

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра геологии, геодезии и кадастра

# **ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ**

Методические указания

Составитель  
С.В. Артамонова

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология

Оренбург  
2021

УДК 528.4(076.5)  
ББК 28.12я7  
О75

Рецензент - доктор географических наук, доцент В.П. Петрищев

О75 **Основы геодезии и топографии:** методические указания /  
составитель С.В. Артамонова; Оренбургский гос. ун-т.– Оренбург:  
ОГУ, 2021.–71 с.

Методические указания содержат методические рекомендации для выполнения лабораторных работ и порядок выполнения.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ, предусмотренных по дисциплине «Основы геодезии и топографии» на I курсе по специальности 21.05.02 Прикладная геология.

УДК 528.4(076.5)  
ББК 28.12я7

© Артамонова С.В.,  
составление, 2021  
© ОГУ, 2021

## Содержание

1 Общие положения .....	4
1.1 Методические рекомендации обучающимся при подготовке к лабораторным работам .....	5
2 Лабораторные работы .....	6
2.1 Лабораторная работа № 1. Работа с топографической картой, решение инженерных задач .....	6
2.2 Лабораторная работа № 2. Обработка результатов тахеометрической съемки. Составление топоплана .....	31
2.3 Лабораторная № 3. Изучение теодолита 2Т30, поверки. Изучение нивелира Н-3, поверки.....	41
2.4 Лабораторная № 4. Измерение горизонтальных и вертикальных углов с помощью теодолита, оформление результатов.....	59
2.5 Лабораторная № 5. Определение высот точек, оформление результатов ...	62
2.6 Лабораторная № 6. Оценка результатов геодезических измерений .....	67
3 Литература, рекомендуемая для выполнения лабораторных работ .....	70

# 1 Общие положения

## Цели освоения дисциплины:

- приобретение теоретических знаний и практических навыков о производстве геодезических измерений;
- ознакомление с современными технологиями, используемыми в геодезии, методами измерений и вычислений, создания исходной геодезической основы для производства топографических съемок.

## Задачи:

- изучение состава и организации геодезических работ при производстве инженерно-геодезических изысканий;
- изучение основ теории погрешностей геодезических измерений;
- изучение топографических карт и планов, их использование при геологических работах.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-9 Способен ориентироваться на местности, определять пространственное положение объектов, осуществлять необходимые геодезические и маркшейдерские измерения, обрабатывать и интерпретировать их результаты.

Распределение занятий по часам для очной формы обучения представлено в рабочей программе дисциплины (РПД). РПД является составной частью учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД).

На изучение дисциплины студентам отводится:

- на контактную работу – 48,25 часов, в т.ч.:
  - лекции – 16 часов;
  - лабораторные работы – 30 часов;
  - промежуточная аттестация (зачет) – 0,25 часа;
- на самостоятельную работу – 60,75 часа.

Самостоятельная работа является важнейшим этапом курса. В объем самостоятельной работы по дисциплине включается следующее:

- изучение теоретических вопросов по всем темам дисциплины;
- выполнение творческого задания;
- подготовка к текущему контролю успеваемости студентов в контрольной точке (текущая аттестация);
- подготовка к экзамену (промежуточная аттестация).

### **1.1 Методические рекомендации обучающимся при подготовке к лабораторным работам**

Лабораторные занятия как вид учебной деятельности проводятся в специально оборудованной лаборатории.

Необходимые структурные элементы лабораторного занятия:

- инструктаж, проводимый преподавателем;
- самостоятельная деятельность учащихся;
- обсуждение итогов выполнения лабораторной работы (задания).

Перед выполнением лабораторного задания (работы) проводится проверка знаний учащихся – их теоретической готовности к выполнению задания.

При проведении лабораторных работ учащиеся пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировок), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

По каждому лабораторному заданию (работе) преподавателем учебной дисциплины разрабатываются методические указания.

Методические указания содержат:

- тему занятия;
- цель занятия;

- используемое оборудование, аппаратуру, материалы и их характеристики;

- основные теоретические положения;

- порядок выполнения лабораторной работы;

- контрольные вопросы;

- учебную и специальную литературу.

Результаты выполнения лабораторной работы оформляются учащими в виде отчета, форма и содержание которого определяются соответствующими методическими указаниями.

## 2 Лабораторные работы

### 2.1 Лабораторная работа №1–Работа с топографической картой, решение инженерных задач

Цель: Научится работать с топографической картой и научиться решать геодезические задачи на картах и планах.

2.2.1 Масштаб плана. Численный, линейный и поперечный масштабы.  
Точность масштаба

Отношение длины отрезка линии на плане к горизонтальной проекции соответствующего отрезка линии на местности называется масштабом плана.

