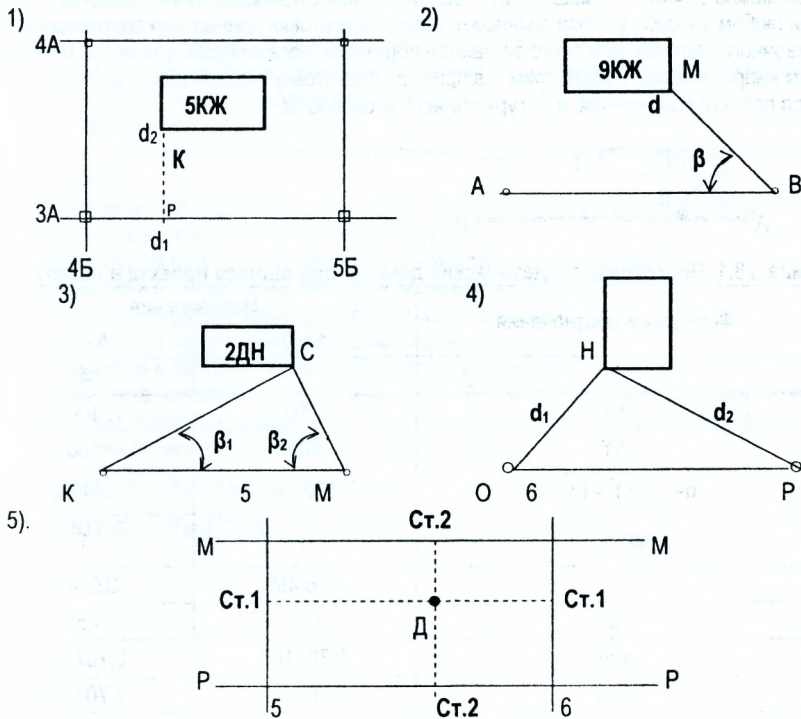


Рис. 28.1. Способы выноса проекта в натуру

Способ *прямоугольных координат* (рис. 28.1 1) применяется для разбивки зданий и сооружений, расположенных вблизи линий геодезической опорной сети. От пункта 3А/4Б строительной сетки по стороне 3А/4Б – 3А/5Б мерным прибором откладывается проектное расстояние  $d_1$  до основания Р перпендикуляра, теодолитом строится прямой угол и откладывается проектная длина  $d_2$ , где окончательно фиксируется точка К.

Способ *полярных координат* (рис. 28.1 2). С пункта В геодезической основы проектная точка М определяется в натуре путём построения теодолитом проектного угла  $\beta$  и проектного расстояния  $d$  при помощи мерного прибора.

Способ *угловой засечки* (рис. 28.1 3). Положение проектной точки С определяется построением в пунктах К и М проектных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  при помощи теодолитов. Точкой С является точка пересечения направлений КС и МС. Наибольшая точность выноса точки С в случае, когда угол при точке С близок к  $90^\circ$ , а стороны КС и МС приблизительно равны между собой.

Способ линейной засечки (рис. 28.1 4) применяется на ровной, открытой местности, когда проектные расстояния  $d_1$  и  $d_2$  не превышают длины мерного прибора. Положение проектной точки Н определяется пересечением проектных отрезков ОН и РН, отложенных от пунктов О и Р опорной геодезической сети.

Способ створной засечки (рис. 28.1 5). Целесообразно применять при наличии закреплённых на местности главных или основных осей сооружения. Точка Д определяется пересечением двух створов 1-1 и 2-2, закреплённых на противоположных осях сооружения. Створы можно строить с помощью двух теодолитов или с помощью тонких проволок.

При любом способе выноса возникает задача подготовки данных для составления разбивочного чертежа. Для этого решаются обратные геодезические задачи по необходимым направлениям. Рассмотрим на примере подготовку геодезических данных для выноса проекта сооружения в натуру полярным способом.

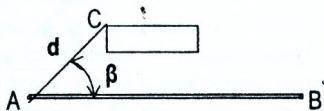


Таблица 28.1 Подготовка геодезических данных для выноса проекта в натуру

№ п/п	Формулы и обозначения	Направления	
		А - В	А - С
1	2	3	4
1	$\Delta X$	-200	100
2	$\Delta Y$	200	100
3	$d = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$	282,84	141,42
4	$\text{tgr} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$	1	1
5	r	ЮВ: 45°	СВ: 45°
6	$\alpha$	135°	45°
7	$\sin r$	0,707107	0,707107
8	$\cos r$	0,707107	0,707107
9	$d = \frac{\Delta Y}{\sin r}$	282.84	141.42
10	$d = \frac{\Delta X}{\cos r}$	282.84	141.42
11	$d_{CP}$	282.84	141.42
12	$\beta = \alpha_{A-B} - \alpha_{A-C}$	$\beta = 135^\circ - 45^\circ = 90^\circ$	

**Пример 28.1.** Определить элементы  $\beta$  и  $d$  разбивочных работ для выноса точки С сооружения от пунктов А и В опорной геодезической сети. Составить разбивочный чертёж. Для решения этой задачи координаты точки С определены графически по плану  $X_C=500$  м,  $Y_C=400$  м, а координаты точек А и В выписаны из каталога координат  $X_A=400$  м,  $Y_A=300$  м,  $X_B=200$  м,  $Y_B=500$  м. Порядок решения обратных геодезических задач по направлениям АВ и АС приведен в таблице 28.1.

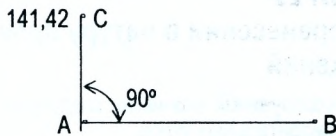


Рис. 28.2. Разбивочный чертёж

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Какими способами можно подготовить данные для выноса в натуру проектов сооружений? Их преимущества и недостатки.
2. Что такое разбивочный чертёж?
3. Как рассчитываются элементы разбивочных работ для построения разбивочного чертежа?
4. Для каких целей закрепляется на строительной площадке строительная сетка?
5. Назовите способы выноса проекта в натуру.
6. Как вынести в натуру точку способом прямоугольных координат?
7. Как вынести в натуру точку способом полярных координат?
8. Как вынести в натуру точку способом угловых засечек?
9. Как вынести в натуру точку способом линейных засечек?
10. Как вынести в натуру точку способом створных засечек?
11. Рассчитайте элементы разбивочных работ  $\beta$  и  $d$  для выноса проектной точки С способом полярных координат от пунктов геодезической опорной сети А и В. Координаты проектной точки С и опорной сети равны:

$$X_A=567,13; \quad X_B=763,02; \quad X_C=618,02;$$

$$Y_A=817,02; \quad Y_B=823,96; \quad Y_C=753,17.$$

## ЛЕКЦИЯ 29

### 29. Разбивочные работы при перенесении в натуру проектов сооружений

Как упоминалось ранее, при проектировании сооружений возникают следующие работы:

1. Построение на местности проектных горизонтальных углов;
2. Перенесение на местность проектной отметки;
3. Построение на местности линии с проектным уклоном;
4. Построение на местности проектной линии;
5. Построение на местности плоскости с проектными уклонами.

Все построения производятся от разбивочной основы или направления, которое называется *базовым*.

Ниже рассмотрим более подробно каждый из этих важных видов работ.

#### 29.1. Построение проектного угла с точностью теодолита

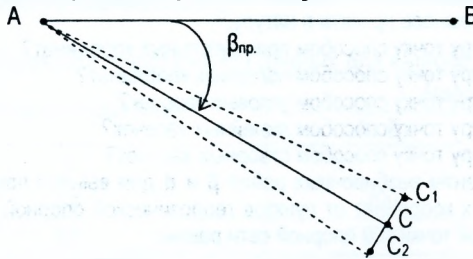


Рис. 29.1. Построение проектного угла с точностью теодолита

Построение на местности проектного угла от базового направления АВ выполняется следующим образом. Теодолит устанавливают над точкой А (рис. 29.1), визируют на точку В и берут отсчет  $b$  по горизонтальному кругу. Предвычисляют отсчет  $C_1 = b + \beta_{пр}$  (если угол  $\beta_{пр}$  строят против часовой стрелки, то  $C_1 = b - \beta_{пр}$ ). Открепив алидаду, отсчет  $C_1$  устанавливают на горизонтальном круге и по центру сетки нитей трубы фиксируют точку  $C_1$ . Аналогично строят угол  $\beta_{пр}$  при другом положении вертикального круга и фиксируют точку  $C_2$ . Отрезок  $C_1C_2$  делят пополам и фиксируют точку  $C$ . Контрольные измерения проводят одним полным приемом  $\Delta\beta = |\beta_{изм} - \beta_{пр}| \leq 2t$ .  $t$  — точность теодолита.

#### 29.2. Построение проектного угла с повышенной точностью

Предварительно построенный угол  $\beta_{изм}$  измеряют  $n$  раз, количество полных приёмов  $n$  подсчитывают по формуле

$$n = \frac{t_1^2}{m_{доп}^2}, \quad (29.1)$$

где:  $t_1$  — точность теодолита;

$m_{доп}$  — заданная точность построения угла.

Затем определяют угловую  $\delta_\beta$  и линейную  $\delta l_\beta$  поправки (рис. 29.2).

$$\delta_\beta = \beta_{пр} - \beta_{изм}; \quad (29.2)$$

$$\delta l_\beta = D \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho}, \quad (29.3)$$

где:  $\rho = 206265''$  — число секунд в радиане;

$D$  — расстояние между точками А и С.



Точку С перемещают в соответствующую сторону на величину  $\delta\ell_\beta$  и фиксируют точку  $C_0$ .

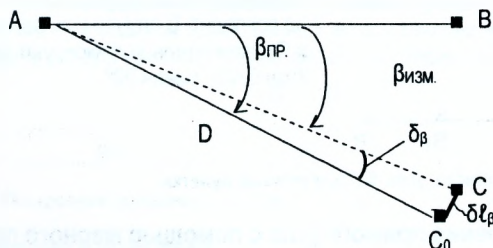


Рис. 29.2. Построение проектного угла с повышенной точностью

**Пример 29.1.** Требуется построить проектный угол  $\beta_{пр.} = 45^\circ 09' 45''$  в точке М. Длина стороны  $MB$  равна  $D=100\text{м}$  (рис. 29.3). Определить величину смещения точки В.

Угол  $\beta_{изм.}$  определяемый из нескольких измерений, равен  $45^\circ 09' 25''$ .

Находим  $\delta_\beta = \beta_{пр.} - \beta_{изм.} = 45^\circ 09' 45'' - 45^\circ 09' 24'' = 21''$  – угловая величина смещения,

или  $\delta\ell_\beta = D \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho} = \frac{100000\text{мм} \cdot 21''}{206265} = 10\text{мм}$  – линейная величина смещения.

Следовательно для получения значения угла с повышенной точностью необходимо точку  $B_1$  передвинуть по перпендикуляру к линии  $MB_1$  на 10 мм.

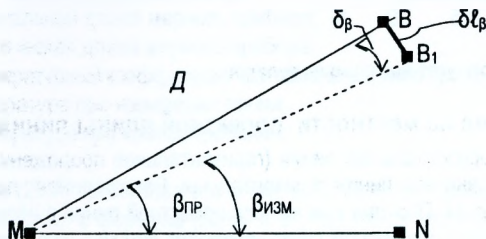


Рис. 29.3. Расчётная схема к примеру 29.1

**Пример 29.2.** Угол  $\beta$  должен быть измерен с точностью  $m_\beta = 10''$ . Точность теодолита, которым будут выполнены измерения, равна  $t_T = 15''$ . Определить количество полных приёмов для обеспечения заданной точности измерения.

Количество полных приёмов определяется по формуле (29.1).

$$n = \frac{15^2}{10^2} = \frac{225}{100} = 2,25 \approx 2,5$$

### 29.3. Построение угла $90^\circ$ с помощью рулетки

Здесь используется свойство «египетского треугольника» со сторонами, кратными 3:4:5. При построении прямого угла задана и закреплена вершина угла и задана одна из сторон  $AB$ . В направлении стороны  $AB$  фиксируют отрезок  $AB_1$ , длиной 4м. Далее

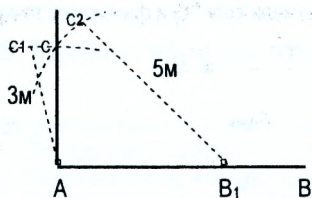


Рис. 29.4. Построение прямого угла  $90^\circ$  при помощи рулетки

отрезки  $B_1C_2$  длиной 5м и  $AC_1$  длиной 3м перемещают до тех пор, пока точки  $C_1$  и  $C_2$  не совпадут. В случае совпадения точек  $C_1$  и  $C_2$  окончательно фиксируют точку  $C$ . Угол  $CAB_1$  равен  $90^\circ$ .

## 29.4. Построение прямого угла с помощью мерного прибора

Построение используют при разбивочных работах при невысоких требованиях к точности. При построении 20-метровую рулетку или ленту укладывают в створ линии  $MN$ , совмещают штрих 10м с вершиной угла  $D$  и по штрихам 0м и 20м отмечают положение точек  $B$  и  $C$ . В точке  $B$  удерживается нулевое деление рулетки, к делению 20 м прижимается



Рис. 29.5. Построение прямого угла при помощи рулетки

гвоздь или шпилька и при натянутом состоянии полотна рулетки проводится на земле часть дуги. Аналогичным образом из точки  $C$  проводится вторая часть дуги радиусом 20м. Пересечение дуг даст определяемую точку  $A$ .

## 29.5. Построение на местности проектной длины линии

Проектная линия - это горизонтальная линия (горизонтальное положение). Проект создаётся на плане, а на плане все линии горизонтальны. Естественная поверхность земли имеет различные уклоны. Поэтому при выносе проектной линии в натуру следует учитывать поправки, которые в конечном счёте приводят линию к натурному значению (рис. 29.6).

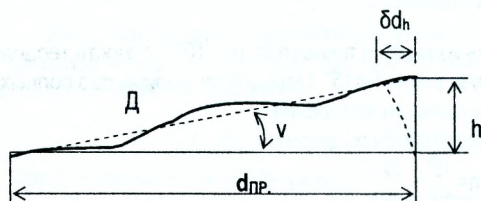


Рис. 29.6. Вынос проектной длины линии

При выносе проектной линии  $d_{пр}$  необходимо отложить отрезок  $D$  соответствующей линии

$$D = d_{пр} + \delta d, \quad (29.4)$$

где  $\delta d$  - общая поправка, включающая поправки за наклон линии к горизонту  $\delta d_h$ , за компарирование  $\delta d_k$  и за температурное влияние  $\delta d_t$ .

От начальной точки А в заданном направлении откладывают стальным мерным прибором расстояние, равное проектной длине  $d_{пр}$ , и временно фиксируют точку В<sub>1</sub>.

Определяют нивелированием превышение  $h$  между точками А и В<sub>1</sub> и измеряют температуру  $t$  прибора (если измерить ее невозможно, измеряют температуру воздуха).

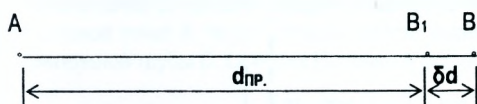


Рис. 29.7. Построение проектного отрезка

Вычисляют поправки в длину линии:

а) за компарирование  $\delta d_k$

$$\delta d_k = \frac{d_{пр}}{l} (l_1 - l); \quad (29.5)$$

б) за температурное влияние  $\delta d_t$

$$\delta d_t = \alpha \cdot d_{пр} \cdot (t - t_0); \quad (29.6)$$

в) за наклон линии  $\delta d_h$

$$\delta d_h = \frac{h^2}{2d_{пр}}; \quad (29.7)$$

$$\delta d_h = 2d_{пр} \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}, \quad (29.8)$$

где  $d_{пр}$  - длина проектной линии;

$l$  - номинальная длина мерного прибора;

$l_1$  - фактическая длина мерного прибора;

$\alpha$  - температурный коэффициент материала мерного прибора, для стали  $\alpha=0,0000125$ ;

$t$  - температура при измерении линии;

$t_0$  - температура при компарировании;

$h$  - превышение.

Формула (29.7) применима в случае, если известно превышение между начальной и конечной точками, а формула (29.8) - в случае, когда известно значение угла  $\nu$  наклона линии к горизонту.

Вычисляется общая поправка  $\delta d$ , которая откладывается в соответствующую сторону, где окончательно фиксируется точка В.

$$\delta d = \delta d_k + \delta d_t + \delta d_h. \quad (29.9)$$

### Пример 29.3

При разбивке цеха требуется отклонить проектную линию 200,00 м.

Поправка за наклон равна 20,2 см.

Поправка за компарирование - 2,0 см.

Поправка за температуру - 2,4 см.

Общая поправка будет:

$$\Delta d = 20,2 + 2,0 + 2,4 = 24,6 \text{ см}$$

Поправка за компарирование и температуру вводится с обратным знаком.

Таким образом, на местности следует отложить

$$D = 200,00 + 0,246 = 200,246 \text{ м.}$$

## 29.6. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой

Нивелир устанавливают посредине между ближайшим репером и местом перенесения отметки (например обносочной), берут отсчет «а» по чёрной стороне рейки, установленной на репер.

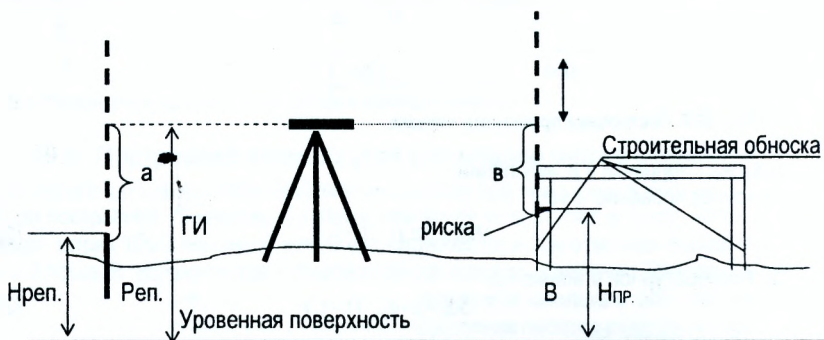


Рис. 29.8. Вынос точки с заданной проектной отметкой  $H_{пр}$ .

Вычисляют горизонт инструмента по формуле (29.10)

$$ГИ = H_{реп.} + a. \quad (29.10)$$

Затем находят проектный отсчет «в».

$$в = ГИ - H_{пр.} \quad (29.11)$$

Далее рейку устанавливают у стойки обноски и перемещают по вертикали до тех пор, пока горизонтальная нить сетки зрительной трубы не совпадет с отсчетом «в». В этот момент фиксируется отметка  $H_{пр.}$ , прочерчивая по пятке рейки риску на обноске, которую в дальнейшем закрепляют гвоздем или шурупом.

Перенесение проектной отметки повторяют по красной стороне рейки. Вычисленное среднее превышение не должно отличаться от проектного более, чем на  $\pm 5$  мм.

## 29.7. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой с помощью теодолита

Отметку можно передать с помощью теодолита. Для этого теодолит располагают в точке С и приводят в рабочее положение.

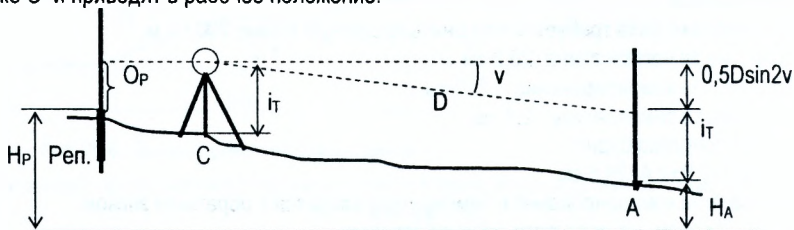


Рис. 29.9. Вынос на местность отметки с помощью теодолита

Наводят зрительную трубу на рейку, установленную на точке с известной отметкой  $H_P$ , и, установив трубу на отсчёт по вертикальному кругу, равный величине места нуля, берут отсчёт по рейке  $O_P$ , наблюдая при этом, чтобы пузырёк уровня вертикального круга находился в нульпункте. Затем, измерив высоту  $i_T$  оси вращения трубы теодолита относительно точки  $C$ , наводят визирную ось трубы на отсчёт  $i_T$  по рейке, установленной в закреплённой точке  $A$ , берут отсчёты по вертикальному кругу  $v$  и по дальномерным нитям зрительной трубы  $D$ . Отметка  $H_A$  точки  $A$  определяется по формуле

$$H_A = H_P + O_P - 0,5D \sin 2v - i_T \quad (29.12)$$

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как построить проектный угол с точностью теодолита?
2. Рассчитайте необходимое количество приёмов, если значение угла должно быть определено со средней квадратической погрешностью не более  $15''$ , а средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом  $30''$ .
3. Как построить проектный угол с повышенной точностью?
4. Назовите способы построения прямого угла при небольшой точности построения.
5. Как вынести точку с заданной проектной отметкой?
6. Как определить отметку точки с помощью теодолита?
7. Как построить на местности проектную линию?
8. Как вычислить поправку за наклон линии к горизонту?
9. Как вычислить поправку за компарирование мерного прибора при построении проектной линии?
10. Как вычислить поправку за температурное влияние?



## ЛЕКЦИЯ 30

### 30.1. Построение в натуре линии проектного уклона с помощью нивелира

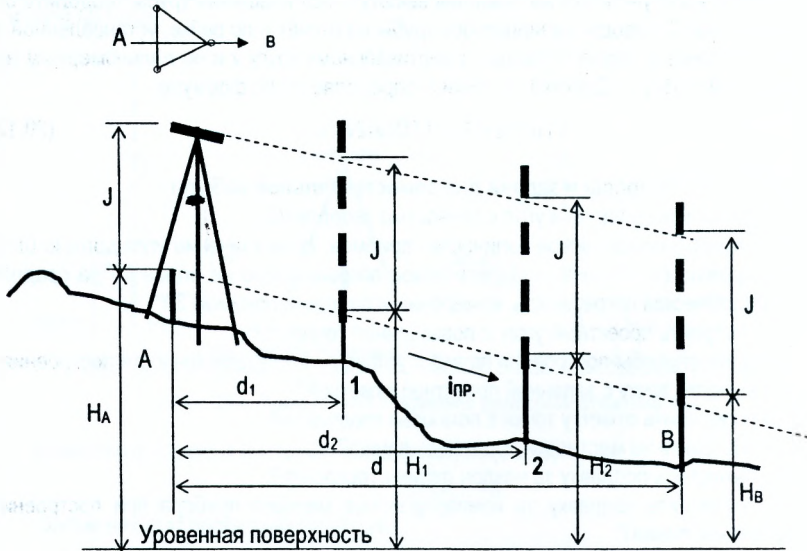


Рис. 30.1. Построение линии с заданным уклоном  $i_{пр}$  при помощи нивелира

При строительстве линейных сооружений (дороги, каналы, трубопроводы) всегда возникает задача построения линии с заданными уклонами.

На местности закреплена точка A и задана её отметка  $H_A$ . Требуется построить линию AB длиной  $d$  с проектным уклоном  $i_{пр}$  и на расстояниях  $d_1, d_2, \dots$  от начальной точки A закрепить промежуточные точки 1, 2, .... Проектная отметка конечной точки B находится по формуле

$$H_B = H_A + i \cdot d. \quad (30.1)$$

Точка B с отметкой  $H_B$  выносится в натуре способом, рассмотренным выше (пункт 29.6). Промежуточные точки 1, 2, .... закрепляются при помощи наклонного луча нивелира, теодолита или визирок.

При построении линии заданного уклона нивелир устанавливают над точкой A так, чтобы один из его подъёмных винтов располагался по направлению AB, а два других были перпендикулярны линии AB (рис. 30.1). Измеряют высоту инструмента  $J$ . Выставив от ближайшего репера конечную точку B на проектную отметку  $H_B$ , наклоняют зрительную трубу нивелира подъёмными винтами до тех пор, пока отсчёты по рейкам на точках A и B не станут равными высоте инструмента  $J$ . При этом положении зрительной трубы рейки перемещают и попеременно устанавливают их на промежуточные точки 1, 2, .... между A и B таким образом, чтобы отсчёты по ним были те же что и на A и B. Пятка рейки при этом будет фиксировать на местности линию с заданным уклоном.

При решении этой задачи при помощи теодолита прибор устанавливают в рабочее положение в точке A, измеряют высоту теодолита  $J$ . По заданному уклону  $i_{пр}$  определяют угол наклона  $v$  линии AB.

$$i_{np} = \operatorname{tg} v \text{ или } v = \operatorname{arctg} i_{np}$$

Подсчитывают отсчёт по вертикальному кругу теодолита при «круге лево».

$$КЛ = v + MO,$$

где  $MO$  - место нуля вертикального круга. Отсчёт устанавливают по вертикальному кругу теодолита. Ставят рейку в точке  $B$  на кол, который постепено забивают так, чтобы отсчёт по рейке был равен высоте  $J$  теодолита. В характерных точках рельефа  $1, 2, \dots$  забивают колышки, чтобы отсчёты по рейке, поставленной на них, везде были равны высоте  $J$  теодолита (рис. 30.2).

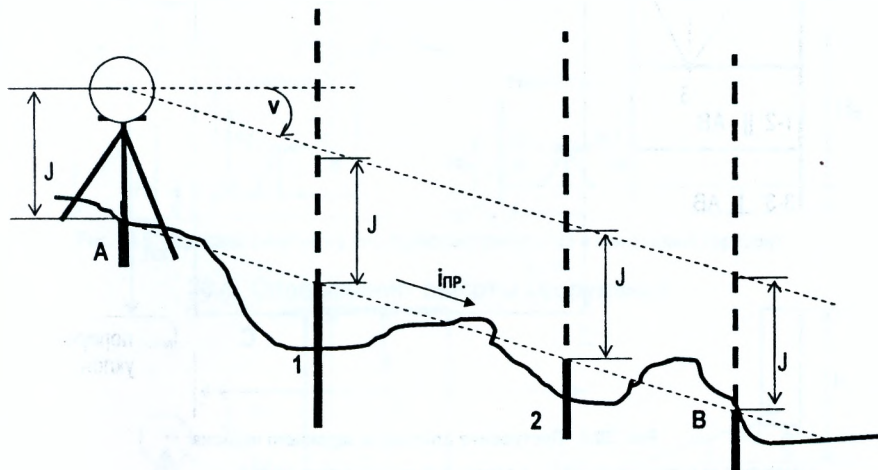


Рис. 30.2. Построение линии с заданным уклоном  $i_{np}$  при помощи теодолита

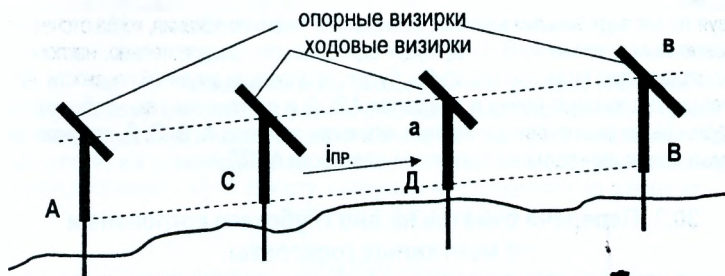


Рис. 30.3. Разбивка промежуточных точек при помощи визирок

Для разбивки промежуточных точек при помощи трех визирок поступают так. В точках  $A$  и  $B$  устанавливают отвесно две визирки. Затем третья визирка последовательно устанавливается на колышки в точках  $C$  и  $D$ , которые забивают так, чтобы верхняя грань визирок была на прямой  $ав$ .

*Примечание: визирки – столбики с планкой, прибитой горизонтально. Устанавливаемые в начале и конце хода – опорные, между опорными – ходовые.*

### 30.2. Построение плоскости заданного уклона

Для построения плоскости ABCD с заданным уклоном (рис. 30.4) поступают следующим образом:

- строят точки A, B, C, D на местности с их проектными отметками;

$$H_B = H_A + i_{пр} \cdot d_1; \quad H_C = H_B + i_{поп.} \cdot d_2; \quad H_D = H_A + i_{поп.} \cdot d_2; \quad (30.2)$$

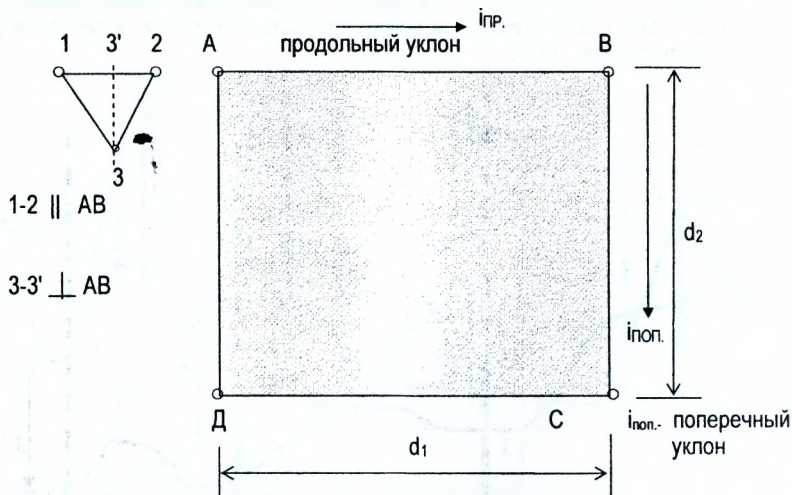


Рис. 30.4. Построение плоскости заданного наклона

- измеряют высоту нивелира J с помощью нивелирной рейки;

- нивелир устанавливают так, чтобы его две подъемных винта были  $\parallel$  линии AB, а третий  $\perp$  AB.

- действуя тремя подъемными винтами, добиваются такого положения, когда отсчеты по рейкам, установленным в точках A, B, C, D, будут одинаковыми. Следовательно, наклонная плоскость, проходящая через визирную ось трубы, будет параллельна заданной плоскости ABCD.

Перемещая подвижную рейку в пределах ABCD и по линиям так, чтобы отсчеты по ней все время были одинаковые и равные отсчетам в точках A, B, C, D, получим систему необходимых точек, лежащих на проектной плоскости ABCD.

### 30.3. Передача отметок на дно глубокого котлована и на монтажные горизонты

В практике строительства приходится передавать отметки вниз на дно глубокого котлована и вверх на высокие части сооружения.

Наблюдения ведут одновременно двумя нивелирами, один из которых установлен на поверхности, другой на дне котлована или на соответствующем монтажном горизонте.

Над котлованом устанавливают кронштейн, к которому подвешивают рулетку с миллиметровыми делениями с грузом. Взяв отсчет  $a_1$  по рейке, установленной на репере A, поворачивают трубу по направлению к подвешенной рулетке и одновременно обоими нивелирами делают отсчеты  $b_1$  и  $a_2$ . Далее вторым нивелиром берётся отсчёт  $b_2$ . Отметка точки B равна

$$H_B = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - b_2 \quad (30.3)$$

Для того, чтобы отметка  $H_B$  была равной проектной, отсчет по рейке, установленной в точке В, должен быть

$$v_2 = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - H_B \quad (30.4)$$

Вычислив отсчет, временный знак перемещают по вертикали до тех пор, пока по рейке не получится отсчет, равный  $v_2$

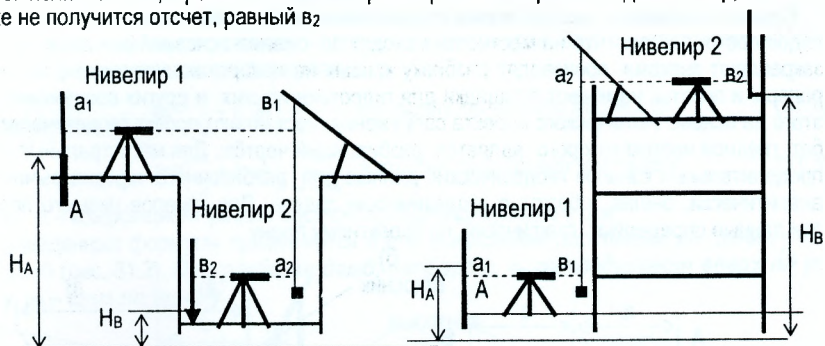


Рис. 30.5. Передача отметок на дно глубокого котлована и монтажный горизонт

### 30.4. Определение высоты сооружения

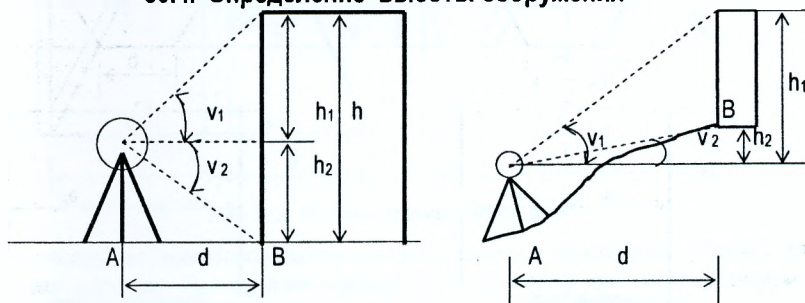


Рис. 30.6. Определение высоты сооружения с помощью теодолита

Для определения высоты сооружения в точке А, расположенной не ближе 1/3 высоты сооружения, устанавливают теодолит и измеряют при двух положениях круга вертикальные углы  $v_1$  и  $v_2$ , визируя на верхнюю и нижнюю точки сооружения, измеряют горизонтальное расстояние  $AB=d$ . Высоту сооружения определяют по формуле

$$h = h_1 + h_2 = d \operatorname{tg} v_1 - d \operatorname{tg} v_2 \quad (30.5)$$

или

$$h = d (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2). \quad (30.6)$$

Если линия местности АВ наклонна, то нужно измерить ее наклон и вычислить горизонтальное положение d.

### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. Как построить линию заданного уклона с помощью нивелира?
2. Как построить линию заданного уклона с помощью теодолита?
3. Как выносятся промежуточные точки при построении линии заданного уклона?
4. Как вынести на местность плоскость заданного уклона?
5. Как передать отметку на монтажный горизонт?
6. Как передать отметку на дно глубокого котлована?
7. Как определить высоту сооружения с помощью теодолита?



## ЛЕКЦИЯ 31

### 31.1. Геодезические работы при трассировании каналов, дамб, трубопроводов

Сущность полевого трассирования осушительных и оросительных каналов, трубопроводов состоит в том, что на местности находят положение основной оси сооружения и закрепляют знаками, производят разбивку кривых на поворотах, закрепляют выносные реперы и пикеты, намечают площадки для гидротехнических и других сооружений. Для этого на основе технического проекта сооружения составляют проект геодезических работ, главной частью которого является разбивочный чертёж. Для магистральных и распределительных каналов геодезические данные для разбивочного чертежа вычисляют аналитически, решая обратные геодезические задачи. Для каналов низшего порядка эти данные определяют графически, по проектному плану.

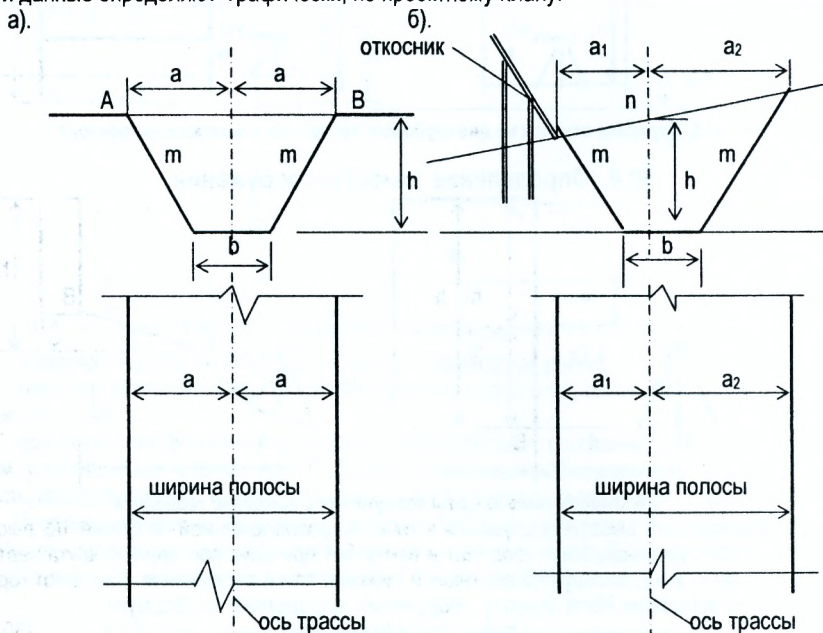


Рис. 31.1. Разбивка границ выемки при устройстве каналов

При строительстве осушительных и оросительных каналов разбивочные работы начинают с вынесения и закрепления на местности осей магистральных каналов, а затем, используя эти оси, выполняют разбивку осей распределительных каналов.

Непосредственно перед началом земляных работ на местности производят детальную разбивку сооружения. При разработке каналов от вынесенной в натуру оси кольщиками обозначают на местности границы выемки с учётом заложения откосов и рабочих отметок, обозначают положение дна канала. На местности с незначительным поперечным уклоном (рис. 31.1 а) расстояние от оси канала до границ выемки влево или вправо вычисляют по формуле (31.1)



$$a = \frac{b}{2} + h \cdot m, \quad (31.1)$$

где  $b$  – ширина канала по дну;

$h$  – рабочая отметка в текущей точке (глубина канала);

$m$  – коэффициент заложения откосов.

На участках местности, имеющих поперечный уклон (рис. 31.1 б), расстояние до границ выемки вычисляется по формулам

$$a_1 = \left( \frac{b}{2} + h \cdot m \right) \cdot \frac{n}{n+m} \text{ - в сторону понижения местности,} \quad (31.2)$$

$$a_2 = \left( \frac{b}{2} + h \cdot m \right) \cdot \frac{n}{n-m} \text{ - в сторону повышения местности,} \quad (31.3)$$

где  $n$  – коэффициент уклона местности, перпендикулярно к оси.

Приведенные формулы применяются и для вычисления расстояний до границ откосов дамб (рис. 31.2). При разбивке дамб, наоборот,  $a_1$  откладывают вверх по уклону,  $a_2$  – вниз по уклону.

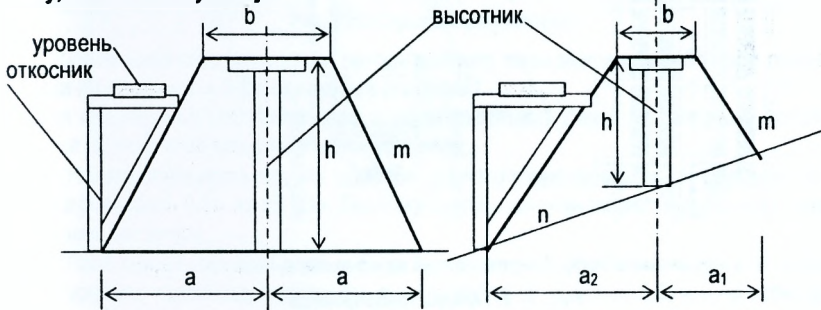


Рис. 31.2. Разбивка границ откосов дамб

Для соблюдения проектных откосов при рытье канала и насыпи дамб у бровок устанавливают откосники. Высоту дамб проверяют по высотнику или нивелированием от ближайшего репера.