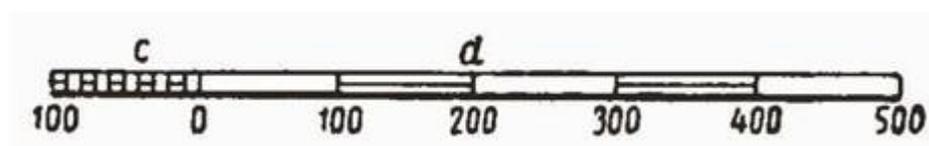


Рисунок 1 – Линейный масштаб



Более мелкие деления можно получить, построив поперечный масштаб. Примем за основание поперечного масштаба отрезок АВ, равный 2см (рисунок 2), и разделим его на 10 равных частей. Это можно сделать так: под произвольным к основанию углом проведем прямую АF, на ней от точки А отложим 10 произвольных, но равных частей.

Соединив потом точки В и F, проведем через все точки деления линии, параллельные ВF. Эти линии и разделят основание АВ на 10 равных частей. На линии АС, перпендикулярной к основанию, отложим 10 произвольных, но равных между собой отрезков и через точки деления проведем линии, параллельные АВ, как показано на рисунке 2. Отрезки между наклонными линиями, параллельными линии ВЕ, равны десятым долям основания АВ, т.е.  $ED = AB/10$ , а отрезки, заключенные между перпендикуляром ВD и наклонной ВЕ, равны сотым долям основания. Очевидно, наименьший из этих отрезков  $t$  будет в 10 раз меньше EB, т.е.

$$t = \frac{ED}{10} = \frac{AB}{10 \cdot 10} = \frac{AB}{100}.$$

Описываемый масштаб называется нормальным поперечным масштабом.

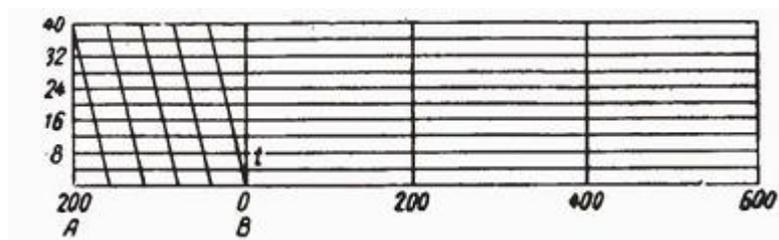


Рисунок 3 – Поперечный масштаб

Если основание АВ разделить на 5 частей (рисунок 3), а на перпендикуляре отложить 10 равных между собой частей, то наименьшее деление  $t$  будет равно

$$t = \frac{AB}{5 \cdot 10} = \frac{AB}{50}.$$

Вообще, если основание поперечного масштаба разделить на  $n$  частей, а на линии, перпендикулярной к основанию, отложить  $m$  произвольных, но равных между собой отрезков, то наименьшее деление  $t$  такого поперечного масштаба будет равно  $t = \frac{AB}{nm}$ .

Цифры, подписанные внизу масштабов, показанных на рис. 2 и 3, соответствуют численному масштабу 1:10000.

Так как в обоих масштабах основание АВ соответствует на местности 200м, то в первом случае наименьшее деление поперечного масштаба

$$t = \frac{200m}{10 \cdot 10} = 2m$$

на местности, а во втором

$$t = \frac{200m}{5 \cdot 10} = 4m.$$

Отрезки  $ab$  и  $kl$  (рисунок 2) применительно к масштабу 1:10000 соответствуют на местности 468м и 356м.

Если поперечный масштаб для данного численного неудобен, то строят поперечный масштаб с другим основанием. Например, для численного масштаба 1:2000 основание в 2см соответствовало бы  $2 \times 2000$  см = 40м на местности. Но удобнее за основание взять 2,5см, что будет соответствовать на местности  $2,5 \times 2000$  см = 50 м.

Принято считать 0,1мм наименьшим расстоянием, различаемым непосредственно глазом. Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1мм на плане, называют точностью масштаба. Так, для масштабов 1:500, 1:1000, 1:5000, 1:10000, 1:25000 точность

соответственно равна: 0,05 м, 0,1 м, 0,5 м, 1,0 м, 2,5 м. Это значит, что отрезки, меньшие указанных, уже не будут изображаться на плане данного масштаба. Задаваясь наименьшими длинами линий местности, которые должны быть изображены на плане, можно установить необходимый масштаб плана. Так, например, если наименьший отрезок на местности, который должен изобразиться на плане, равен 0,2 м, то, очевидно, план должен быть составлен в масштабе не мельче 1:2000. В самом деле, по условию 0,01 см на плане должно соответствовать 0,2 м на местности или 1 см плана – 2000 см на местности, а это значит, что численный масштаб плана должен быть 1:2000.