**Пример 31.1.** Ширина дна канала  $b=4$ м; заложение откосов канала  $m=1,5$ ; уклон местности  $n=0$ ; проектная отметка дна канала  $H_{пр}=39,13$ м; отметка земли в данной точке по оси  $H_{ф}=42,43$ . Определить расстояния от оси до бровок канала.

$$a = \frac{b}{2} + h \cdot m = \frac{4}{2} + (42,43 - 39,13) \cdot 1,5 = 6,95 \text{ м.}$$

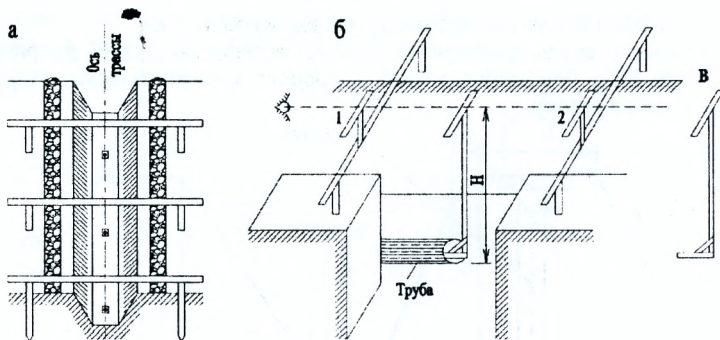
**Пример 31.2.** Ширина канала по дну  $b=3$ м; заложение откосов канала  $m=1,4$ ; уклон местности  $n=6$ ; глубина канала по оси  $h=3$ м. Определить расстояния от оси до бровок канала.

$$a_1 = \left( \frac{b}{2} + h \cdot m \right) \cdot \frac{n}{n+m} = \left( \frac{3}{2} + 1,4 \cdot 3 \right) \cdot \frac{6}{6+1,4} = 4,62 \text{ м (вниз по уклону местности),}$$

$$a_2 = \left( \frac{b}{2} + h \cdot m \right) \cdot \frac{n}{n-m} = \left( \frac{3}{2} + 1,4 \cdot 3 \right) \cdot \frac{6}{6-1,4} = 7,41 \text{ м (вверх по уклону местности).}$$

## 31.2. Разбивка трасс трубопроводов и закрытого дренажа

Ось и другие элементы трассы трубопровода и закрытого дренажа переносят в натуру методами трассирования каналов. Но так как во время рытья траншеи геодезические знаки, установленные по оси трассы, уничтожаются, то для укладки труб на дно траншеи, согласно проекту, строят обноски. Для этого через определённые расстояния перпендикулярно к оси трассы разбивают поперечники, которые за пределами земляных работ закрепляют столбами (рис. 31.3 а). Сверху к столбам прибивают деревянные брусья и через их середины натягивают проволоку, а к ней привязывают отвесы, указывающие плановое положение трубопровода на дне траншеи.



а – установка обноски; б – укладка труб по визиркам; в – ходовая визирка

Рис. 31.3. Укладка трубопровода

Для высотного контроля укладки труб устанавливают (при помощи нивелира) и прибавляют к брусьям пострянные визирки (1, 2) так, чтобы визирный луч, проходящий по верхним горизонтальным брусьям визирок, имел уклон, равный проектному уклону трубопровода (рис. 31.3 б). Между постоянными визирками устанавливают ходовую визирку (рис. 31.3 в) башмаком внутрь трубы. Верхний брусок ходовой визирки должен касаться визирного луча, проходящего через постоянные визирки (рис. 31.3 б). В таком положении трубу фиксируют в траншее.

## 31.3. Строительная обноски

При рытье котлована или траншеи под фундамент точки А, В, С, D (рис. 31.4), определяющие положение осей здания, будут уничтожены. Чтобы начать закладку фундамента, необходимо на дне котлована восстановить положение этих точек. Для этого за пределами контура здания устраивают из обрезных досок ограду, называемую **обноской**, на которой гвоздями отмечают положение основных осей АВ, ВС, CD, и DA в точках  $a_1$  и  $b_1$ ,  $a_2$  и  $d_2$ ,  $b_2$  и  $c_2$ ,  $c_1$  и  $d_1$ .

Перед закладкой фундамента к обноске в этих точках привязывают и хорошо натягивают тонкую проволоку. Подвешивая в точках пересечения проволок отвес, получают положение осевых точек  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$  на дне котлована.

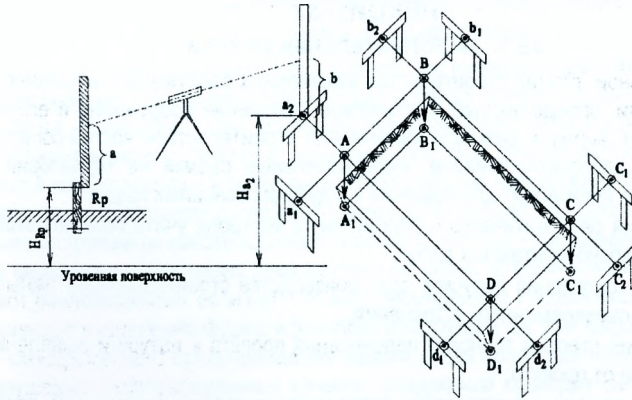


Рис. 31.4. Строительная обноска

Строительная обноска должна находиться вне зоны земляных работ при рытье котлована на расстоянии 3-5м от верхней его бровки.

Для обеспечения разбровок осей с погрешностью 1-2мм в их взаимном положении обноска должна отвечать следующим условиям:

- Непараллельность сторон обноска соответствующим осям объекта не должна превышать 0,1м на 15-20м. Поэтому столбы устанавливают в створ по теодолиту или по шнуру.
- Поверхность обноска должна быть горизонтальна. Для этого столбы обрезают по уровню, заданному нивелиром, с погрешностью не более 0,02м и на этом уровне закрепляют доски сплошной обноска. Высоту обноска принимают равной 0,5-1,2м, чтобы по ней удобно было измерять расстояния и устанавливать над ней теодолит на штативе.

На одну или несколько точек обноска от ближайшего репера передают отметку и записывают краской. Например, для получения отметки точки  $a_2$  на эту точку и на репер устанавливают рейки, а между ними нивелир и берут отсчеты  $a$  и  $b$ . Отметку точки  $a_2$  вычисляют по формуле  $H_{a_2} = H_{R_p} + (a - b)$ .

#### Вопросы и задачи для самостоятельной работы

1. В чём заключается сущность полевого трассирования каналов и трубопроводов?
2. Как вычисляются расстояния от оси канала до бровок канала?
3. Как выполняется укладка трубопровода на дно траншеи?
4. Укажите назначение строительной обноска.
5. Как контролируется соблюдение проектных откосов при рытье каналов и устройстве дамб?

## ЛЕКЦИЯ 32

### 32.1. Исполнительная съёмка

В заключительной стадии строительства инженерных сооружений выполняют исполнительные съёмки, определяющие фактическое положение сооружения и его элементов, контролируют форму и размеры законченных строительством частей сооружения и их соответствие запроектированным. Исполнительные съёмки на территории строительной площадки производят для решения следующих основных задач:

- Обеспечения систематического оперативного контроля учёта объёмов выполненных строительно-монтажных работ;
- Выявления нарушения допусков в производстве строительно-монтажных работ с целью их своевременного устранения;
- Определения степени точности перенесения проекта в натуру и выявления всех отступлений от проекта;
- Получения данных о фактическом расположении зданий, сооружений, подземных и надземных инженерных коммуникаций и сетей и других объектов на завершённой стадии строительства.

Производитель работ по данным исполнительной съёмки, руководствуясь допусками на производство данного вида работ, принимает решение об устранении замеченных отклонений, либо о переходе к следующему этапу строительства.

При исполнительной съёмке положение элементов (точек) отдельной конструкции в плане определяется с пунктов плановой разбивочной основы монтажного горизонта и створных пунктов осей, главным образом методом прямоугольных координат или створных засечек.

Определение положения отдельных точек конструкций по высоте выполняется с помощью нивелира от высотных знаков (реперов) на монтажном горизонте.

Результаты исполнительной съёмки наносят на специальные схемы, на которых обозначают цифрами все проектные и фактические размеры, расстояния между осями, отметки, величины отклонений от проектного положения. Вычисленные отклонения выписывают на исполнительный чертёж. На рис. 32.1 приведен исполнительный чертёж

исполнительной плановой съёмки колонны. Отклонения верха колонны записаны над стрелкой, низа колонны – под стрелкой.

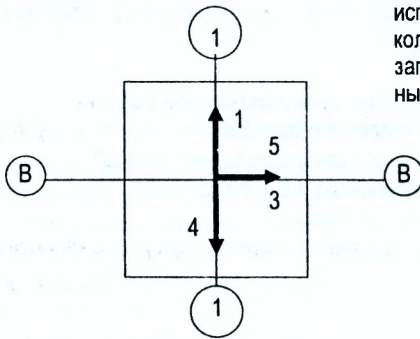


Рис. 32.1. Плановая исполнительная съёмка колонны



## 32.2. Наблюдения за перемещениями и деформациями конструкций зданий и сооружений

В породах, на которые опираются сооружения, под влиянием силы тяжести сооружения, изменения влажности основания, температуры и других причин происходит перемещение частиц грунта. Вследствие этого основания сооружений претерпевают осадку (уплотнение грунта без изменения его структуры), набухание, оседание (опускание толщи грунта в местах пустот в горных породах) и подвижки в горизонтальном направлении (сползание).

Перемещение конструкций разделяют на две составляющие – по высоте и в плане. Перемещения конструкций по высоте называется *осадкой*, в плане – *смещением (сдвигом)*.

Если перемещения различных точек конструкций равны по величине и направлению, то их называют *равномерными*, если нет – то *неравномерными*. Неравномерные перемещения точек приводят к изменению формы и размеров конструкции, т.е. к её деформации.

Для своевременного предупреждения аварий и для более детального изучения причин нарушения эксплуатационных качеств сооружений проводят систематические наблюдения за перемещениями и деформациями конструкций.

### 32.2.1. Наблюдения за осадками сооружений

Систематические инструментальные измерения осадок фундаментов являются одним из основных методов изучения деформаций оснований сооружений и имеют большое практическое и научное значение. Такие наблюдения являются одним из основных материалов, характеризующих устойчивость основания и сооружения в целом, и позволяют своевременно принять соответствующие меры по предупреждению деформаций, а также дать необходимые данные для уточнения методов расчёта оснований, установления предельных допускаемых величин осадок для различных грунтов.

При наблюдениях за осадками в конструкции сооружения закладывают осадочные марки и периодические (циклами) определяют их отметки. Проект размещения осадочных марок составляют с учётом конструкции сооружения и конкретно поставленных задач исследования осадок сооружения. После закладки марок их привязывают к отдельным выступам сооружения и составляют исполнительный план их размещения.

Для определения отметок наиболее часто используют высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами. При наблюдениях за осадками точек конструкций с большими превышениями, и расположенных в труднодоступных местах, применяют метод тригонометрического нивелирования с измерением расстояний и углов наклона высокоточными способами. Для определения отметок точек в стеснённых условиях внутри зданий используют гидростатическое нивелирование.

Высотной основой для определения отметок служат опорные реперы, закладываемые вне зоны осадок. Для промышленных и гражданских сооружений опорные реперы закладывают не ближе 80м от здания, а для крупных гидротехнических сооружений - на расстоянии до 1км.

Для контроля устойчивости реперы закладывают кустами из трёх расположенных недалеко друг от друга знаков. Измеряя с одной постановки нивелира превышения между ними и сравнивая их с результатами измерений в предшествующих циклах, определяют наиболее устойчивый репер. Этот репер принимают за исходный при наблюдениях за осадками.



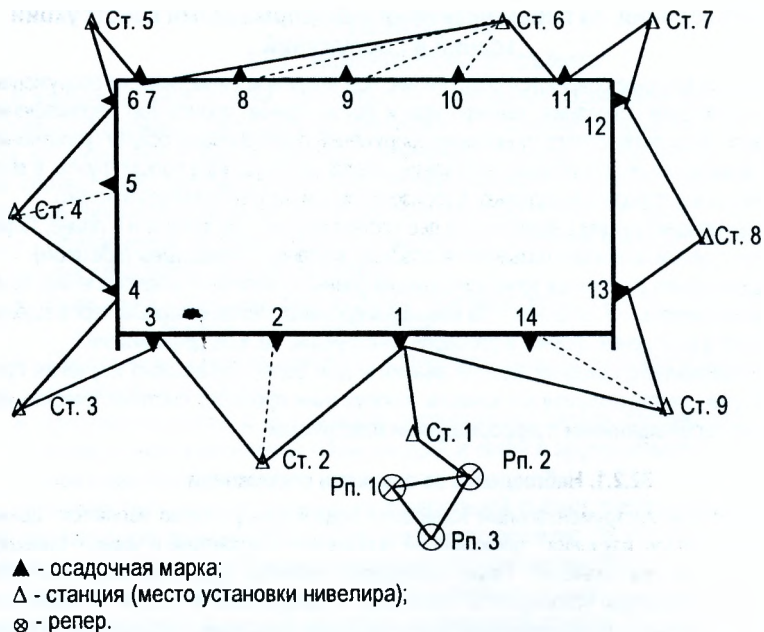


Рис. 32.2. Наблюдения за осадками

Для определения отметок осадочных марок прокладывают ход высокоточного геометрического нивелирования короткими лучами. При нивелировании места установки прибора закрепляют штырями в грунте или дюбель-гвоздями в асфальте, а нивелир во всех циклах измерений устанавливают над этими знаками. Часть осадочных марок включают в ход в виде промежуточных точек. На рис. 32.2 марки 1,3,4,6,7,11,12 и 13 являются связующими точками хода, остальные – промежуточными.

Наблюдения за осадками проводят циклами, начиная с нулевого. По результатам измерений превышений в ходе вычисляют отметки осадочных марок в данном цикле. Осадку  $j$  марки  $v$  в цикле вычисляют по формуле

$$\Delta_{ij} = H_{0j} - H_{ij}, \quad (32.1)$$

где  $H_{0j}$  – отметка  $j$  марки в нулевом цикле наблюдений;

$H_{ij}$  – отметка  $j$  марки в  $i$  цикле наблюдений.

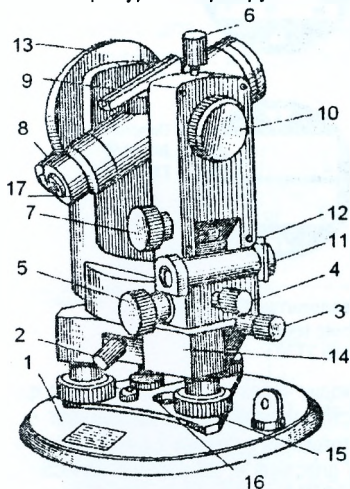
# Самостоятельная работа

(для студентов специальности 1-70 02 01-«Промышленное и гражданское строительство»)

## 1. Теодолит

### 1.1. Устройство теодолита Т30, 2Т30

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



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

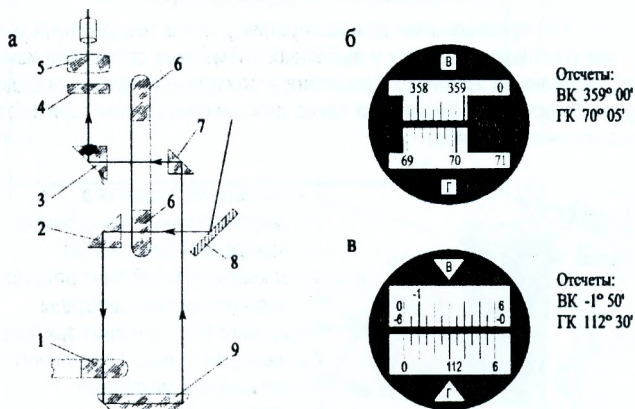
Рис 1.1. Общий вид теодолита Т30

Основание 1 (рис. 1.1.), с которым скреплена подставка 14, служит дном футляра прибора. Это позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива. Теодолит приводится в рабочее положение (ось его вращения устанавливается в отвесное положение) подъемными винтами 15 подставки при помощи цилиндрического уровня 11.

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

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

В качестве **отсчётных устройств** используются штриховые (теодолит Т30) и шкаловые (теодолит 2Т30) микроскопы. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита Т30 разделены через  $10'$  с оцифровкой через  $1^\circ$ . Изображение отсчётного индекса и штрихов обоих кругов передано в поле зрения микроскопа (рис. 1.2, б) посредством оптической схемы (рис. 1.2, а).



**Рис. 1.2. Отсчётные устройства теодолитов Т30, 2Т30:**  
 а - оптическая схема; б - поле зрения теодолита Т30;  
 в - поле зрения теодолита 2Т30.

Луч света, отражаясь от зеркала подсветки 8, проходит через лимб вертикального круга 6 и попадает на призму 2. Посеребренная поверхность отражает луч и направляет его на лимб горизонтального круга 1. После двукратного отражения в призме 9 он проходит через призмы 7 и 3 и попадает на плоско-параллельную пластину 4, на которой нанесён один штрих у теодолита Т30 и двенадцать у теодолита 2Т30. При помощи этих штрихов производится отсчёт. Изображение штрихов лимба горизонтального круга на пластине рассматривают через окуляр 5 отсчётного микроскопа на фоне штрихов пластин.

Поле зрения отсчётного микроскопа приведено на рисунке 1.2 б и 1.2 в. В поле зрения микроскопа изображение вертикального круга обозначено буквой **В**, горизонтального – буквой **Г**.

Теодолит 2Т30, являющийся модификацией теодолита Т30, отличается отсчётным устройством и наличием уровня при трубе. В отличие от теодолита Т30 на круги нанесены деления через  $1^\circ$  (каждый градус оцифрован), а в отсчётном устройстве вместо штрихового использован шкаловый микроскоп с ценой деления  $5'$ .

## 1.2. Вертикальный круг теодолита Т30, 2Т30

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

Вертикальный круг теодолита Т-30 скреплён со зрительной трубой по диаметру 90° - 270° и оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 360°. Из рисунка 1.3 следует, что

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}, \quad (1.1)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} + 180^\circ, \quad (1.2)$$

решая (1.1) и (1.2) относительно  $v$  и  $\text{МО}$ , получим

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} + 180^\circ}{2}, \quad (1.3)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} - 180^\circ}{2}. \quad (1.4)$$

Следовательно, для определения величины  $\text{МО}$  нужно на одну и ту же точку навести зрительную трубу при КП и КЛ, взять отсчёты по вертикальному кругу, и вычислить  $\text{МО}$  по формуле (1.4).

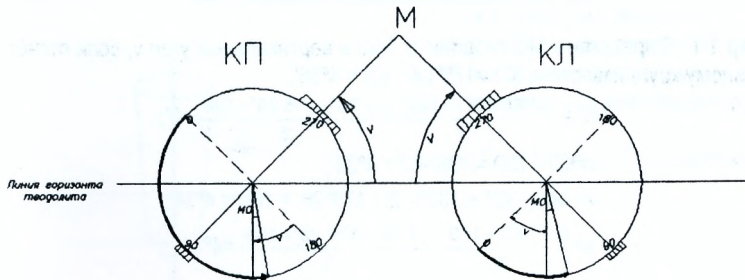


Рис. 1.3. Вертикальный круг теодолита Т-30

Вертикальный круг теодолита Т-30 разделен на четыре сектора диаметрами 0° - 0° и 90° - 90°, скреплён со зрительной трубой по диаметру 90° - 90° и оцифрован в обе стороны от 0° до 90°. Против хода часовой стрелки нанесены положительные деления, а по ходу часовой стрелки – отрицательные. Если допустить, что значение  $\text{МО}$  известно, то значение вертикального угла (рис. 1.4) можно вычислить по формулам (1.5) и (1.6)

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}, \quad (1.5)$$

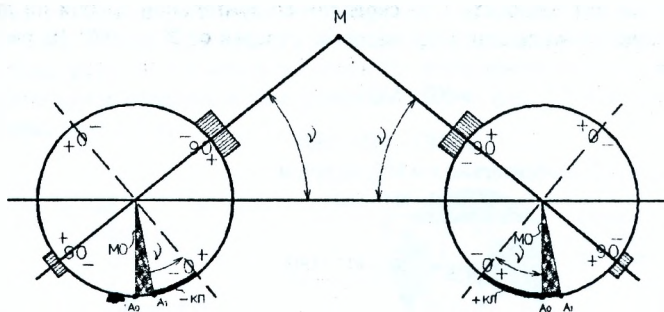
$$v = \text{МО} - \text{КП}. \quad (1.6)$$

Решая (1.5) и (1.6) относительно  $v$  и  $\text{МО}$ , получим:

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2}, \quad (1.7)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}. \quad (1.8)$$

Анализируя формулы (1.3) и (1.7), можно сделать вывод: если угол измерен при двух положениях вертикального круга, то  $\text{МО}$  не влияет на правильность определения вертикального угла. При известной величине  $\text{МО}$  вертикальный угол можно вычислить по формулам (1.1), (1.2), (1.5) и (1.6). Для удобства вычисления углов наклона по этим формулам желательно, чтобы значение  $\text{МО}$  не превышало двойной точности отсчётного устройства, т.е. 1' для теодолитов Т30, 2Т30.



$A_0$  – положение отсчётного индекса при  $MO=0$ ;  
 $A_1$  – положение отсчётного индекса при  $MO \neq 0$

Рис. 1.4. Вертикальный круг теодолита 2Т30

**Пример 1.1.** Определить  $MO$  теодолита Т-30 и вертикальный угол  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны:  $КП = 175^\circ 28'$ ;  $КЛ = 4^\circ 36'$ .

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

$$v = КП - MO = 4^\circ 36' - 2' = 4^\circ 34';$$

$$v = MO - КП + 180^\circ = 2' - 175^\circ 28' + 180^\circ = 4^\circ 34';$$

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

**Пример 1.2.** Определить  $MO$  теодолита Т30 и вертикальный угол  $V$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны :  $КЛ = 355^\circ 53'$ ;  $КП = 184^\circ 09'$ .

$$MO = \frac{КЛ + КП - 180^\circ}{2} = \frac{355^\circ 53' + 184^\circ 09' - 180^\circ}{2} = \frac{360^\circ 02'}{2} = 1';$$

$$V = КП - MO = 355^\circ 53' - 1' = 355^\circ 52' - 360^\circ = -4^\circ 08';$$

$$V = MO - КП - 180^\circ = 1' - 184^\circ 09' = -4^\circ 08';$$

$$V = \frac{КЛ - КП + 180^\circ}{2} = \frac{355^\circ 53' - 184^\circ 09' + 180^\circ}{2} = \frac{355^\circ 53' - 4^\circ 09' - 360^\circ}{2} = -4^\circ 08'$$

**Пример 1.3.** Определить  $MO$  для теодолита 2Т-30 и величину вертикального угла наклона  $v$ , если отсчёты по вертикальному кругу известны:  $КП = 5^\circ 17'$ ;  $КЛ = -5^\circ 19'$ .

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

$$v = КП - MO = -5^\circ 19' - (-1') = -5^\circ 18';$$

$$v = MO - КП = -1' - 5^\circ 17' = -5^\circ 18';$$

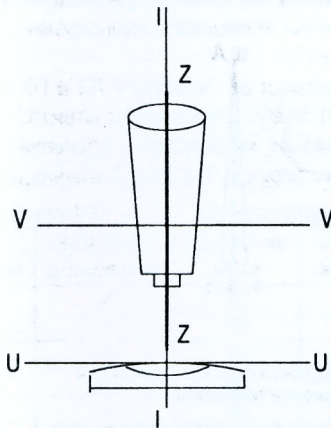
$$v = \frac{КЛ - КП}{2} = \frac{-5^\circ 19' - 5^\circ 17'}{2} = -5^\circ 18'.$$



### 1.3. Поверки теодолита

К теодолиту предъявляются следующие требования:

- 1) Ось цилиндрического уровня U-U должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита I-I (рис 1.5);
- 2) Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита I-I;
- 3) Ось вращения зрительной трубы V-V должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита I-I;
- 4) Визирная ось трубы Z-Z должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы V-V;
- 5) Место нуля (МО) вертикального круга должно быть близким к нулю.



I-I – ось вращения теодолита;  
V-V – ось вращения зрительной трубы;  
U-U – ось цилиндрического уровня;  
Z-Z – визирная ось зрительной трубы.

(оси Z-Z и I-I на рис. 1.5 совпадают).

Рис. 1.5. Схема осей теодолита

При невыполнении этих условий (проверок) работать теодолитом запрещается. Соблюдение указанных условий проверяется следующим образом.

**1.3.1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ( $UU \perp II$ ).** Поворотом верхней части теодолита уровень устанавливается по направлению двух подъемных винтов и, вращая их, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают уровень на  $180^\circ$ . Если пузырек уровня остался на середине, то условие выполнено (допуск 1 деление уровня). В противном случае, на половину отклонения перемещают пузырек уровня к нуль-пункту исправительными винтами 12 уровня (рис. 1.1), а на оставшуюся часть – подъемными. Далее проверку повторяют.

**1.3.2. Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита.** Наводят визирную ось трубы на точку и, работая наводящим винтом трубы, наклоняют трубу вверх и вниз. Если при этом нить не будет отклоняться от точки, то условие выполнено (рис. 1.6,а). В противном случае ослабляют винты крепления окулярного колена к трубе и поворотом окулярного колена добиваются правильного положения сетки. После выполнения юстировки винты закрепляют. Эту же проверку можно выполнить с использованием отвеса (рис. 1.6,б).

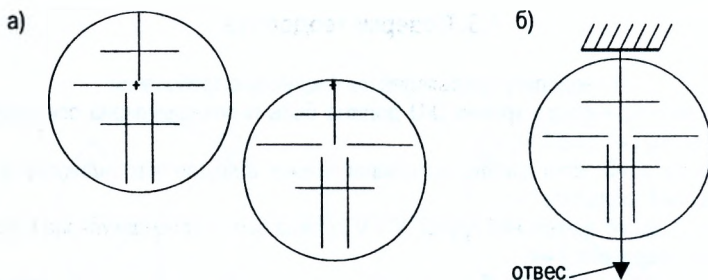


Рис. 1.6. Поверка сетки нитей

**1.3.3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита ( $VV \perp II$ ).**

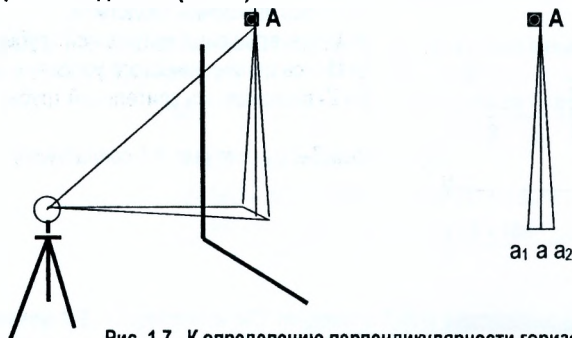


Рис. 1.7. К определению перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к оси вращения теодолита

Устанавливают теодолит в 5-10 м от стены и наводят на какую-либо высоко расположенную точку А (рис. 1.7) при одном из положений вертикального круга, например, при «круге право». Наклоном зрительной трубы проектируют верхнюю точку в нижнюю часть стены (примерно на уровень инструмента), где помощник помечает карандашом проекцию пересечения сетки нитей (точка  $a_1$ ). Переводят зрительную трубу через зенит и аналогичные действия производят при другом положении вертикального круга, помечая точку  $a_2$ . Условие будет выполнено, если проекции верхней точки при КП и КЛ совпали. В случае несовпадения средняя точка из двух проекций (точка  $a$ ) будет соответствовать правильному расположению осей. В современных конструкциях теодолитов невыполнение условия может быть устранено только в мастерской или в заводских условиях.

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

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

1. Приводят теодолит в рабочее положение.

2. Закрепляют лимб и, работая винтами алидады и зрительной трубы, наводят визирную ось на удаленную точку при одном положении вертикального круга и берут отсчет по горизонтальному кругу.

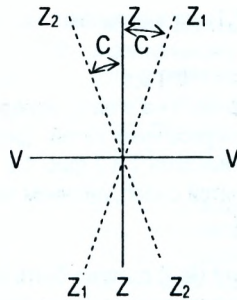


Рис. 1.8. Коллимационная погрешность

3. Наводят на ту же точку при другом положении вертикального круга и берут отсчет. Коллимационную погрешность вычисляют по формуле:

$$C = 0,5 * (КП - КП \pm 180^\circ), \quad (1.9)$$

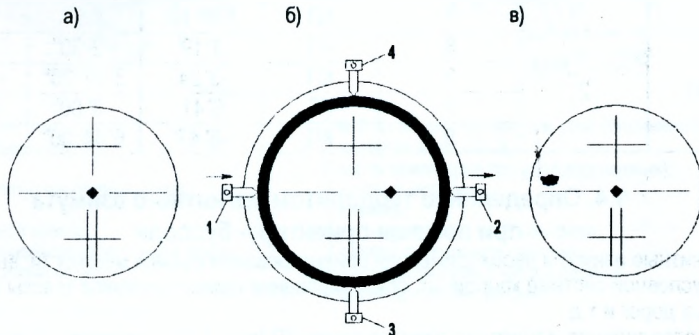
где КП и КП – отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при соответствующем круге. Отсчеты записывают в журнал (табл. 1.1)

Правильность определения коллимационной погрешности проверяют повторными наблюдениями. Если  $|C| \leq 1'$ , то условие считается выполненным.

Таблица 1.1 Определение коллимационной погрешности

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

Исправление коллимационной погрешности выполняют следующим образом (рис. 1.9).



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

Рис. 1.9. Порядок исправления коллимационной погрешности:

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

$$N=(КП+КЛ\pm 180^\circ)*0,5. \quad (1.10)$$

При этом верхняя часть теодолита повернется на угол  $C$ , вследствие чего изображение точки в поле зрения трубы сместится с пересечения нитей (рис. 1.9, б)

2. Действуя боковыми исправительными винтами 1 и 2 (рис. 1.9, б) сетки, последнюю перемещают до совмещения пересечений нитей с изображением точки (рис. 1.9, в)

3. После исправления поверку повторяют.

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

Для определения МО на одну и ту же точку визируют при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ), берут отсчёты по вертикальному кругу и по формуле (1.4) для теодолита Т30 и (1.8) для теодолита 2Т30 находят значение МО. При  $МО > 1'$  вычисляют правильный отсчет по вертикальному кругу по формулам (1.1) и (1.2) для теодолита Т30, (1.5) и (1.6) для теодолита 2Т30 (при  $МО=0$ )

$$КЛ = v,$$

$$КП = 180^\circ - v \text{ для теодолита Т30 и}$$

$$КП = -v \text{ для теодолита 2Т30.}$$

Далее вращением наводящего винта зрительной трубы устанавливают вычисленный отсчёт по вертикальному кругу, вследствие чего пересечение сетки сместится с точки в вертикальной плоскости. Работая вертикальными винтами сетки 3 и 4 (рис. 1.9, б), пересечение сетки совмещается с изображением точки. Результаты измерений заносят в таблицу 1.2

Таблица 1.2. Определение МО и вертикальных углов

Теодолит	№ станций	№ точек визирования	Круг	Отсчёт	МО $v$	Правильный отсчёт
1	2	3	4	5	6	7
Т30	1	6	КП	4° 38'	1'	4° 37'
		6	КП	175° 24'	4° 37'	175° 23'
		7	КП	3° 52'	1'	3° 51'
		7	КП	176° 10'	3° 53'	176° 09'
2Т30	2	8	КП	3° 19'	- 2' 30"	3° 21' 30"
		8	КП	-3° 24'	3° 21' 30"	- 3° 21' 30"
		9	КП	6° 41'	- 3' 00"	6° 44' 00"
		9	КП	-6° 47'	6° 44' 00"	- 6° 44' 00"

### 1.4. Определение теодолитом магнитного азимута при помощи ориентир – буссоли

Магнитные азимуты необходимы при ориентировании съёмок местности, выполняемых в условной системе координат, ориентировании прямых участков трассы автомобильных дорог и т.д.

Для определения магнитного азимута линии АВ (рис. 1.10) над точкой А устанавливают теодолит, приводят по уровню в рабочее положение. Положение теодолита устанавливают при круге «лево», в посадочный паз вставляют буссоль и крепят её к теодолиту специальным винтом.

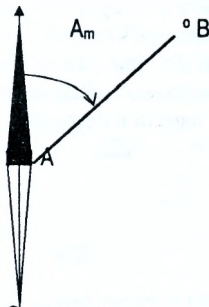


Рис. 1.10. Определение магнитного азимута

Работая винтами алидады 3 и 5 (рис. 1.11), отсчёт по горизонтальному кругу устанавливают равным  $0^{\circ}00'00''$ . Далее, работая винтами лимба 2 и 3, добиваются совпадения северного конца буссоли со штрихом шкалы и закрепляют винт лимба 3. Таким образом,  $0^{\circ}$  горизонтального круга будет ориентирован на магнитный полюс.

Винтами алидады наводят визирную ось теодолита на вежу, устанавливают в точке В.

Отсчёт по горизонтальному кругу будет соответствовать магнитному азимуту линии АВ.

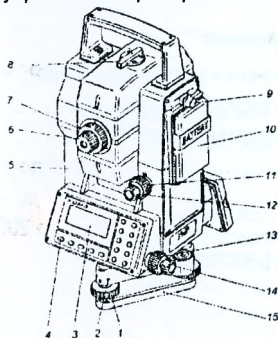
При выполнении этой работы следует помнить, что вблизи буссоли не должно быть металлических предметов (стальных или железных).

### 1.5. Электронный тахеометр ЗТа5Р

Электронный тахеометр ЗТа5Р - оптико-электронный прибор, совмещающий в себе электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и регистратор информации, предназначен для: выполнения крупномасштабных съёмок; создания сетей планово-высотного обоснования; автоматизированного решения различных инженерно-геодезических задач при помощи прикладных программ; крупномасштабных съёмки при инвентаризации земель; создания и обновления земельного кадастра и решения задач землеотвода. Тахеометром можно производить измерения в полярных и прямоугольных координатах.

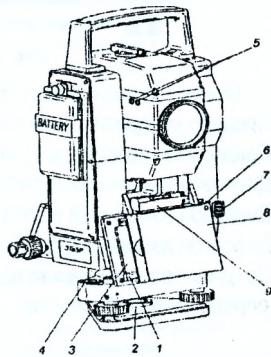
На рис. 1.11 «а» и «б» показано устройство электронного тахеометра ЗТа5Р, а на рис. 1.12 панель управления прибором.

а)



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

б)



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

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

Рис. 1.11. Устройство тахеометра ЗТа5Р



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















-  —  — ввод отдельных цифр;
-  — ввод знака минус;
-   — движение курсора по дисплею;
-  — вызов меню для выбора режима работы, выход из режима после проведения измерений;
-  — смена режима, продолжение работы, просмотр результатов измерений, записанных в карту памяти;
-  — просмотр результатов измерений, записанных в карту памяти; смена шаблона дисплея без выхода в главное меню;
-  — обнуление горизонтального угла;
-  — удаление неправильно набранных цифр;
-  — запись измерений в карту памяти;
-  — начало измерений;
-  — выбор подпрограмм, подтверждение ввода величин;
-  — включение подсветки дисплея.

Рис. 1.12. Кнопки панели управления

Основные технические характеристики электронного тахеометра ЗТа5Р:

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

$$m_s = \pm(5 + 3 \cdot 10^{-6} S) \text{ мм} \quad (1.11)$$

Анализируя формулу (1.11), можно сделать следующий вывод: относительная погрешность измерения расстояния зависит от длины линии.

Так, например, при измерении расстояния 100 м абсолютная погрешность составит  $\pm 5$  мм, а относительная 1:20000; при измерении расстояния 500 м абсолютная погрешность будет  $\pm 6$  мм, а относительная 1:8330000; при измерении расстояния 1 км абсолютная погрешность составит  $\pm 8$  мм, а относительная 1:125000; при измерении расстояния 2 км абсолютная погрешность будет  $\pm 16$  мм, а относительная 1:125000.

На рис. 1.13. представлена структура меню тахеометра.

При измерениях автоматически вводятся следующие поправки:

- За влияние коллимационной погрешности;
- За влияние значения место нуля;

- Поправка за наклон линии к горизонту, т.е. измеряется горизонтальное проложение. Для измерения наклонных расстояний вводится специальный режим;
- Поправка за кривизну Земли и рефракцию.

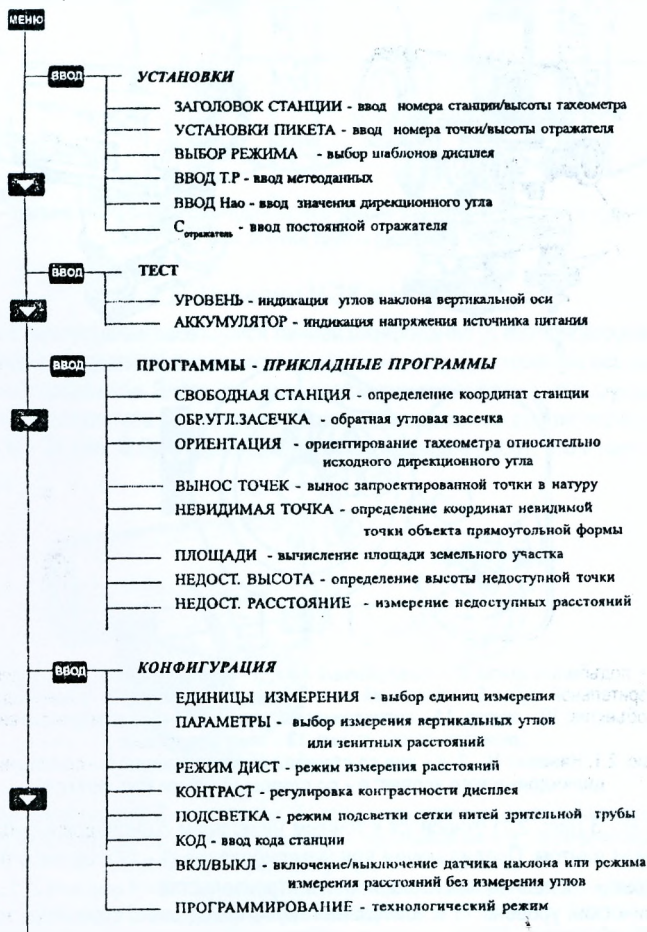


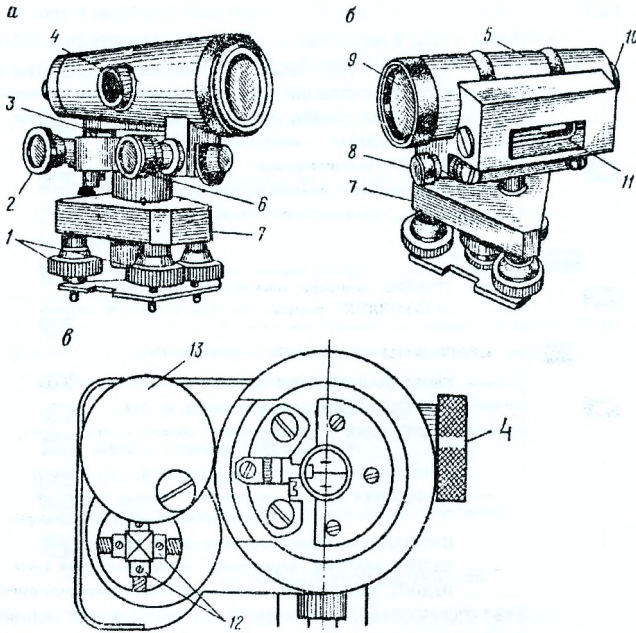
Рис. 1.13. Структура меню электронного тахеометра 3T<sub>5P</sub>

В комплектность входят следующие основные принадлежности:

- Отражатели однопризменные для измерения расстояний до 1 км и двухпризменные при измерении расстояний до 2 км;
- Источники питания;
- Зарядное устройство;
- Карта памяти;
- Вехи;
- Источник питания от аккумулятора автомобиля;
- Источник питания от сети 220 вольт.