### 2.1.2 Номенклатура карт и планов

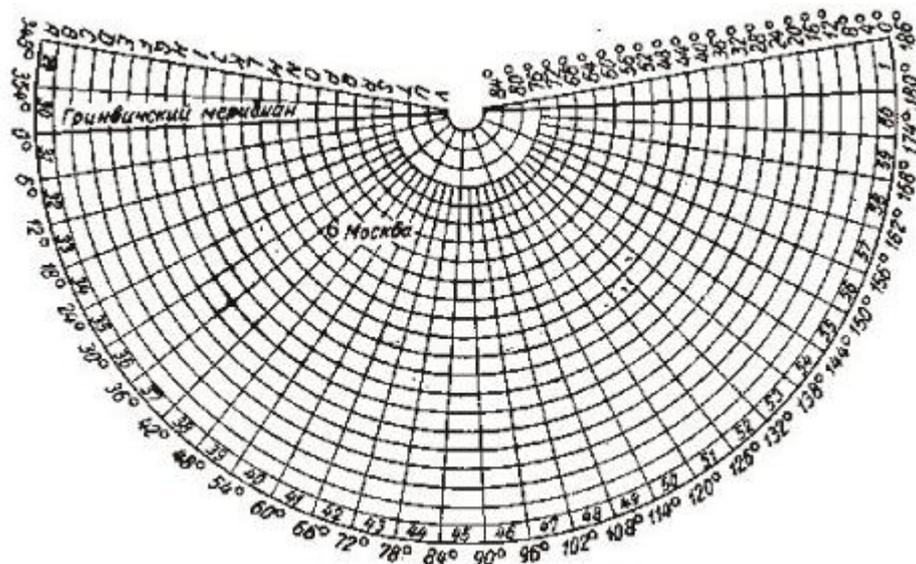


Рисунок 4– Система обозначения листов карты М 1: 1000000

Для удобства пользования многолистной картой каждый ее лист получает определенное обозначение, причем расположение отдельных листов указывается в особой таблице, называемой *сборной*. Система обозначения отдельных листов карты называется *номенклатурой* карты.

В основу номенклатуры карт различных масштабов в России положена государственная карта масштаба 1:1000000. Деление на листы этой карты выполняется следующим образом. Вся земная поверхность делится меридианами, проводимыми через 6°, на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами; счет колонн ведется с запада на восток от меридиана с долготой 180° (рисунок 4). Колонны в свою очередь разделяются на ряды параллелями, проводимыми через 4°. Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, счет рядов ведется от экватора к северному и южному полюсам. Проведенные таким образом меридианы и параллели служат рамками отдельных листов карты.

Номенклатура листа складывается из указания ряда и колонны, в которых расположен данный лист; например, N-37 – номенклатура листа, на котором находится Москва.

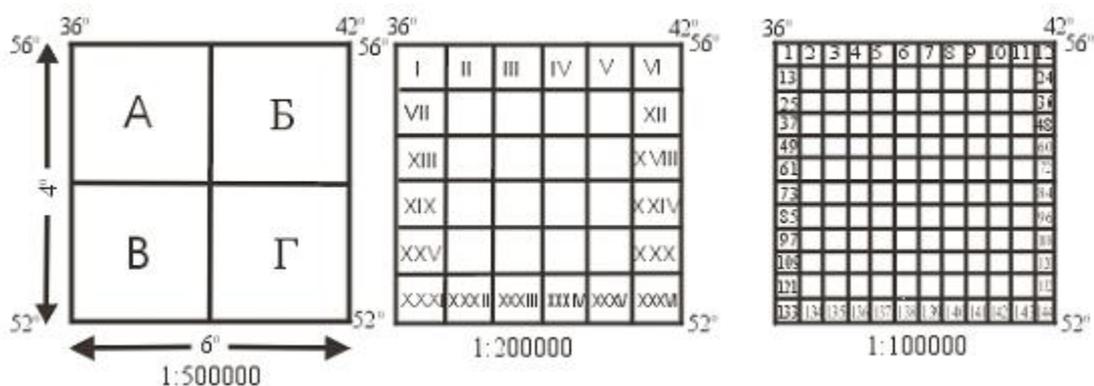


Рисунок 5 – Номенклатура листов карт среднего масштаба

Одному листу карты масштаба 1:1000000 соответствуют: 4 листа карты масштаба 1:500000, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, присоединяемыми к номенклатуре миллионного листа; 9 листов карты масштаба 1:300000, обозначаемые римскими цифрами I-IX, помещаемыми впереди номенклатуры миллионного листа; 36 листов карты масштаба 1:200 000, обозначаемые римскими цифрами I-XXXVI, присоединяемыми справа к номенклатуре миллионного листа; 144 листа карты масштаба 1:100000, обозначаемые арабскими цифрами 1-144, следующими за номенклатурой

миллионного листа (рисунок 5). Данные этой разграфки для листа карты N-37 масштаба 1:1 000000 приведены в таблице 1.