## 2 Нивелир

### 2.1 Устройство нивелира Н-3



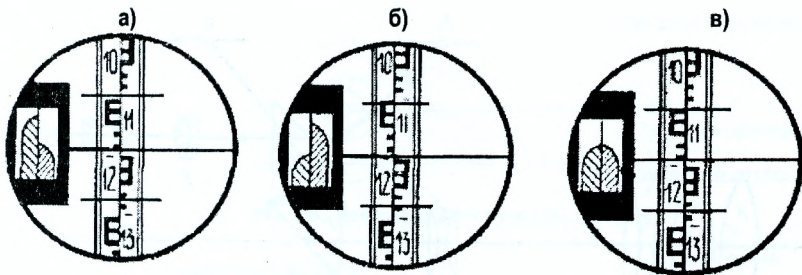
- 1 - подъёмные винты; 2 - элевационный винт; 3 - круглый уровень; 4 - кремальера;  
 5 - корпус зрительной трубы; 6 - наводящий винт; 7 - подставка (трегер); 8 - закрепительный винт;  
 9 - объектив; 10 - окуляр; 11 - цилиндрический уровень; 12 - исправительные винты  
 цилиндрического уровня; 13 -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

**Рис. 2.1. Нивелир Н - 3: а - вид со стороны круглого уровня; б - со стороны цилиндрического уровня; в - со стороны окуляра (без окуляра)**

Нивелир Н - 3 (рис. 2.1) относится к точным нивелирам с цилиндрическим уровнем и элевационным винтом. Предназначен для нивелирования III - IV классов и технического при инженерно - геодезических изысканий и в строительстве.

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

Элевационным винтом 2 цилиндрический уровень вместе с трубой может наклоняться на небольшой угол в вертикальной плоскости. Перед отсчетом по рейке вращением элевационного винта приводят пузырек уровня в нуль-пункт, наблюдая при этом в окуляр зрительной трубы (рис. 2.2). После этого берут отсчет по рейке по средней нити сетки. На рисунке 2.2 отсчет равен 1190 мм.

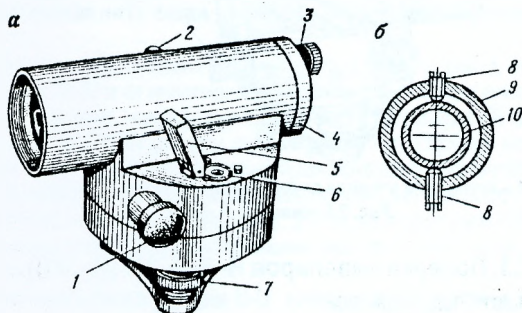


а) и б) – положение пузырька цилиндрического уровня вне нуля-пункта; в) – в нуля-пункте.

Рис. 2.2. Поле зрения трубы нивелира Н – 3:

## 2.2. Нивелир Н-ЗК и Н-ЗКЛ

Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования (с компенсатором – буква «К») в определённом диапазоне автоматически устанавливают визирную ось нивелира в горизонтальное положение. Здесь отпадает необходимость иметь в конструкции элевационный винт, в результате значительно сокращается время на взятие отсчёта по рейке. Нивелир Н – ЗК (рис. 2.3) предназначен для тех же видов работ, что и нивелир Н-3.



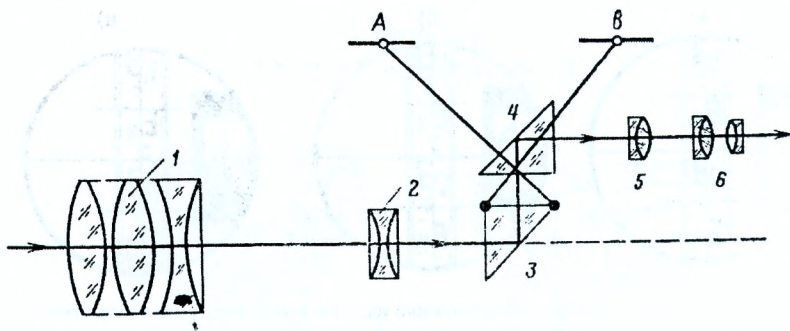
1 – винт бесконечной наводки; 2 – кремальера; 3 – гайка крепления предохранительного колпачка; 4; 5 – зеркальце круглого уровня; 6 – круглый уровень; 7 – подъёмный винт; 8 – юстировочные винты сетки нитей; 9 – оправка окуляра; 10 – сетка нитей.

Рис. 2.3. Нивелир Н – ЗК. а) – общий вид; б) – поперечный разрез окулярной части зрительной трубы.

В рабочее положение нивелир устанавливают подъёмными винтами 7 по круглому уровню 6. У нивелира отсутствует закрепительный винт. При наведении на рейку труба рукой вращается и чётко фиксируется в нужном направлении. Зрительная труба нивелира – перископическая (рис. 2.4).

Нивелир имеет призмный компенсатор, состоящий из двух призм, одна из которых 3 подвешена на четырёх скрещенных нитях, другая 4 неподвижно скреплена с корпусом трубы. Нити закреплены на корпусе трубы. На рисунке 2.4 показаны две нити крепления в точках А и В. Компенсатор обеспечивает установку линии визирования в горизонтальное положение в пределах  $10'$ . Для обеспечения этого предела компенсатора служит круглый уровень 6 (рис. 2.3).

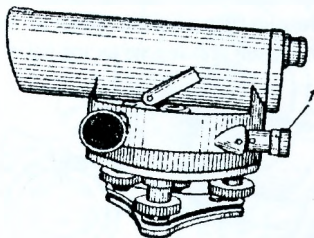




1 – объектив; 2 – фокусирующая линза; 3, 4 – компенсатор; 5 – сетка нитей; 6 – окуляр.

Рис. 2.4. Оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-ЗК.

Нивелир Н – ЗК может выпускаться в варианте с горизонтальным кругом (лимбом) под шифром Н – ЗКЛ (рис. 2.5). Горизонтальный круг разделён через  $1^\circ$ . Наблюдая в окуляр 1, производят отсчёт по лимбу при помощи нониуса с точностью  $0,1^\circ$ .



1 – окуляр для отсчётов по горизонтальному кругу (лимбу).

Рис. 2.5. Нивелир Н-ЗКЛ:

### 2.3. Проверки нивелиров Н-3, Н-3К (Н-ЗКЛ)

У нивелиров различают следующие оси:

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

**2.3.1. Ось круглого уровня К-К должна быть параллельна оси вращения нивелира и.**

Проверку этого условия выполняют приведением пузырька круглого уровня в нуль-пункт при помощи подъемных винтов и поворотом нивелира на  $180^\circ$ . При этом пузырек не должен отклоняться более одного деления (рис. 2.6). Если отклонение не допустимое, выполняют юстировку исправительными винтами круглого уровня на половину отклонения пузырька. После исправления проверку повторяют.



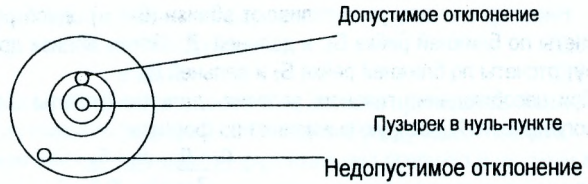


Рис. 2.6. Проверка круглого уровня.

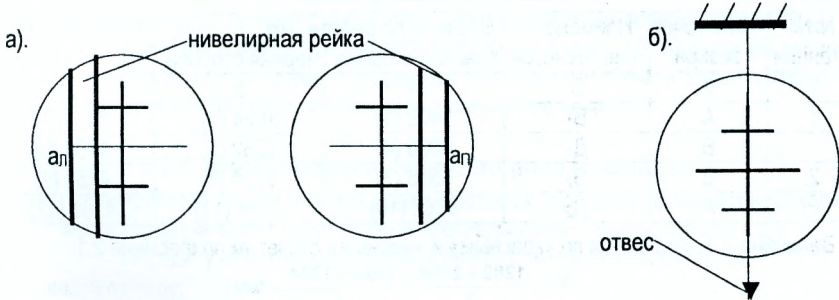


Рис. 2.7. Проверка сетки нитей

**2.3.2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.**

*1-ый способ.* Проверку этого условия выполняют при помощи рейки, установленной вертикально на расстоянии 20-30 м от нивелира, предварительно установленного по круглому уровню. Вращая наводящий винт, наводят сначала левый, а затем правый конец горизонтальной нити сетки нитей на рейку, беря отсчёты  $a_1$  и  $a_2$  (рис. 2.7,а). Отсчёты не должны отличаться более чем на 2 мм. Выполнение этого условия гарантируется заводом-изготовителем.

*2-ой способ.* Нивелир приводится в рабочее положение. На расстоянии 20-30м от нивелира подвешивается отвес, визируют (рис. 2.7,б) вертикальную нить сетки нитей на нить отвеса. Условие выполняется, если изображение вертикальной нити сетки нитей совпадает с нитью отвеса.

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

*1-ый способ.* Главное условие нивелира можно проверить двойным нивелированием. Для этого на ровной местности на расстоянии примерно 50 -75 м друг от друга забивают колышки, на которые устанавливают нивелирные рейки (рис. 2.8).

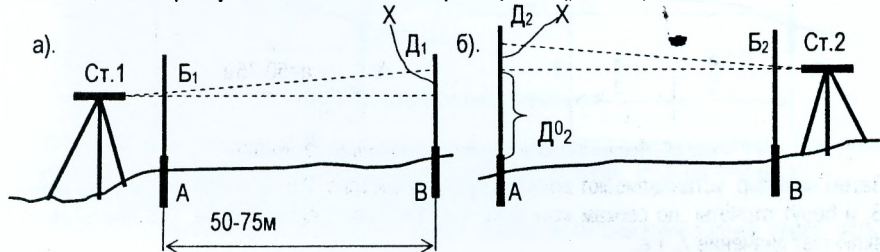


Рис. 2.8. Проверка главного условия нивелира (1-ый способ)

Нивелир вначале устанавливают вблизи (6-8 м) одной рейки (рис. 2.8 а) и берут отсчеты по ближней рейке Б<sub>1</sub>, и дальней Д<sub>1</sub>. Затем вблизи другой рейки (рис. 2.8, б) берут отсчеты по ближней рейке Б<sub>2</sub> и дальней Д<sub>2</sub>.

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

$$X = \frac{D_1 + D_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (2.1)$$

Таблица 1.1 Поверка главного условия

№№ станций	№№ точек визирн.	Наименование отсчетов	Отсчеты по рейкам, мм		Контроль (разность нулей)
			Красная сторона	Черная сторона	
1	2	3	4	5	6
1	A	Б <sub>1</sub>	6409 (1)	1624 (2)	4785 (3)
	B	Д <sub>1</sub>	6065 (4)	1282 (5)	4783 (6)
2	B	Б <sub>2</sub>	6536 (7)	1754 (8)	4782 (9)
	A	Д <sub>2</sub>	6882 (10)	2098 (11)	4784 (12)

Величина X вычисляется по «красным» и «черным» отсчетам по формуле 2.1

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

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

Правильный отсчёт, свободный от X, вычисляется по формуле  $D_2^0 = D_2 - X$  (2.2)

Результаты проверки главного условия оформляют в виде таблицы 1.1

Правильный отсчет  $D_2^0 = 2098 - 2 = 2096$

2-ой способ. На колышки А и В линии длиной 50-75м устанавливают нивелирные рейки, а посередине между рейками – нивелир (рис. 2.9 а). После приведения нивелира в рабочее положение берутся отсчеты «а<sub>0</sub>» и «b<sub>0</sub>» по рейкам. Эти отсчеты будут исключены от влияния X – несоблюдения главного условия нивелира, следовательно, превышение

$$h_3 = a_0 - b_0 \quad (2.3)$$

будет свободно от влияния X.

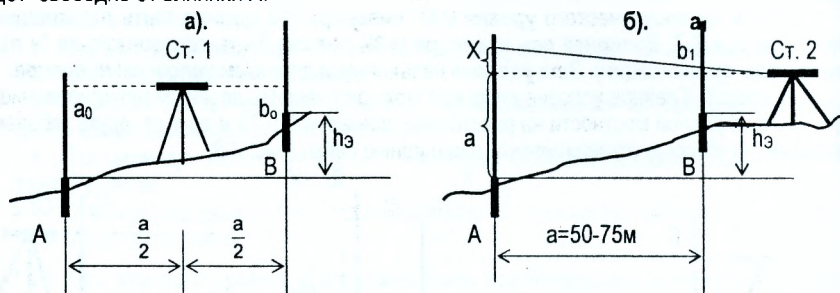


Рис. 2.9. Поверка главного условия нивелира (2 способ)

Затем нивелир устанавливают вблизи другой рейки (рис. 2.9 б), например, вблизи рейки В, и берут отсчеты по рейкам «а<sub>1</sub>» и «b<sub>1</sub>» и вычисляют превышение. Это превышение включает значение X, т.е.

$$h + X = a_1 - b_1, \quad (2.4)$$

следовательно, величину  $X$  можно подсчитать по формуле:

$$X = h - h_a, \quad (2.5)$$

а правильный отсчёт

$$a = a_1 - X. \quad (2.6)$$

Для расстояния  $AB$ , равного 75 м, погрешность  $X$  не должна превышать 4 мм.

Исправление несоблюдения главного условия выполняется в следующем порядке.

**Нивелир Н-3.** Эlevationным винтом совмещают горизонтальную среднюю нить сетки с правильным отсчетом (формулы 2.2 и 2.6), при этом пузырек цилиндрического уровня сместится с нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами 12 (рис. 2.1, в) цилиндрического уровня приводят пузырек в нуля-пункт. После исправления поверку повторяют.

**Нивелир Н-3К.** При помощи исправительных винтов 8 (рис. 2.3, б) сетки её перемещают так, чтобы отсчёт по рейке стал равным правильному отсчёту, вычисленному по формулам (2.2) или (2.6). После исправления поверку повторяют.

## 2.4. Нивелирование через водные преграды

При строительстве автомобильных дорог, мостовых переходов возникает необходимость передачи высот через водные преграды (реки, каналы, озера и т.д.).

Передачу отметок через водные препятствия можно произвести:

- зимой по льду;
- двойным геометрическим нивелированием;
- тригонометрическим нивелированием;
- гидростатическим нивелированием.

1. **По льду.** В лёд вмораживают колья для постановки штатива и реек. Следует помнить, что лёд имеет подвижки по высоте, которые могут быть значительны посредине реки. Ширину водной преграды делят на равные участки по 150 – 200 м в зависимости от прогнозируемой видимости и одновременно несколько наблюдателей по команде берут отсчёты на задние и передние рейки. Так несколько раз (до пяти приёмов).

2. **Двойное геометрическое нивелирование.** Перед началом работ на обоих берегах водяного потока закладывают реперы 1 и 2 (рис. 2.10) так, чтобы визирный луч проходил не ниже 2 – 3 м над поверхностью воды.

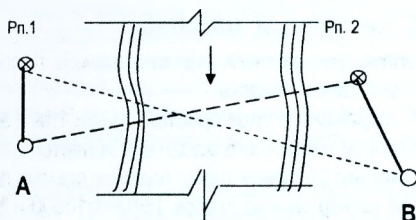


Рис. 2.10. Двойное нивелирование

В 10 – 30 м от реперов выбирают станции А и В для постановки нивелира. При этом должно быть соблюдено равенство расстояний:  $A-рп.1=B-рп.2$ ;  $A-рп.2=B-рп.1$

Работу выполняют в следующем порядке:

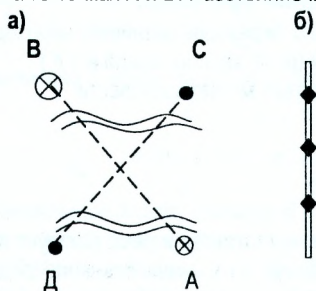
1. Нивелир устанавливают в точке А и берут отсчёт  $Z_1$  по ближней задней рейке, установленной на  $рп.1$ ;

2. После изменения фокусировки берут отсчёт  $\Pi_1$  по рейке, установленной на рп.2;
3. Затем нивелир перевозят на другой берег, не изменяя фокусировку, устанавливают над точкой В и берут отсчёт по рейке, установленной на рп.1, а затем по ближней рейке на рп. 2.

Таких приёмов делают несколько в зависимости от ширины реки. Описанная методика исключает погрешность, вызванная ходом фокусирующей линзы зрительной трубы.

Отсчёты на дальние рейки производят при помощи передвижных щитков с утолщенными штрихами.

**3. Тригонометрическое нивелирование.** Для передачи высот этим способом используют точные оптические теодолиты типа Т5. Наблюдения выполняют в прямом и обратном направлениях двумя инструментами. Точки А и В оборудуют как реперы, а точки С и Д - для постановки инструментов (рис. 2.11). В качестве визирных целей используют три марки, укрепляя их на рейке или вехе. Последние устанавливают на расстояниях в точках А и В. Расстояние между точками ВС и АД не должно превышать 3 м.



Определив  $MO$ , его устанавливают по вертикальному кругу и наводят визирную ось на ближайшую рейку. Отсчёты по горизонтальной нити будут соответствовать высоте инструмента  $i_1$  и  $i_2$ . Далее измеряют вертикальные углы полным приёмом на все три марки. Расстояния  $S_1$  и  $S_2$  определяют светодальномером или как недоступные.

Превышение между реперами вычисляют по формулам тригонометрического нивелирования

$$h = d \operatorname{tg} v + i + v. \quad (2.3)$$

Рис. 2.11. Схема передачи высот - а; б - визирная цель.

## 3. Масштабы

### 3.1. Численный масштаб

**Масштабом** называется степень уменьшения горизонтального проложения линии местности при изображении её на плане или карте.

Масштаб карты, как правило, выражают в виде простой дроби  $1:M$ . Такой масштаб называют **численным**. Знаменатель  $M$  численного масштаба является отвлечённым числом, которое показывает, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения при изображении их на карте. Так, на картах масштабов 1:500; 1:10000 и 1:50000 горизонтальные проложения уменьшены соответственно в 500; 10000 и 50000 раз.

Если длину линии на карте обозначить через  $d$ , то ей будет соответствовать горизонтальное проложение линии местности  $S$ .

$$S = d * M. \quad (3.1)$$

**Пример 3.1.** Длина отрезка на карте масштаба 1:50000  $d=4,2$  см. Определить соответствующее горизонтальное проложение  $S$ . Согласно (3.1) имеем:

$$S = 4,2 \text{ см} * 50\ 000 = 210\ 000 \text{ см} = 2100 \text{ м}$$

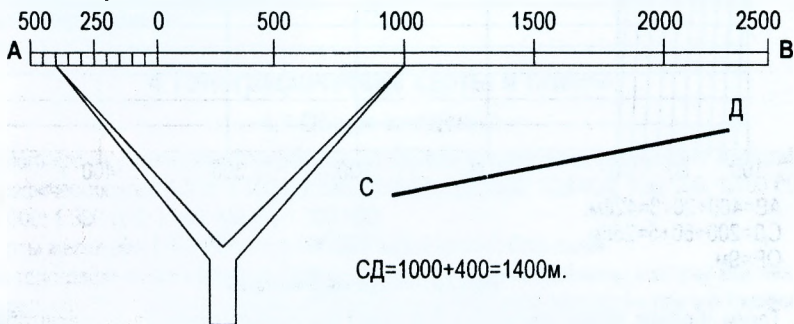


**Пример 3.2.** Длина горизонтального проложения линии местности  $S = 897$  м. Определить её длину на карте масштаба 1:25000. Из формулы (3.1) найдём  $d$   
 $d = S : M = 897 \text{ м} : 25000 = 0,03588 \text{ м} = 3,59 \text{ см}$ .

Чем меньше знаменатель численного масштаба  $M$ , тем крупнее масштаб, и, наоборот, чем больше знаменатель  $M$ , тем мельче масштаб. Например, масштаб 1:500 крупнее масштаба 1:2000 в 4 раза, а масштаб 1:5000 мельче масштаба 1:100 в 5 раз.