Таблица 1—Данные для разграфки

Масштаб карты	Число листов в одном листе карты масштаба 1:1000000	Номенклатура последнего листа	Размер рамки	
			по широте	по долготе
1:500000	4	N-37-Г	2°	3°
1:300000	9	IX-N-37	1° 20'	2°
1:200000	36	N-37-XXXVI	40'	1°
1:100000	144	N-37-144	20'	30'

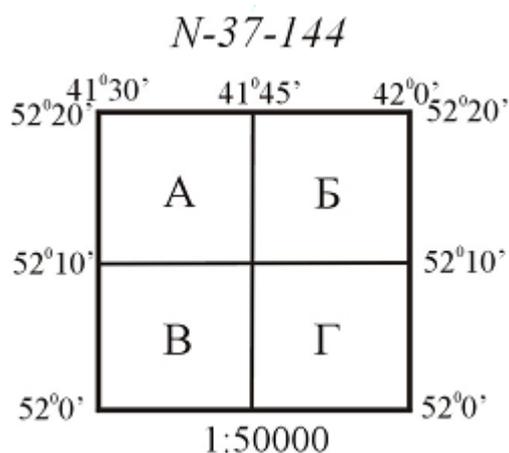


Рисунок 6 –Номенклатура листа карты М 1:50000

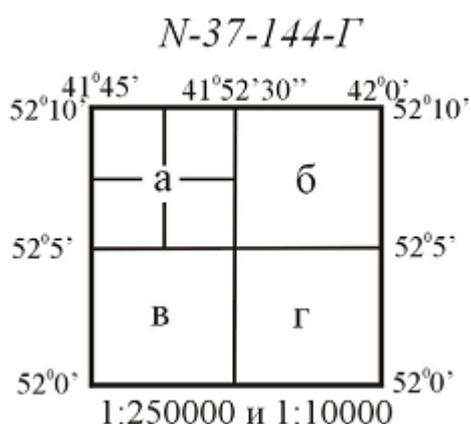


Рисунок 7 –Номенклатура листов карт М 1:25000 и М 1:10000

Лист карты масштаба 1:100000 служит основой для разграфки и номенклатуры листов карт более крупных масштабов. Одному листу карты масштаба 1:100000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:50000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г,

присоединяемыми к номенклатуре стотысячного листа. Каждый такой лист (рисунок 6) имеет рамку размером 10' по широте и 15–подолготе. Номенклатура последнего листа, соответствующего листу карты N-37-144 масштаба 1:100000, будет N-37-144-1'. Одному листу масштаба 1:50 000 соответствуют 4 листа масштаба 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, присоединяемыми к номенклатуре пятидесятитысячного листа (рисунок 7); одному листу масштаба 1:25000 соответствуют 4 листа масштаба 1:10000, обозначаемые арабскими цифрами 1-4, следующими за номенклатурой двадцатипятитысячного листа.

Данные для разграфки листа карты масштаба 1:100000 на листы карт более крупных масштабов представлены в таблице 2.

Таблица 2—Данные для разграфки листа карты масштаба 1:100000

Масштаб карты	Число листов в одном листе предыдущего масштаба	Номенклатура последнего листа	Размер рамки	
			по широте	по долготе
1:100000	-	N-37-144	20'	30'
1:50000	4	N-37-144-Г	10	15
1:25000	4	N-37-144-Г-г	5	7,5
1:10000	4	N-37-144-Г-г-4	2,5	3,75

Лист карты масштаба 1:100000 служит также основой для разграфки и номенклатуры листов планов масштабов 1:5000 и 1:2000.

Одному листу карты масштаба 1:100000 соответствуют 256 (16 x 16) листов плана масштаба 1:5000, которые обозначаются цифрами 1, 2, ..., 256, заключаемыми в скобки. Каждый такой лист имеет рамку размером  $20'/16 = 1'15''$  по широте и  $30'/16 = 1'52'',5$  по долготе. Номенклатура последнего листа плана масштаба 1:5000, соответствующего листу карты N-37-144 масштаба 1:100000, будет N-37-144-(256).

Одному листу плана масштаба 1:5000 соответствуют девять листов плана масштаба 1:2000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, д, е, ж, з, и, заключаемыми в скобки. Каждый такой лист имеет рамку

размером  $1'15''/3 = 25''$  по широте  $1'52'',5/3 = 37'',5$  по долготе. Номенклатура последнего листа плана масштаба 1:2000, соответствующего листу N-37-144-(256), будет N-37-144-(256-и). Приведенные данные представлены в таблице 2.