### 3.2. Масштабы: линейный, поперечный и переходный

При пользовании численным масштабом приходится выполнять вычисления. Это не всегда удобно при большом объеме выполняемых работ. Поэтому иногда удобнее пользоваться графическими построениями численного масштаба, которые называются **линейными и поперечными** масштабами.



**Рис. 3.1.** Определение расстояний при помощи линейного масштаба

**Линейный масштаб** удобнее при измерении расстояний по карте. Линейный масштаб помещён под южной рамкой карты. Деления линейного масштаба оцифрованы в метрах в соответствии с численным масштабом карты, для которой он построен. На рисунке 3.1 построен линейный масштаб для карты масштаба 1:25 000.

Для построения линейного масштаба на прямой  $AB$ , начиная от одного из его концов, откладывают отрезки одинаковой длины, называемые **основанием масштаба**. На рис. 3.1 основание масштаба 2 см. После первого основания ставят  $O$  и от него влево и вправо делают соответствующую масштабу оцифровку. Для повышения точности измерений слева от нуля основания делят на более мелкие деления. Длину отрезка на карте измеряют циркулем-измерителем. Не изменяя раствора ножек, измеритель прикладывают к линейному масштабу так, чтобы правая ножка совмещалась с каким-нибудь делением справа от нуля, а левая находилась на левом основании масштаба и отсчитывают значения расстояния.

Под южной рамкой карты помещены три вида масштабов: численный, именованный и линейный.

**Именованный масштаб** – это словесное выражение численного масштаба. Например, для масштаба 1: 10 000 именованный будет: « в 1 сантиметре 100 метров ».

Линейный масштаб не всегда позволяет измерить расстояние с необходимой точностью. Высокую точность получают при помощи поперечного масштаба. Для построения его на прямой линии откладывают последовательно несколько раз основание масштаба  $a$  (обычно  $a = 2$  см рис. 3.2). Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры, которые называют вертикалями. На крайних вертикалях откладывают  $n$  равных отрезков (обычно  $n=10$ ) и через полученные точки проводят линии, параллельные основанию-горизонтالي. Левое крайнее основание сверху и снизу делят на  $n$  равных частей ( $n=10$ ) и через полученные точки проводят наклонные параллельные линии – **трансверсали**.



Очевидно, что длина отрезка между соседними трансверсальями равна  $\frac{a}{n}$ , а длина отрезков, ограниченных вертикалью и трансверсалью, исходящими из одной точки, изменяется при переходе от одной горизонтали к другой на величину  $b = \frac{a}{m \cdot n}$ . Эта величина называется **наименьшим делением масштаба**.

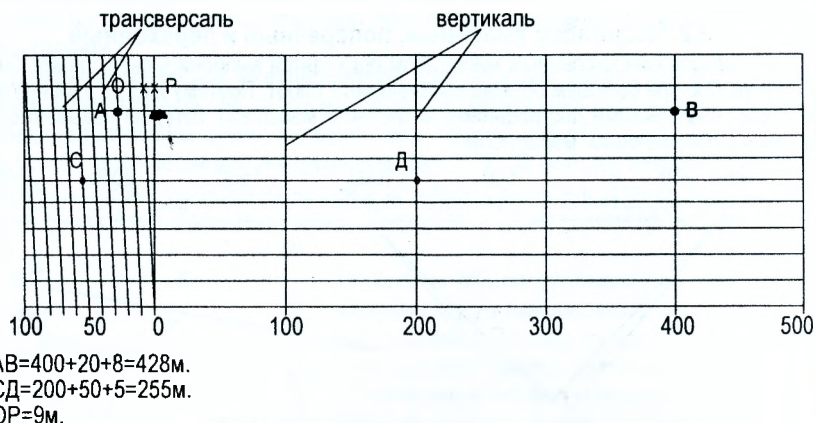


Рис. 3.2. Поперечный масштаб

Таким образом, длина отрезка  $a = 2$  см будет называться **основанием масштаба**, длина отрезка  $\frac{a}{n} = 2$  мм – **делением масштаба**, а длина отрезка

$b = \frac{a}{m \cdot n} = 0,2$  мм – **наименьшим делением масштаба**. Такой масштаб называют **нормальным** или **сотенным**.

Деления основания и горизонтали лучше оцифровать для данного масштаба карты. На рис. 3.2 оцифровка выполнена для карты масштаба 1: 5 000.

На карте этого масштаба основанию будет соответствовать 100 м, делению 10 м, а наименьшему делению 1 м.

Чтобы определить расстояние между заданными точками на карте или плане, берут это расстояние раствором циркуля-измерителя, который затем переносят на поперечный масштаб, так, чтобы, правая ножка находилась на одной из вертикалей, а левая – на одной из трансверсальей. При этом обе ножки должны находиться на одной и той же линии, параллельной горизонтали. Измеренное расстояние равно сумме расстояний, соответствующих числу охваченных раствором измерителя целых оснований, целых делений и наименьших делений, оцениваемых по положению ножки циркуля на трансверсали. Например, отрезок АВ (рис. 3.2) имеет длину  $400+20+8=428$  м, а отрезок СД =  $200+50+5=255$  м. Из последнего примера видно, что длину отрезка можно оценить с погрешностью, равной половине наименьшего деления. Поэтому длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая 0,1 мм на карте, называется точностью масштаба. Например, точность масштабов 1:10 000, 1:50 000 и 1 000 000 соответственно равна 1 м, 5 м и 100 м.

При работе с аэрофотоснимками, знаменатель масштаба которых выражен не круглым числом, производить измерения на таком снимке неудобно. Например, на снимке масштаба 1:14 300 одному сантиметру соответствует горизонтальная линия на местности длиной 143 м. Основанию нормального сотенного масштаба будет соответствовать

линия длиной 286 м, а наименьшему делению – 2,86 м. Таким масштабом пользоваться неудобно. Во избежание дробных величин, рассчитывают длину основания **a**, которому соответствует круглое число метров. Рассчитаем длину основания **a**, которому соответствует, например, 200 м. Составим пропорцию:

$$\frac{1\text{см}}{143\text{м}} = \frac{a}{200\text{м}}$$

или

$$a = 1\text{см} \cdot \frac{200}{143} = 1,40\text{см}$$

Таким образом, если построить сотенный поперечный масштаб с основанием 1,4 см, то ему будет соответствовать горизонтальное проложение на местности длиной 200 м; делению - 20 м; наименьшему делению 2 м. Построенный таким образом масштаб называется **переходным**.

## 4 Топографические карты и планы

### 4.1 Общие сведения

Топографо-геодезической службой нашей страны установлены следующие масштабы топографических карт: 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000; 1:300 000; 1:500 000 и 1:1 000 000.

Карты масштаба 1:200 000 – 1:1 000 000 называется обзорными.

На топографических картах достаточно полно и точно изображены контуры местности и рельеф. Поэтому они широко используются в народном хозяйстве при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. В решении многих других задач - это лесоустройство, землеустройство и т. д. Велико значение топографических карт в военном деле. Они служат основой для составления специальных карт, таких как геологические, почвенные, гидрологические, навигационные и т. д.

### 4.2. Понятие о номенклатуре топографических карт

Территория государства на топографических картах изображается по частям на отдельных листах. Размеры листов выбирают таким образом, чтобы ими было удобно пользоваться. По этому топографические карты различных масштабов объединены между собой единой системой разграфки и номенклатуры.

**Номенклатурой** топографической карты называется система обозначений отдельных листов карт различных масштабов. Взаимное их расположение устанавливается системой разграфки.

За основу разграфки и номенклатуры листов топографических карт принята международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Номенклатуру карты масштаба 1:1 000 000 получают путём условного деления поверхности земного шара параллелями, начиная от экватора, через 4° и меридианами, начиная от 180°. При делении поверхности шара параллелями получают ряды, которые, начиная от экватора, обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от A до V (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V). При делении поверхности земного шара меридианами получают колонны, они нумеруются арабскими цифрами, начиная от меридиана с долготой  $\lambda=180^\circ$ , через 6°, таким образом, нумерация колонн и зон отличается на 30 единиц.

Так, зона № 1 находится между долготами  $\lambda=0^\circ$  и  $\lambda=6^\circ$ , а колонна № 1 расположена между долготами  $\lambda=180^\circ$  и  $\lambda=186^\circ$ . Лист карты масштаба 1:1000000 ограничивается по долготе  $\Delta\lambda=6^\circ$  и по широте  $\Delta\varphi=4^\circ$ , номенклатура этих листов образуется из буквы ряда и номера колонны. Следовательно, зная номенклатуру листа можно определить географические координаты углов его трапеции. Республика Беларусь ограничивается меридианами  $\lambda\approx 23,6'$  с запада;  $\lambda\approx 32,8'$  с востока; широтами  $\varphi\approx 56^\circ$  с севера и  $\varphi\approx 51,2'$  с юга, т.е. она расположена на 6 листах миллионного масштаба. Основная часть территории Беларуси находится в ряду N( $\varphi=52^\circ - 56^\circ$ ) (рис 4.1), колонне N 35 ( $\lambda=24^\circ - 30^\circ$ ). Номенклатура такого листа будет N-35, с юга, запада и востока часть Беларуси находится в рядах M и N, колоннах 34, 35, 36. Таким образом, территория Республики Беларусь расположена на листах миллионного масштаба с номенклатурой N-35 – центральный лист, с запада от него - N-34; с востока - N-36; с юга - 35; с юго-запада – M-34 и юго-востока M-36.

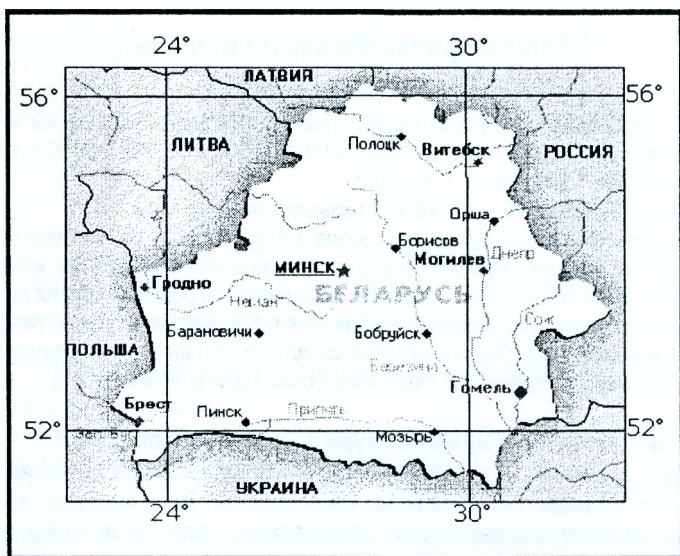
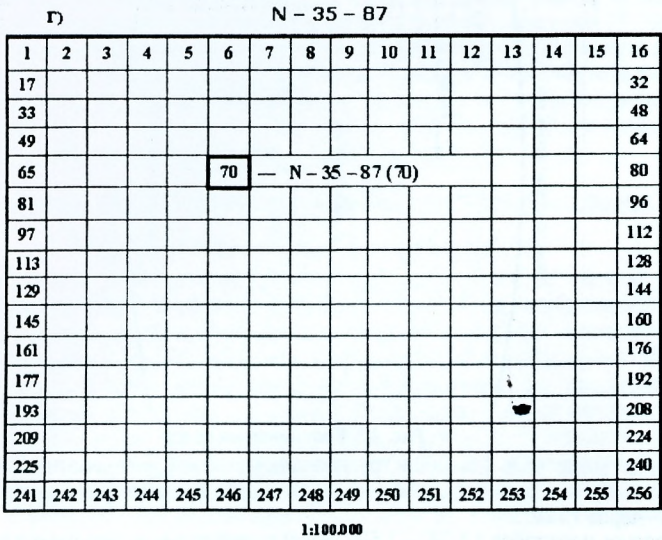
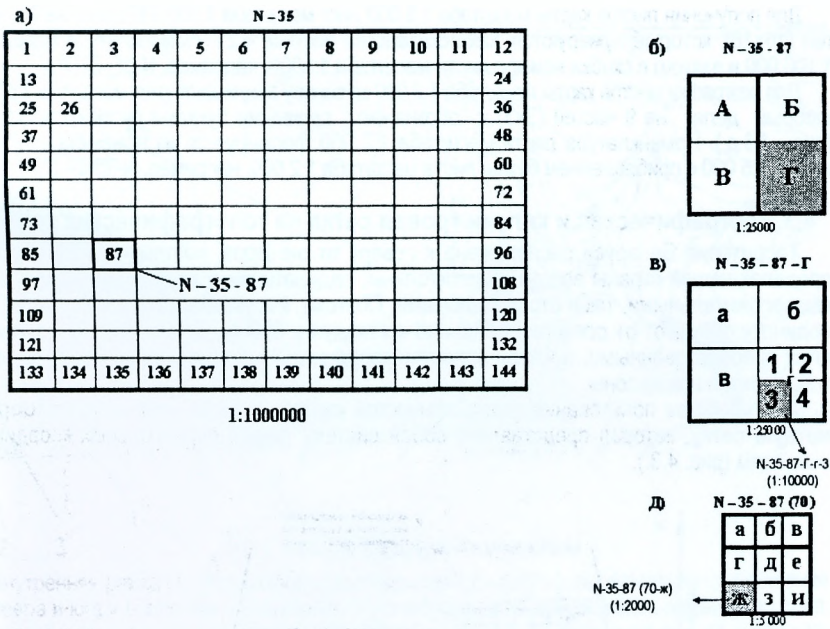


Рис. 4.1. Географическое расположение Республики Беларусь

В основу разграфки номенклатуры карт масштаба 1:100 000 и крупнее положена карта масштаба 1:1 000 000. Разделив эту карту по широте и долготе на 12 равных частей, получают границы 144 листов карты масштаба 1:100 000 (рис 4.2), которые нумеруют, как показано на рисунке. Номенклатура каждого листа складывается из номенклатуры листа масштаба 1:1 000 000 и номера листа 1:100000. Так, номенклатура выделенного на рисунке листа с номером 87 будет N-35-87.

Для получения листа карты 1:50 000 лист карты масштаба 1:100 000 делят на 4 части, которые обозначают заглавными буквами А, Б, В, Г (рис 4.2. б). Например, лист карты масштаба 1:50 000 имеет номенклатуру N-35-87-Г. Далее лист карты масштаба 1:50 000 делят на 4 части и получают карту 1:25 000, части обозначают буквами а, б, в, г (например N-35-87-Г-г (рис 4.2.в). Листы карт масштаба 1:25 000 делят на четыре части и получают листы масштаба 1:10 000, которые нумеруют 1, 2, 3, 4. Например, N-35-87-Г-г-3 (рис. 4.2.в).





а) - 1:100 000; б) - 1:5 000; в) - 1:25 000; г) - 1:5 000; д) - 1:2 000

Рис. 4.2. Разграфка листов карты масштабов

Для получения листов карты масштаба 1:5 000 лист масштаба 1:100 000 делят на 256 частей (16×16), которые нумеруются, как показано на рисунке 4.2.г. Номенклатура масштаба 1:100 000 и взятого в скобки номера листа масштаба 1:5000, например, N-35-87(70).

Для разграфки листов карты масштаба 1:2 000 за основу принимают лист масштаба 1:5 000, который делят на 9 частей (3×3) и обозначают срочными буквами русского алфавита (рис. 4.3.д.). Номенклатура листа масштаба 1:2 000 формируется из номенклатуры масштаба 1:5 000 с прибавлением буквы листа масштаба 1:2 000, например, N-35-87-(70 - и).

### 4.3. Географическая и километровая сетка на топографических картах

Территория Беларуси расположена к северу от экватора, поэтому все абсциссы в пределах нашей страны всегда положительны, ординаты же в каждой зоне могут быть как положительными, так и отрицательными. Поэтому, как указывалось в параграфе 2.2, ординату смещают от осевого меридиана к западу на 500 км. Такие ординаты называются преобразованными, а чтобы отличать координаты в разных зонах, перед ординатой ставится номер зоны.

Для удобства пользования топографической картой на листе карт наносят **координатную сетку**, которая представляет собой систему линий, параллельных координатным осям (рис. 4.3.).

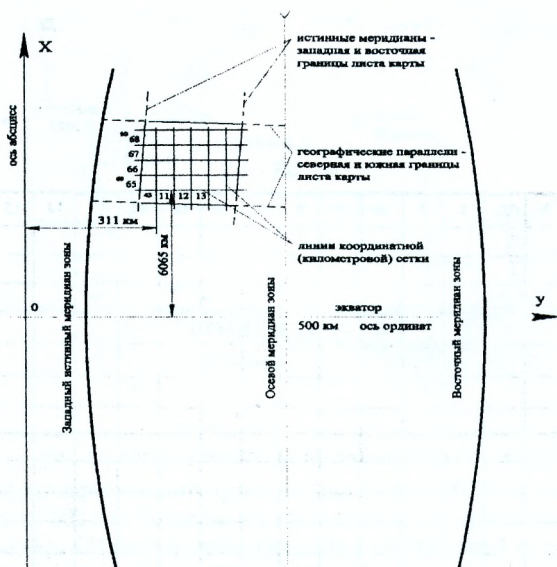


Рис. 4.3. Координатная сетка

Для карт масштабов 1:50 000 и крупнее километровая (координатная) сетка наносится через 1 км. На картах масштаба 1:100 000 – через 2 километра, а на картах более мелких - через 10 км.

На планах масштабов 1:5 000 – 1:500 линии прямоугольных координат проводятся через 10 см, а их выходы за внутреннюю рамку подписывают в километрах для масштабов 1:5 000 – 1:2 000 и в метрах для масштабов 1:1000 и 1:500. Координатная сетка позволяет определять прямоугольные координаты точек на карте. При оформлении топографических карт предусмотрены рамки (рис 4.4.): внутренняя – 1; внешняя – 2 и минутная – 3.



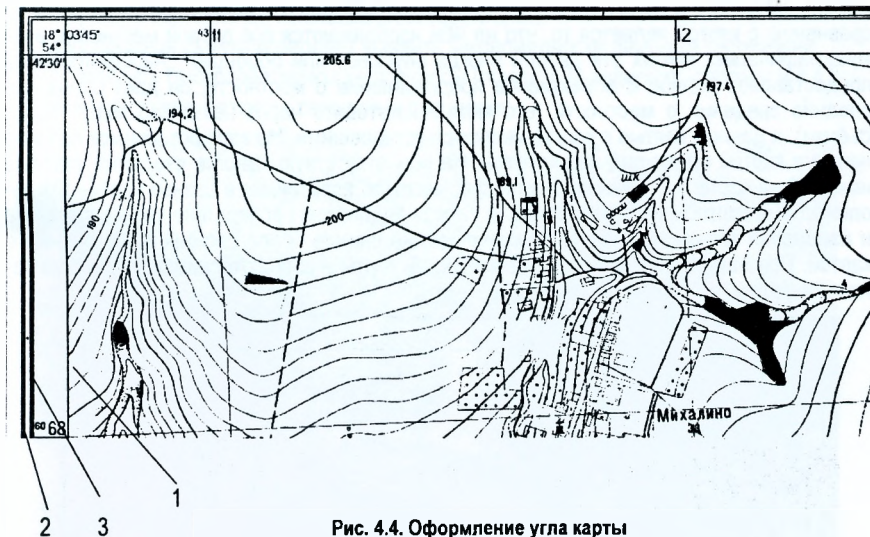


Рис. 4.4. Оформление угла карты

Внутренняя рамка (1) образована отрезками параллелей, ограничивающих изображение с севера и юга и отрезками меридианов, ограничивающих изображение с запада и востока. Значения широт и долгот подписывают во всех углах карты, которые зависят от номенклатуры карты. Между внутренней и внешними рамками расположена минутная (3), на северной и южной сторонах которой нанесены деления, соответствующие одной минуте долготы, на западной и восточной сторонах – деления, соответствующие одной минуте широты. Между внешней и минутными рамками нанесены точки, которые делят минутные деления на 6 частей, т.е. на десятисекундные деления. Наличие на карте минутной рамки позволяет определять географические координаты точек, расположенных на карте.