### 2.1.3 Ориентирование

Ориентировать линию – значит определить ее направление относительно меридиана.

Вообразим в данной точке земной поверхности отвесную линию; плоскость, проходящая через эту отвесную линию и ось вращения Земли, называется плоскостью географического или истинного меридиана в данной точке.

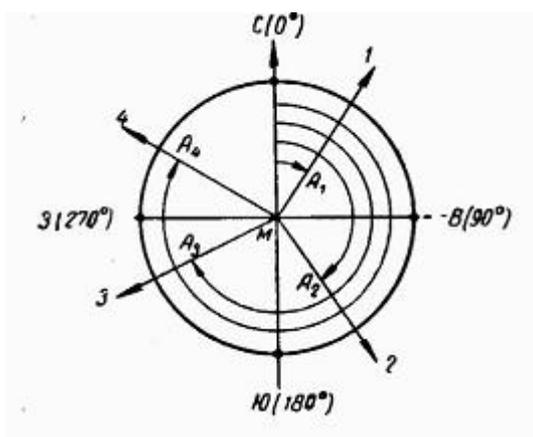


Рисунок 8– Углы ориентирования

Направление истинного меридиана определяется на данной точке при помощи астрономических наблюдений, а направление магнитного меридиана - при помощи магнитной стрелки, которая устанавливается под действием земного магнетизма в направлении магнитного меридиана. Конец стрелки, обращенный северному полюсу Земли, называют северным, а другой конец - южным. Магнитный меридиан в данной точке земной поверхности, как правило, не совпадает с истинным: угол между ними называется склонением магнитной стрелки. Склонение называют восточным или западным, смотря по

тому, отклоняется ли северный конец магнитной стрелки к востоку или к западу от географического меридиана.

Для ориентирования линий служат углы ориентирования, называемые азимутами, дирекционными углами и румбами.

Азимуты. Азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до направления данной линии; азимуты могут иметь значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Азимут называется истинным, если он отсчитывается от истинного меридиана, и магнитным, если он отсчитывается от магнитного меридиана.

Пусть линия  $CЮ$  (рисунок 9) – направление меридиана в точке  $M$  (истинного или магнитного),  $ЗВ$  – направление, перпендикулярное к меридиану. Тогда направление  $МВ$  укажет на восток, а  $МЗ$  – на запад.

Рассмотрим проекции линий местности  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$  на горизонтальную плоскость. Горизонтальные углы  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  представят азимуты этих линий. Если линия  $CЮ$  есть истинный меридиан, то и азимуты этих линий будут истинными азимутами. Если же  $CЮ$  – магнитный меридиан, то эти углы – магнитные азимуты.

Так как меридианы в разных точках Земли не параллельны между собой, то азимут одной и той же линии в разных ее точках различен. Так, для линии  $M_1M_2$  (рисунок 9) азимут в точке  $M_1$  равен  $A_1$ , в точке  $M_2$  –  $A_2$ ; азимут  $A_2$  отличается от азимута  $A_1$  на величину угла  $\gamma$  между меридианами этих точек. Этот угол  $\gamma$  называется сближением меридианов. Его легко представить, если провести мысленно через одну из двух данных точек направление, параллельное меридиану другой точки. На рисунке 20 угол  $\gamma$  представлен как угол между меридианом  $C_2Ю_2$  точки  $M_2$  и направлением  $C'_1 Ю'_1$  параллельную  $C_1Ю_1$ .

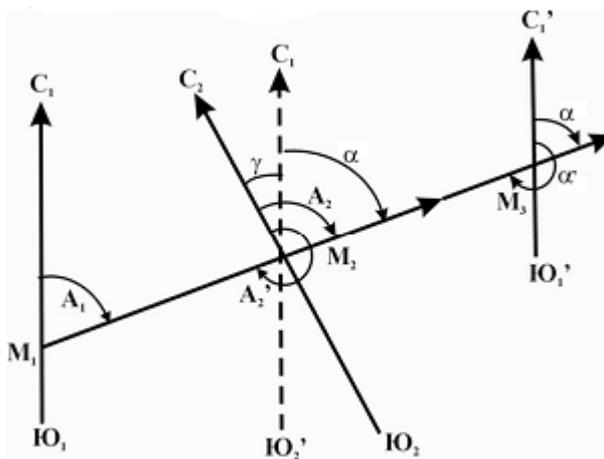


Рисунок 9– Связь между истинным азимутом и дирекционным углом

Как видно из рисунка,

$$A_2 - A_1 = \gamma.$$

Если точки  $M_1$  и  $M_2$  близки, то можно принять  $\gamma=0$ , и тогда  $A_2=A_1$ , а меридианы в соответствующих точках можно рассматривать как параллельные.

Азимут данного направления называется прямым, а противоположного – обратным.

Для линии  $M_1M_2$  (рисунок 9)  $A_1$  и  $A_2$  – прямые азимуты этой линии в разных ее точках,  $A_2$  – обратный азимут той же линии в точке  $M_2$ .

Как видно на рисунок 9,

$$A_2' = A_1 + 180^\circ + \gamma \quad (1)$$

$$A_2' = A_2 + 180^\circ, \quad (2)$$

*т. е. прямой и обратный азимуты одной и той же линии в разных ее точках отличаются между собой на  $180^\circ + \gamma$ ; прямой и обратный азимуты данной линии в одной и той же точке различаются на  $180^\circ$ .*

Дирекционные углы. Дирекционные углы применяются в геодезии для ориентирования линий относительно осевого меридиана, или линии, ему

параллельной. Если на рисунке 9 меридиан  $C_1Ю_1$  в точке  $M_1$  будем рассматривать как осевой в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, линию  $C_2Ю_2$  как истинный меридиан в точке  $M_2$ , а линию  $C'_1 Ю'_1$ , параллельную  $C_1Ю_1$ , как одну из вертикальных линий километровой сетки, то  $A_2$  представит истинный азимут, а  $\alpha$  – дирекционный угол линии  $M_1M_2$  в точке  $M_2$ , т. е. *дирекционный угол отсчитывается от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до направления данной линии в пределах  $0^\circ - 360^\circ$* . Из рисунка видно, что

$$A_2 - \alpha = \gamma, \quad (3)$$

*т. е. разность между истинным азимутом и дирекционным углом какой-нибудь линии в данной на ней точке равна сближению истинного меридиана в этой точке с осевым меридианом зоны.*

Из формулы (3) находим, что

$$A_2 = \alpha + \gamma. \quad (4)$$

На рисунке 9 точка  $M_2$  была взята восточнее осевого меридиана. Если же точка  $M_2$  расположена западнее осевого меридиана  $C_1Ю_1$  (рисунок 9), тогда

$$A_2 = \alpha - \gamma \quad (5)$$

Но обыкновенно сближение меридианов для точек, расположенных к западу от осевого меридиана, выражают числом отрицательным. Тогда формула (3) будет общей для обоих случаев.

В отличие от азимута  $A$  дирекционный угол  $\alpha$  (рисунок 9) одной и той же линии в разных ее точках остается постоянным; в точке  $M_3$  он будет такой же, как и в точке  $M_2$ .

На небольших участках, когда по малости величиной  $\gamma$  можно пренебречь и меридианы в различных точках рассматривать как параллельные между собой, то один из них, с которым совмещают ось абсцисс произвольной системы прямоугольных координат, принимается за осевой меридиан. В таких случаях направления линий определяются дирекционными углами.

Дирекционный угол  $\alpha$  данного направления  $M_1M_2$  называется прямым, а дирекционный угол  $\alpha'$  противоположного направления  $M_3M_1$  называется обратным. Как видно из рисунка 9,

$$\alpha' = \alpha + 180^\circ,$$

т. е. *обратный дирекционный угол равен прямому плюс  $180^\circ$* . Эта формула является общей для всех случаев. Однако практически в тех случаях, когда  $\alpha > 180^\circ$  (как на рисунке 10), следует применять формулу

$$\alpha' = \alpha - 180^\circ$$

Пусть, например,  $\alpha = 300^\circ 30'$ . Тогда  $\alpha' = 300^\circ 30' + 180^\circ = 480^\circ 30'$ , или  $\alpha' = 480^\circ 30' - 360^\circ = 120^\circ 30'$ . По последней формуле тот же ответ получается проще:

$$\alpha' = 300^\circ 30' - 180^\circ = 120^\circ 30'$$

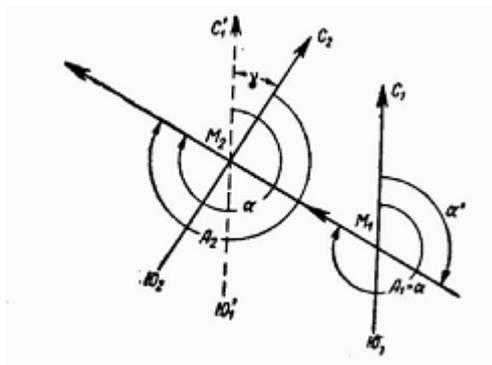


Рисунок 10– Прямой и обратный дирекционные углы

Румбы. Иногда на практике удобнее определять направление линий острыми углами. В этих случаях пользуются румбами. *Румбом, называется*

острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы могут иметь значения только в пределах между  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . На рисунке 11 обозначены румбы четырех линий  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$ , направления которых на рисунке 9 были определены азимутами.