## 5. Понятия об аэрофотоснимке. Космический снимок

### 5.1. Общие понятия об аэрофотоснимке

Аэрофотосъемка является основой создания топографических карт на всю территорию государства. При аэрофотосъемке самолёт с установленной на нём аэрофотокамерой пролетает по заранее установленным параллельным маршрутам. Маршруты между собой перекрываются на 30-40%, такое перекрытие называется поперечным. Во время полёта по маршруту автоматическая фотокамера периодически фотографирует местность, так что соседние аэроснимки в маршруте также перекрываются между собой, такое перекрытие называется продольным. Величина продольного перекрытия достигает 50-60%. Продольное и поперечное перекрытия способствуют совместной обработке всех аэрофотоснимков на заданной территории (приведение к единому масштабу всех аэроснимков, стереоскопическое рассматривание снимков, определение превышений между точками и т.д.).

Первичной продукцией аэрофотосъемки являются аэрофотоснимки (рис. 5.1). По ним путём специальных фотограмметрических методов создают топографические карты различных масштабов. Однако различные задачи лучше решать при помощи аэроснимков (определение контурного положения местности, камеральное трассирование авто-

мобильной дороги и других линейных сооружений). Преимуществом аэрофотоснимка по сравнению с картой является то, что на нём изображаются все детали местности, а на топографических картах эти детали иногда опускают или обобщают. Аэрофотоснимок предоставляет полное и объективное представление о местности, он даёт самые последние сведения о местности (его можно изготовить через несколько минут после съёмки), а данные взятые с карты, являются устаревшими. Но аэрофотоснимок по сравнению с картой имеет ряд недостатков. На нём отсутствуют многие сведения, которые имеются на карте: нет данных о рельефе; масштаб аэроснимка в разных его частях неодинаков; масштабы соседних снимков также неодинаковы вследствие кренов самолёта и изменения его высоты, поэтому измерения на снимке более сложны по сравнению с картой. При наличии на одну и ту же местность карты и аэрофотоснимка, последние являются отличным дополнением к карте.

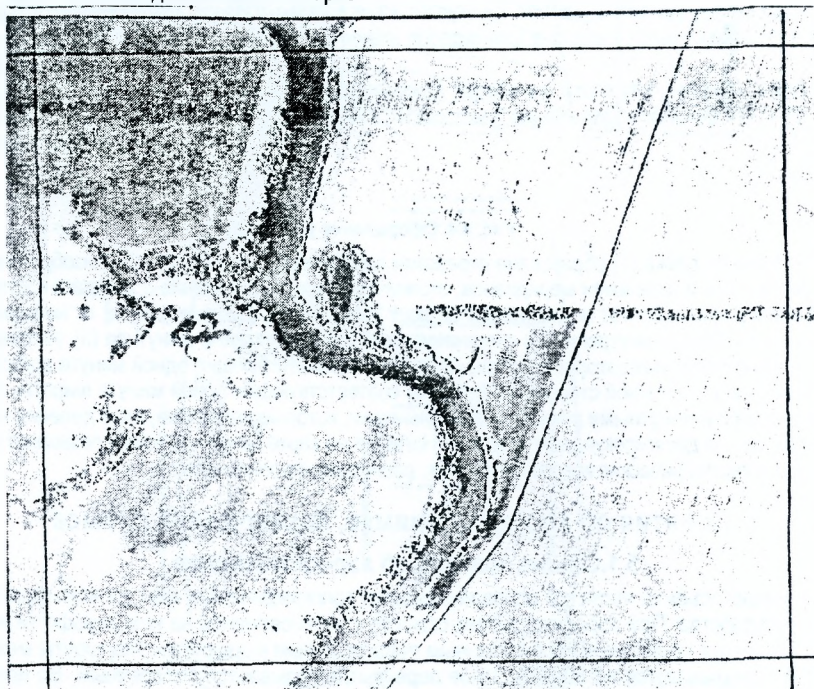


Рис. 5.1. Фрагмент аэрофотоснимка

По аэроснимкам изучают местность при её рекогносцировке для проектно-исследовательских работ. Большое значение аэрофотоснимки имеют при изысканиях автомобильных дорог.

Большое значение при изучении местности имеет космическая съёмка. На рис. 5.2. представлен космический снимок БрГТУ. По космическим снимкам составляют ландшафтные карты, туристические маршруты, карты национальных парков и заповедных зон.

Достижения в области аэрокосмических съёмок позволяют:

- разрабатывать высокоточные планы местности, в том числе цифровые карты и планы, а также ортофотокарты;
- получать трёхмерные модели местности;



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



Рис. 5.2. Космический снимок территории БрГТУ

## 5.2. Фотосхема. Фотоплан

Фотосхемой называется соединение ряда аэроснимков в одно изображение местности. Она является хорошим топографическим материалом для проектирования линейных сооружений. Фотосхема получается в результате монтажа соседних аэроснимков, как продольных, так и поперечных. Для составления фотосхемы смежные аэроснимки монтируют по контурным точкам, расположенным в середине их перекрытия. Для удаления перекрывающихся частей снимки разрезают (как правило, по общим контурам) и соседние части аз-

роснимков наклеивают на плотную бумагу (картон) вплотную друг к другу. Таким образом, для составления фотосхемы используются средние, мало искаженные, части аэрофотоснимков. На фотосхеме можно решать те же задачи, что и на аэроснимке.

Для решения более точно задачи в плановом положении создаются **фотопланы**. При создании фотоплана все аэроснимки при помощи фотограмметрических методов приводятся к единому масштабу и монтируются на одну плоскость. Масштаб фотоплана, как правило, приводится к масштабу карты, которая планируется к изданию.

На фотоплане можно решать линейные задачи, такие же, что и на карте.

### 5.3. Ориентирование. Дешифрирование снимков

Аэроснимок ориентируют на местности по совместным контурам, имеющимся на снимке и на местности (автомобильные дороги, лесополосы, границы пашни и т.д.), или по воображаемым линиям, соединяющим ярко выраженные предметы. Это могут быть отдельно стоящие деревья, углы зданий или сооружений. Так, если наблюдатель находится на шоссе (рис 5.1), то, не определяя точку своего местоположения, он легко может по направлению шоссе ориентировать снимок. Также можно встать в точке, которая явно выражена на местности (угол отдельного дома, пересечение полевых дорог, отдельно стоящая водонапорная башня и пр.), и по другим, ясно выраженным предметам, отобразившимся на аэроснимке, ориентировать аэрофотоснимок.

После ориентирования снимка на него можно положить ориентир-буссоль и прочертить линию, параллельную магнитной стрелке. Эта линия будет являться направлением магнитного меридиана. В последующем, в зоне нечётких контуров (например, лесной массив), аэроснимок можно ориентировать, пользуясь буссолью и прочерченной на нём линии.

Дешифрирование аэроснимка – это признаки, по которым раскрывают информацию изображения, на аэрофото- или космических снимках. Различают полевое и камеральное дешифрирование. Существует и маршрутное дешифрирование.

При камеральном дешифрировании с помощью фотограмметрических приборов и фототону снимка определяют все необходимые характеристики объектов, которые необходимы при составлении топографических карт. Такое дешифрирование используется в степных и пустых районах. При полевом (сплошном дешифрировании) непосредственно на местности определяют высоту деревьев, этажность зданий, их отношение к жилью, материал, из которого построены здания, линии ЛЭП и т.д. Такое дешифрирование выполняют в населённых пунктах.

При маршрутном дешифрировании намечаются специальные маршруты, по которым дешифрировщик проходит и описывает фототона аэроснимка, определяет характеристики лесных массивов, скорость течения рек, характеристики рек и их дна и пр. Такое дешифрирование практикуется в сплошных лесных массивах с развитой гидрографией. Различают также дешифрировочные признаки на прямые и косвенные. Прямые признаки передают форму изображения и характер его поверхности. Например, на рисунке 5.1. хорошо видна автомобильная дорога, которая пересекает лесополосу, а также протекает река, по берегам которой имеется древесная растительность.

Косвенные указывают на возможность наличия на территории объекта, хотя он и не получил отображения на снимке. Такими признаками могут быть, например, зависимость вида растительного покрова от типа почвы, её засоленности и увлажнённости или связь рельефа геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе.

Недешифрирующиеся объекты в камеральных условиях обязательно распознаются при полевом дешифрировании.

## 5.4. Масштаб аэроснимка

Аэрофотоснимок является центральной проекцией линейности, поэтому масштаб снимка зависит от фокусного расстояния аэрофотоаппарата и высоты фотографирования (как и при обычном фотографировании). В фотограмметрии существует формула

$$\frac{f}{H} = \frac{1}{M} \quad (5.1)$$

где  $f$  – фокусное расстояние фотокамеры;

$H$  – высота фотографирования;

$M$  – знаменатель численного масштаба снимка.

Следовательно, чем больше высота фотографирования, тем мельче масштаб аэрофотоснимка и наоборот.

При неизвестной высоте фотографирования масштаб снимка определяют путём измерений и сопоставления расстояний между одинаковыми точками на аэроснимке и местности или на карте.

**Пример 1.** Высота фотографирования  $H = 800$  м; фокусное расстояние аэрофотоаппарата  $f = 75$  мм. Определить масштаб аэрофотоснимка.

Согласно формуле 5.1, имеем

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H} = \frac{75}{800000} \approx \frac{1}{10700}$$

**Пример 2.** Измерены расстояния между двумя точками на аэрофотоснимке  $d=3.92$  см и на местности  $D=540$  м. Определить масштаб аэрофотоснимка

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} = \frac{3.92}{54000} \approx \frac{1}{13800}$$

**Пример 3.** Измерены расстояния между одноименными точками на аэрофотоснимке  $d=3,45$  см и на топографической карте масштаба  $1:10\,000$   $S=6,85$  см. Определить масштаб аэрофотоснимка. Здесь вначале приведём расстояние на карте  $S$  к расстоянию  $D$  на местности. Очевидно, что при масштабе карты  $1:10\,000$  (в 1 см 10м),  $D=685$  м или

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} = \frac{3.45}{68500} = \frac{1}{19860}$$



# Управляемая самостоятельная работа

(для студентов 1-70 02 01 – «Промышленное и гражданское строительство»)

## 1. Решение задач по топографическим картам и аэрофотоснимкам.

### 1.1. Определение географических и прямоугольных координат точки

**Определение географических координат.** Как уже указывалось в 4.3, на картах имеется рамка широт и долгот. Поэтому для решения данной задачи пользуются значениями широтной рамки, проводят две ближайшие к заданной на карте точке параллели два меридиана, соответствующие целым минутным делениям широты и долготы. На рисунке 1.1 пунктирными линиями показаны параллели и меридианы, проведенные для определения координат точки А. Значения широты на этих параллелях равны  $\varphi_0=53'21''$  и  $\varphi_c=53'22''$ , а значения долготы на меридианах  $\lambda_3=25'24''$  и  $\lambda_6=25'25''$ .

Из рисунка 1.1. видно, что географические координаты точки А можно получить из выражения

$$\varphi_a = \varphi_0 + \Delta\varphi;$$

$$\lambda_a = \lambda_3 + \Delta\lambda.$$

Для определения  $\Delta\varphi$  измеряют отрезки а и в (рис.1.1) и вычисляют

$$\Delta\varphi = 60'' \left( \frac{a}{a} \right),$$

а для определения  $\Delta\lambda$  измеряют расстояния с и d, а значение  $\Delta\lambda$  вычисляют по формуле:

$$\Delta\lambda = 60'' \left( \frac{c}{d} \right).$$

**Определение прямоугольных координат.** Для определения точки В сначала определяют координаты точки О, пользуясь координатной сеткой (рис. 1.1)  $X_0=6643 \text{ км}=6643000 \text{ м}$ ;  $Y_0=5214 \text{ км}=521400 \text{ м}$ . (Здесь следует помнить, что цифра 5 перед ординатой обозначает номер зоны, в которой расположена карта). Далее определяют отрезки  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  в масштабе карты и вычисляют прямоугольные координаты точки В

$$X_a = X_0 + \Delta X;$$

$$Y_a = Y_0 + \Delta Y.$$

### 1.2. Определение по карте ориентирных углов

**Определение дирекционного угла.** Дирекционный угол  $\alpha$  - это угол, отсчитываемый от северного конца осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до заданного направления. На картах вертикальные линии километровой сетки параллельны осевому меридиану. Поэтому дирекционный угол измеряют транспортом от северного положения координатной сетки по ходу часовой стрелки до заданного направления. На рисунке 1.1. показан дирекционный угол линии CD.

**Определение истинного азимута.** Истинный азимут  $A_n$  отличается от дирекционного угла  $\alpha$  на величину  $\lambda$  - сближения меридианов, т.е. на величину угла между меридианом и линией километровой сетки. Дирекционный угол и истинный азимут связаны формулой:

$$A_n = \alpha + \lambda, \tag{1.1}$$

где  $\alpha$  - дирекционный угол;  $\lambda$  - сближения меридианов.

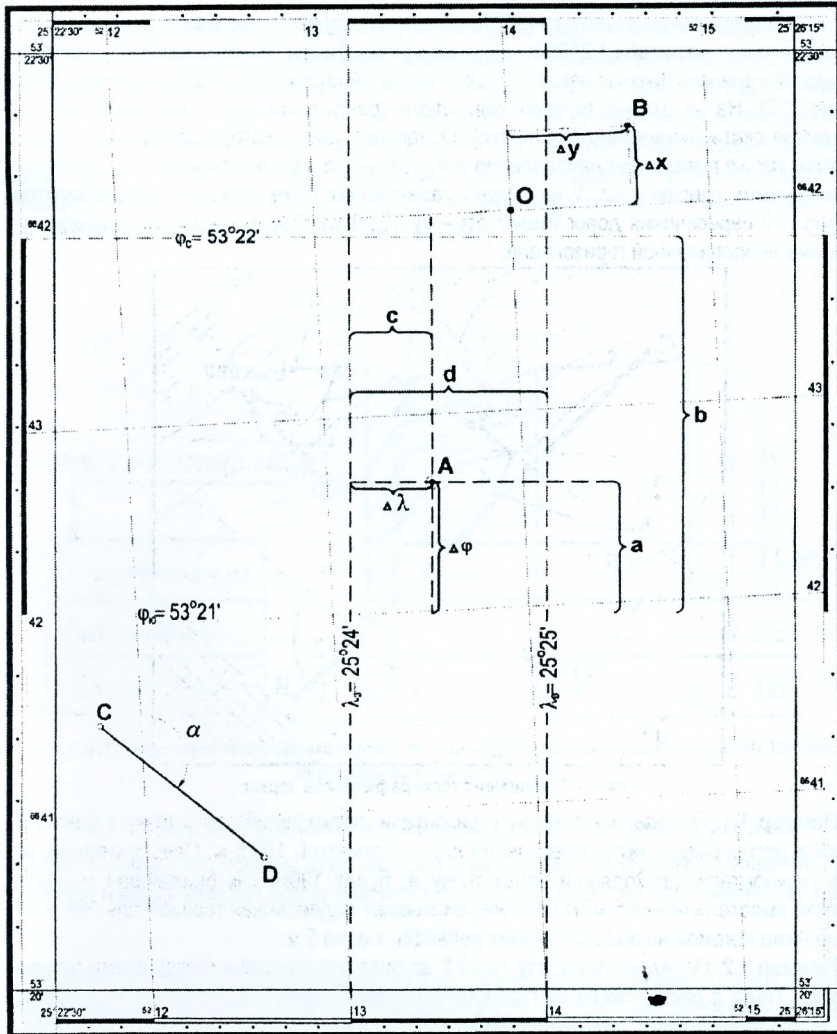


Рис. 1.1. Определение координат и дирекционных углов

Определение магнитного азимута. Магнитная стрелка (компаса или буссоли) отклоняется от истинного меридиана на величину  $\delta$  - склонения магнитной стрелки. Значения склонения магнитной стрелки и сближения меридианов указывают на схеме под юго-западной рамкой карты.

Магнитный азимут вычисляется по формуле:

$$A_m = A_w + \delta . \quad (1.2)$$

### 1.3. Решение задач по горизонталям карт

**1.3.1. Определение высот точек.** Для решения задач на рисунке 1.2. представлен фрагмент карты масштаба 1:25000 с сечением рельефа 5 м. Высоты горизонталей кратны высоте сечения. Высоты некоторых горизонталей подписывают в их разрыве (185 м на рис. 1.2). На некоторых горизонталях ставят бергштрихи, которые показывают направление ската (понижение местности). Основание цифр, которыми подписаны горизонтали, так же показывает направления ската рельефа. Местность всегда понижается к рекам, ручьям, озерам и т.д. У некоторых характерных точек на карте указаны высоты. (на рис. 1.2 пересечения дорог имеют отметку 193.6 м). Все это позволяет определить значение неподписанной горизонтали.

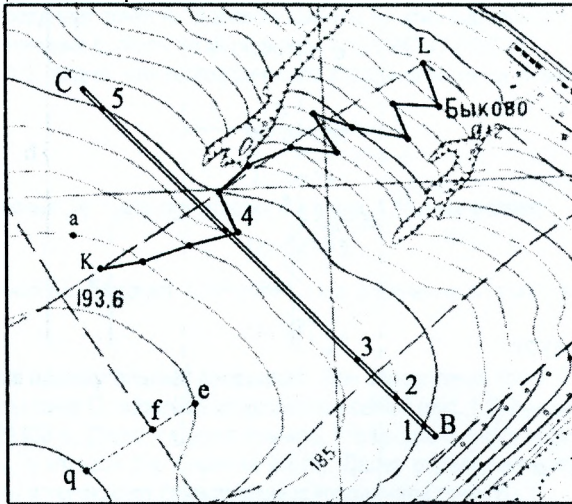


Рис. 1.2 Фрагмент топографической карты

**Пример 1.1.** Определить отметку горизонтали, проходящей через точку *a* (рис. 1.2). Точка *a* расположена ниже пересечения дорог с отметкой 193.6 м. Следовательно, высота горизонтали, проходящей через точку *a*, будет 190 м, как ближайшая меньшая, кратная высоте сечения 5 м. На это же показывает подписанная горизонталь 185 м, которая ниже искомой на высоту сечения рельефа, т.е. на 5 м.

**Пример 1.2.** Определить высоту точки *f*, которая расположена между двумя горизонталями. Точка *e* расположена на горизонтали с отметкой 195 м, а точка *q* – с отметкой 200 м, следовательно, для определения высоты точки *f* необходимо определять превышение  $\Delta h$  точки *f* над точкой *e*. Для этого проводят линию ската *qe* и измеряют ее длину  $e q = d$  и расстояние  $a = e f$ . Превышение  $\Delta h$  определяют по формуле:

$$\Delta h = \frac{a}{d} \cdot h,$$

где *h* высота сечения рельефа. Таким образом, высота точки *f* вычисляется по формуле  $H = H_e + \Delta h$ .

### 1.3.2. Построение профиля местности

Для построения профиля по линии СВ, заданной на топографической карте (рис. 1.2), на листе бумаги, лучше миллиметровой, откладывают значения расстояний линии СВ в горизонтальном масштабе и наносят на нее точку ее пересечения с горизонталями, а также точку перелома местности ( точка 3). В графу «Расстояния» выписывают расстояния между соседними точками, а в графу «Отметки»- высоты точек, определенные на карте. В вертикальном масштабе для каждой точки откладывают от условного горизонта отрезки, равные их высотам, уменьшенные на некоторую величину. Концы вертикальных отрезков соединяют ломаной линией профиля.