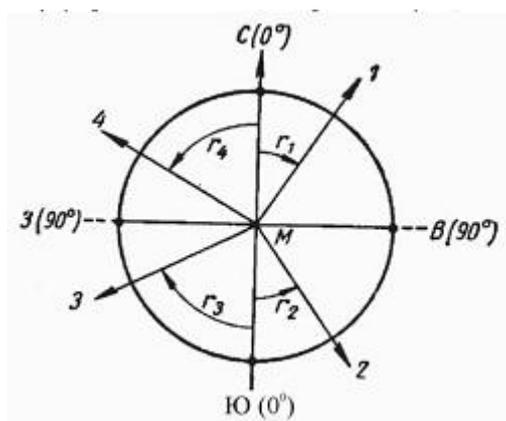


Рисунок 11– Четверти, в которых расположены румбы

Чтобы определить румбом направление данной линии относительно меридиана, необходимо, кроме числового значения румба, указать название той четверти, в которой проходит линия. Так, линии  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$  имеют соответственно румбы СВ :  $r_1$ , ЮВ :  $r_2$ , ЮЗ:  $r_3$ , СЗ :  $r_4$ . В зависимости от того, отсчитываются ли румбы от магнитного или истинного меридиана, их называют магнитными или истинными.

Из сопоставления рисунков 8 и 11 видно, что для линий северо-восточного направления азимут  $A_1$  по величине равен румбу  $r_1$ . Для линий юго-восточного направления азимут и румб в сумме составляют  $180^\circ$ . Если линия проходит в юго-западной четверти, то ее азимут больше румба на  $180^\circ$ , и, наконец, для линий северо-западного направления азимут и румб составляют в сумме  $360^\circ$ . Эти соотношения позволяют переводить азимуты в румбы и обратно. Например, если азимут линии  $A=215^\circ$ , то ее румб равен  $A - 180^\circ = 215^\circ - 180^\circ = 35^\circ$  и имеет название ЮЗ. Если азимут линии  $A=100^\circ$ , то ее румб равен  $180^\circ - A = 180^\circ - 100^\circ = 80^\circ$  и имеет название ЮВ и т. д.

Если на рисунке 8 меридиан  $CЮ$  рассматривать как осевой или как линию, параллельную осевому меридиану данной зоны, то углы  $A_1, A_2, A_3$  и  $A_4$  представят дирекционные углы линий  $M_1, M_2, M_3$  и  $M_4$  и должны быть обозначены соответственно  $a_1, a_2, a_3$  и  $a_4$ . При этом условии на рисунке 11 мы найдем соответствующие им румбы, которые назовем осевыми.

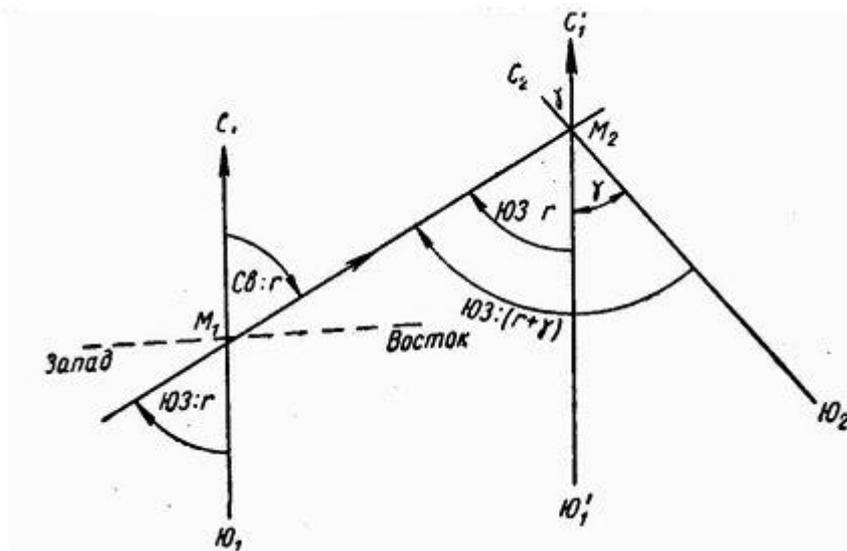


Рисунок 12– Прямой и обратный румбы

Румб в точке  $M_1$  линии  $M_1M_2$  (рисунок 12) данного направления называется *прямым*, а противоположного направления – *обратным*. Прямой и обратный румбы в одной и той же точке данной линии равны, но имеют названия противоположных четвертей. Прямой и обратный румбы одной и той же линии в разных ее точках имеют названия противоположных четвертей и отличаются на величину сближения меридианов в этих точках. Осевые прямой и обратный румбы одной и той же линии в разных ее точках имеют названия противоположных четвертей, но равны по величине. Так, например, румб  $СВ: r$  линии  $M_1M_2$  в точке  $M_1$  есть прямой румб, а обратный в той же точке будет  $ЮЗ: r$ ; обратный румб той же линии в точке  $M_2$  будет тоже  $ЮЗ: r$ ; если он осевой, и  $ЮЗ: (r+\gamma)$  – если он истинный или магнитный.