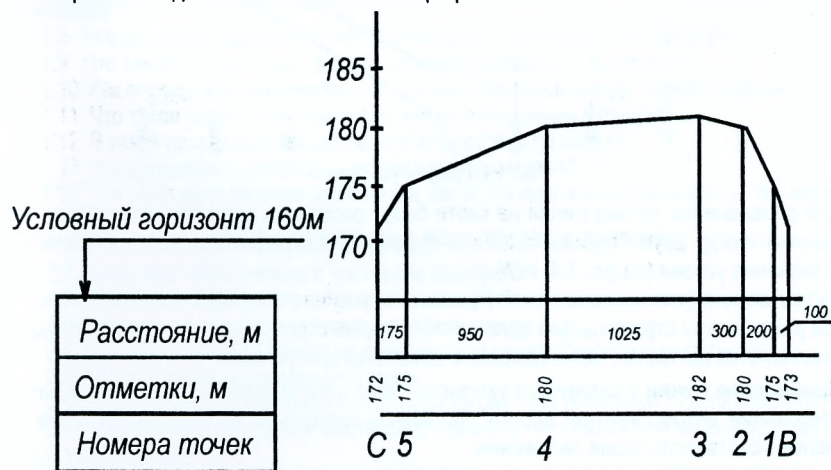


Рис. 1.3. Продольный профиль местности по линии СВ (горизонтальный масштаб 1:25000, вертикальный масштаб 1:500)

### 1.3.3. Определение уклонов и проведение линий с заданным уклоном

Уклон линии  $i$  - это тангенс угла наклона линии к горизонту или отношение превышения  $h$  конца отрезка над его началом к горизонтальному проложению  $d$ , т.е.

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}, \quad (1.3)$$

где  $v$  - угол наклона линии к горизонту;  $h$  - превышение между концами отрезка;  $d$  - горизонтальное проложение отрезка. Уклоны выражают в натуральных значениях тангенса угла наклона, процентах (%) или в промилях (‰). Для определения уклона отрезка  $eq$  (рис. 1.2) измеряют его длину на карте (27мм) и определяют горизонтальное проложение в масштабе карты 1:2500.  $d = 27\text{мм} \cdot 25000 = 675\text{м}$ . Превышение между точками равно высоте сечения рельефа, т.е.  $h = 5\text{м}$ , следовательно, уклон линии на данном участке будет  $i = \frac{5}{675} = 0,0075 = 0,75\% = 7,5\text{‰}$ .

Для многократного определения уклонов строят номограмный график уклонов (рис 1.4). Строят график для данного масштаба карты и принятой на ней высоты сечения  $h$ . На горизонтальной оси откладывают деления и подписывают значения уклонов в промилях.



Для каждого уклона  $i$  вычисляют заложение  $d$  в масштабе карты  $d = \frac{h}{i}$ . Так, для уклона  $i=5\%$  и  $h=5\text{м}$  получим  $d = \frac{5}{0.005} = 1000\text{м}$ , учитывая масштаб 1:25000, находим заложение в масштабе карты  $d=4\text{см}$ . Вычисленные заложения откладывают на перпендикулярах к горизонтальной оси. Полученные точки соединяют плавной кривой линией.

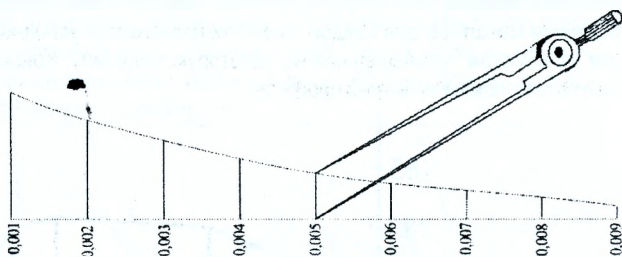


Рис. 1.4. График уклонов

Для определения уклона линии на карте берут раствором циркуля этот отрезок, заключенный между двумя горизонталями, и переносят на график уклонов, где отсчитывают значение уклона (на рис.1.4.  $i=5\%$ ).

Для определения угла наклона линий (крутизны ската) на топографических картах ниже южной рамки карты строят график заложений, который строят аналогично графику уклонов, пользуются им так же, как и графиком заложений для уклонов.

**Проведение линии с заданным уклоном.** Такая задача возникает при камеральном трассировании автомобильной дороги. Задаваясь предельно допустимым уклоном  $i_3$ , вычисляют соответствующее заложение.

$$d_3 = \frac{h}{i_3}, \quad (1.4)$$

где  $h$ -высота сечения рельефа карты. Построить линию с уклоном, не превышающим  $i_3$ , означает построить линию, по которой все заложения, т.е. расстояния между горизонталями, должны быть не меньше  $d_3$ .

**Пример 1.3.** Построить линию с заданным уклоном  $i=25\%$  между точками К и L, расположенными на полевой дороге (рис. 1.2), учитывая, что  $h=5\text{ м}$ , найдем заложение  $d_3 = \frac{5}{0.025} = 200\text{м}$  или в масштабе 1:25000  $d_3=8\text{мм}$ . Берем раствором циркуля 8мм и про-

веряем вдоль линии KL, если бы они оказались больше расчетного или равные ему, то прямая KL была бы искомой линией. В нашем примере многие заложения меньше расчетного. Поэтому с помощи циркуля строим ломаную линию, уместая между горизонталями расчетное значение заложения. В случае, когда расстояния между горизонталями меньше расчетного, соседнюю горизонталь засекаем раствором циркуля с раствором 8мм. Общее направление должно приблизительно совпадать с заданным.

# Самоконтроль знаний

## 1. Вопросы к зачёту

- 1.1 Что такое масштаб?
- 1.2 Как пользоваться поперечным масштабом?
- 1.3 Что называют точностью масштаба?
- 1.4 Что называют горизонтальным проложением?
- 1.5 Что такое координаты точки? Какие координаты определяются в геодезии?
- 1.6 Как определить географические и плоские прямоугольные координаты точки, нанесённой на карте?
- 1.7 Что такое азимут и дирекционный угол, и как их определить для заданной линии на карте?
- 1.8 Что называют высотой точки? Какие высоты различают в геодезии?
- 1.9 Что такое горизонтали, высота сечения рельефа и заложение?
- 1.10 Как определить отметку (высоту) точки, лежащей между горизонталями?
- 1.11 Что такое уклон? Как провести линию с заданным уклоном?
- 1.12 В какой последовательности строят профиль по карте?
- 1.13 Как определить площадь с помощью планиметра?
- 1.14 Что такое цена деления планиметра, как её определить и от чего зависит её величина?

## 2. Вопросы для подготовки к экзамену

- 2.1 Геодезия, её значение в народном хозяйстве.
- 2.2 Основные понятия о форме и размерах Земли.
- 2.3 Горизонтальные проложения линий местности.
- 2.4 Влияние кривизны Земли на горизонтальные расстояния и высоты точек.
- 2.5 Географические координаты точек.
- 2.6 Прямоугольные координаты. Зональная система координат Гаусса-Крюгера.
- 2.7 Ориентирование линий местности. Азимуты: истинный и магнитный. Дирекционный угол и румб.
- 2.8 Прямая и обратная геодезические задачи.
- 2.9 Абсолютные и относительные высоты точек. Изображение рельефа на топографических картах и планах.
- 2.10 Понятие о плановых государственных сетях.
- 2.11 Проложение теодолитных ходов. Теодолитная съёмка.
- 2.12 Уравнивание углов точек теодолитного хода.
- 2.13 Вычисление углов и румбов сторон теодолитного хода.
- 2.14 Вычисление и уравнивание приращений координат.
- 2.15 Общие понятия о геодезических измерениях. Погрешности измерений.
- 2.16 Свойства случайных погрешностей. Арифметическое среднее.
- 2.17 Средняя квадратическая погрешность отдельного измерения. Предельная погрешность.
- 2.18 Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин. Привести пример.
- 2.19 Средняя квадратическая погрешность функций вида  $y=kx$ ,  $y=x+z$ ,  $y=k_1x_1+k_2x_2+k_3x_3+\dots$   
Привести примеры.
- 2.20 Понятие о неравноточных измерениях. Весовое среднее.
- 2.21 Средняя квадратическая погрешность простого арифметического среднего.
- 2.22 Зрительные трубы геодезических инструментов.
- 2.23 Уровни геодезических инструментов.
- 2.24 Измерение расстояний мерной лентой. Поправки за наклон линий, температуру и компарирование.

2.25 Определение неприступных расстояний. Принцип измерения расстояний светодальномером.

2.26 Теория нитяного дальномера. Приведение наклонных расстояний, измеренных нитяным дальномером к горизонту.

2.27 Общие сведения о нивелировании. Высотные государственные сети. Нивелирные знаки.

2.28 Сущность геометрического нивелирования. Приборы и принадлежности для геометрического нивелирования.

2.29 Рассказать устройство нивелира Н-3 и перечислить его поверки.

2.30 Рассказать устройство нивелиров Н-3К и Н-3КЛ и перечислить их поверки.

2.31 Программа работы на станции при техническом нивелировании. Основные источники погрешностей.

2.32 Поверка главного условия нивелира Н-3.

2.33 Поверка главного условия нивелира Н-3К (Н-3КЛ).

2.34 Общие сведения о трассе автомобильной дороги. Элементы трассы.

2.35 Разбивка пикетажа и поперечников. Учёт домера.

2.36 Параметры и элементы круговой кривой.

2.37 Обработка результатов технического нивелирования. Уравнивание нивелирного хода.

2.38 Порядок построения продольного профиля трассы. Проектирование красной линии.

2.39 Вычисление проектных отметок и отметок точек нулевых работ. Вычисление расстояний от точек нулевых работ до ближайших пикетов.

2.40 Принцип измерения горизонтального угла. Типы теодолитов. Приспособления для центрирования.

2.41 Устройство теодолита Т30, 2Т30. Перечислить поверки теодолита.

2.42 Поверка уровня при горизонтальном круге теодолита. Поверка сетки нитей.

2.43 Коллимационная погрешность, её определение и исправление.

2.44 Устройство вертикального круга теодолита Т30. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление.

2.45 Устройство вертикального круга теодолита 2Т30. Место нуля вертикального круга, его определение и исправление.

2.46 Измерение горизонтального угла способом приёмов и круговых приёмов.

2.47 Основные источники погрешностей при измерении горизонтальных углов.

2.48 Сущность гидростатического и тригонометрического нивелирования.

2.49 Сущность тахеометрической съёмки. Порядок выполнения работы на станции при тахеометрической съёмке.

2.50 Способы переноса проекта на местность. Подготовка геодезических данных для выноса.

2.51 Полярный способ и способ угловой засечки выноса проекта в натуру.

2.52 Вынос в натуру проектного горизонтального угла с точностью теодолита и с повышенной точностью.

2.53 Определение теодолитом магнитного азимута при помощи ориентир-буссоли.

2.54 Нивелирование через водные преграды.

2.55 Построение на местности проектного отрезка и прямого угла с помощью рулетки.

2.56 Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой. Контроль выноса.

2.57 Вынос проектной линии с заданным уклоном при помощи теодолита.

2.58 Построение плоскости заданного уклона.

2.59 Передача отметок на дно котлована и на монтажные горизонты.

2.60 Определение высоты сооружения.

2.61 Разбивка и закрепление осей при строительстве фундаментов сооружения. Строительная обноска, устройство, назначение.

2.62 Геодезические наблюдения за смещениями и деформациями инженерных сооружений.

2.63 Исполнительные съёмки, выполняемые в процессе строительства.

2.64 Мензурная съёмка.

2.65 Поверки мензулы и кипрегеля.

2.66 Состав и организация геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации гидромелиоративных сооружений. Особенности изысканий в гидромелиорации.

2.67 Состав геодезических работ при съёмке водоёмов, промерах глубин водотоков.

2.68 Геодезические разбивочные работы при строительстве русла канала, насыпи дамбы.

*(Вопросы 2.64-2.68 отсутствуют в экзаменационных билетах по дисциплине «Инженерная геодезия» для студентов специальности 1-74 05 01 «Промышленное и гражданское строительство»)*

### 3. Типовые задачи в экзаменационных билетах

#### Задача 1

Определить длину линии на плане масштаба 1:1000, если её длина на местности составляет 624,9 м.

#### Задача 2

Отсчеты по горизонтальному кругу

КП=8°24'; КЛ=188°27'

Определить коллимационную погрешность и вычислить правильный отсчёт для исправления.

#### Задача 3

Вычислить координаты точки В, если известны координаты точки А, дирекционный угол линии А-В и расстояние между точками А-В.

$X_A=424,03$ ;  $Y_A=627,98$ ;  $d_{A-B}=312,47$ м;  $\alpha_{A-B}=313^\circ59'$

#### Задача 4

Имеется точка А с отметкой  $H_A=86,035$ , требуется вынести точку В с проектной отметкой  $H_{пр}=85,963$  м. Определить отсчёт по рейке, установленной в точке В, если отсчёт по рейке в точке А равен 1217 мм.

#### Задача 5

Дан дирекционный угол предыдущей линии  $\alpha_{1-2}=99^\circ17'$  и правый по ходу угол между предыдущей и последующей линиями  $\beta_2=48^\circ24'$ . Вычислить дирекционный угол последующей линии  $\alpha_{2-3}$ .

#### Задача 6

Дан румб линии  $r=C3:24^\circ13'$ .

Определить дирекционный угол этой линии и обратный дирекционный угол.

#### Задача 7

Вершина угла имеет пикетаж ПК3+97,03, тангенс  $T=46,63$ м, кривая  $K=87,27$ м, домер  $D=6,00$ м.

Определить пикетаж главных точек кривой.

#### Задача 8

Определить отметку пикета, если известна отметка станции  $H_{ст}=124,365$ м, высота инструмента  $i=1,47$ м, высота наведения  $V=2,13$ м, вычисленное превышение по измеренному вертикальному углу  $h'=-0,87$ м.



### Задача 9

Известны дирекционные углы последующей линии  $\alpha_{2-3}=345^{\circ}54'$  и предыдущей линии  $\alpha_{1-2}=188^{\circ}50'$ . Определить правый горизонтальный угол между линиями.

### Задача 10

Результат измерения линии стальной лентой в прямом и обратном направлении равен  $D_p=312,04\text{м}$  и  $D_o=312,17\text{м}$ .

Определить окончательное значение длины линии, абсолютную и относительную погрешности.

### Задача 11

Определить абсолютную и относительную невязки теодолитного хода, если известны по осям координат  $f_x=0,18\text{м}$ ,  $f_y=0,24\text{м}$ . Длина хода  $P=791,03\text{м}$ .

### Задача 12

Определить уклон линии АВ, если даны отметки пикетов:

начального	ПК3+62,17	$H_A=213,065$
конечного	ПК6+0,99	$H_B=209,697$

### Задача 13

Координаты начала и конца линии АВ известны:

$X_A=165,03\text{м}$	$Y_A=312,04\text{м}$
$X_B=308,75\text{м}$	$Y_B=209,36\text{м}$

Определить румб линии АВ.

### Задача 14

Определить величину угловой невязки  $f_{\beta}$ , её знак и допустимость в полигоне, имеющем 4 вершины, если сумма измеренных внутренних углов  $\sum\beta_n=359^{\circ}57'$ .

### Задача 15

Дирекционный угол линии АВ равен  $\alpha_{A-B}=195^{\circ}04'$ . Определить обратный дирекционный угол линии ВА и её румб.

### Задача 16

Определить место нуля (МО) вертикального круга теодолита 2Т30 и вертикальный угол, если известны отсчёты: КП=  $16^{\circ}04'$ ; КП=  $-16^{\circ}09'$ .

### Задача 17

Дана точка А с отметкой  $H_A=165,034\text{м}$ . Требуется на расстоянии 265,3м определить отметку точки В, если уклон линии АВ равен  $i=-0,0096$ .

### Задача 18

Определить горизонт инструмента, если известна отметка точки А:

$H_A=99,365\text{м}$  и отсчёты по рейке, установленной в точке А, равны 1703мм и 6488мм.

### Задача 19

Координаты начала и конца линии АВ известны:

$X_A=563,04\text{м}$	$X_B=309,03\text{м}$
$Y_A=908,63\text{м}$	$Y_B=160,03\text{м}$

Определить длину линий АВ.

### Задача 20

Известны случайные погрешности при измерении одной и той же величины  $\Delta_1=21\text{мм}$ ;  $\Delta_2=20\text{мм}$ ;  $\Delta_3=19\text{мм}$ ;  $\Delta_4=18\text{мм}$ . Определить среднюю квадратическую погрешность измеренной величины.

### Задача 21

Известны результаты измерения линии АВ:  $l_1=136,18\text{м}$ ;  $l_2=136,20\text{м}$ ;  $l_3=136,25\text{м}$ ;  $l_4=136,23\text{м}$ ;  $l_5=136,24$ . Определить среднюю квадратическую погрешность измерения линии.

### **Задача 22**

Радиус окружности измерен со средней квадратической погрешностью  $m_R = \pm 2$  мм. Определить среднюю квадратическую погрешность вычисления длины окружности.

### **Задача 23**

По карте масштаба 1:10000 с сечением рельефа 2,5 м определить отметку точки, расположенной между двумя горизонталями.

### **Задача 24**

На карте масштаба 1:10000 определить уклон отрезка, расположенного между двумя горизонталями.

### **Задача 25**

Определить МО вертикально круга и вертикальный угол теодолита Т30, если отсчёт при «круге право» и «круге лево» известны:  $KП = 4^\circ 27'$ ;  $KЛ = 175^\circ 37'$ .

### **Задача 26**

При задании направления линии  $AB = 200$  м теодолитом допущена погрешность в угле  $5'$ . Определить величину смещения конечной точки В ( $q = 3439'$ ).

### **Задача 27**

По карте масштаба 1:10000 определить прямоугольные координаты заданной точки.

### **Задача 28**

По карте масштаба 1:10000 определить географические координаты заданной точки.

### **Задача 29**

По карте масштаба 1:10000 определить истинный азимут заданного направления.

### **Задача 30**

По карте масштаба 1:10000 определить магнитный азимут заданного направления.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. - М.: Недра, 1977.
2. Васютинский И.Ю. Гидростатическое нивелирование. - М.: Недра, 1976.
3. Ганьшин В.Н. и др. Справочное руководство по крупномасштабным съёмкам. - М.: Недра, 1977.
4. Руководство по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500, Наземные съёмки. - М.: Недра, 1977.
5. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. - М.: Недра, 1966.
6. Инструкция по нивелированию I, II, III, и IV классов. - М.: Недра, 1974.
7. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. - М.: Недра, 1985.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. - М.: Недра, 1989.
9. В.И. Федоров, П.И. Шилов. Инженерная геодезия. - М.: Недра, 1982.
10. Н.А. Митин. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах. - М.: Недра, 1978.
11. Инженерная геодезия. Под ред. П.С. Закатова. - М.: Недра, 1976.
12. Курс инженерной геодезии. Под ред. В.Е. Новака. - М.: Недра, 1989.
13. Лабораторный практикум по инженерной геодезии. - М.: Недра, 1990.
14. Практикум по инженерной геодезии. Под ред. В.Е. Новака. - М.: Недра, 1987.
15. Геодезические работы в мелиоративном строительстве. - М.: Недра, 1981.

Учебное издание

**Зеленский Алексей Михайлович**  
**Фолитар Георгий Владимирович**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

**(курс лекций)**

2-ое издание дополненное, переработанное

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
учреждения образования «Брестский государственный технический университет»  
в качестве пособия для студентов специальностей  
1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» и  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»  
дневной и заочной форм обучения*

Ответственный за выпуск: **Фолитар Г.В.**

Редактор: **Строкач Т.В.**

Компьютерная верстка: **Боровикова Е.А.**

Корректор: **Никитчик Е.В.**

---

Лицензия № 02330/0133017 от 30.04.2004 г.

Подписано к печати 24.10.2007 г. Бумага «Снегурочка». Усл. п. л. 10,7.

Уч.-изд. л. 11,5. Формат 60x84 1/16. Тираж 150 экз. Заказ № 1135.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Брестский государственный технический университет».

Лицензия № 02330/0148711 от 30.04. 2004 г.

ISBN 978-985-493-070-1 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



9 789854 930701