Связь между магнитными и истинными азимутами

Для перехода от магнитного азимута к истинному надо знать величину и название (восточное или западное) *склонения магнитной стрелки*. Магнитное склонение для данного места можно получить на ближайшей метеорологической станции, по топографической карте или по специальной карте склонений. Если  $A$  (рисунок 13) – истинный азимут линии  $MN$ , а  $A_M$  – ее магнитный азимут, то при восточном склонении  $\sigma_B$  магнитной стрелки, находящейся в положении, например,  $M_1$ ,

$$A = A_M + \sigma_B, \quad (6)$$

а при западном склонении, когда стрелка расположится, например, на линии  $M_2$ ,

$$A = A_M - \sigma_B \quad (7)$$

Если условимся, восточное склонение считать положительным, а западное – отрицательным, то в обоих случаях получим

$$A = A_M + \sigma, \quad (8)$$

*т. е. истинный азимут равен магнитному плюс склонение магнитной стрелки.*

Величина магнитного склонения в разных точках земной поверхности различна и в одном и том же месте земной поверхности не остается постоянной. Различают суточные, годовые и вековые изменения склонения. Суточные изменения склонения в средних широтах России не превышают  $15'$ . Вековые изменения за период около 500 лет достигают  $22^\circ,5$ . Есть места, где магнитной стрелкой вовсе нельзя пользоваться. Это места магнитных

аномалий, в которых наблюдаются значительные местные изменения склонения.

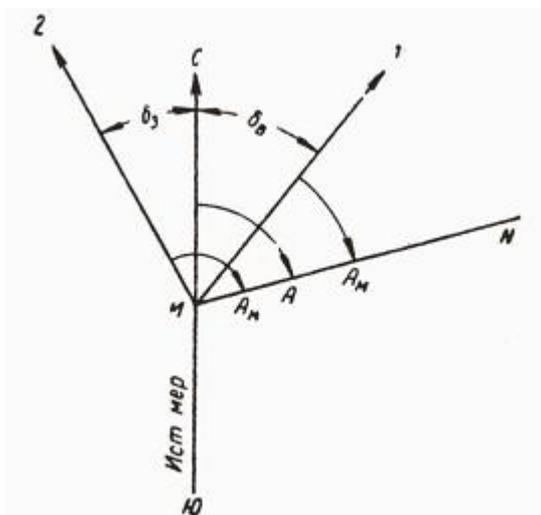


Рисунок 13—Связь между  $A_{ист}$  и  $A_{маг}$

Свободно подвешенная за центр тяжести магнитная стрелка не висит горизонтально, а уклоняется одним концом вниз (северным – всеверном полушарии, южным - в южном), образуя с горизонтальной плоскостью некоторый угол, называемый *наклоном магнитной стрелки*. Наклонение различно в разных точках Земли и не остается постоянным в одном и том же месте, подвергаясь, подобно склонению, вековым и суточным изменениям.

### Сближение меридианов

При работе с картой, составленной в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, направления линий по карте определяют дирекционными углами. Для перехода от дирекционных углов к истинным азимутам по формулам, надо знать сближение меридианов.

Приближенно сближение меридианов можно найти так. Примем общую фигуру Земли за шар, радиус которого  $R=6371$  км (рисунок 14). На какой-

нибудь параллели с широтой  $\varphi$  возьмем две точки  $A$  и  $B$ , линейное расстояние между которыми пусть будет 1 км.

В точках  $A$  и  $B$  вообразим касательные к меридианам, проходящим через эти точки. Эти касательные называются *полуденными линиями*. Тогда угол между касательными представит сближение меридианов точек  $A$  и  $B$ . Для точек  $A$  и  $B$ , расположенных в пределах одной какой-нибудь зоны, угол  $\gamma$  настолько мал, что рисунок 14 расстояние  $l$  можно рассматривать как дугу радиуса  $AT$ . Тогда угол  $\gamma$ , выраженный в радианах, будет

$$\gamma = \frac{l}{AT}, \quad (9)$$

Но

$$AT = R \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi) = R \operatorname{ctg} \varphi = \frac{R}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (10)$$

следовательно,

$$\gamma = \frac{l}{R} \operatorname{tg} \varphi. \quad (11)$$

Так как в одном радиане  $3438'$ , то сближение меридианов, выраженное в минутах, будет равно

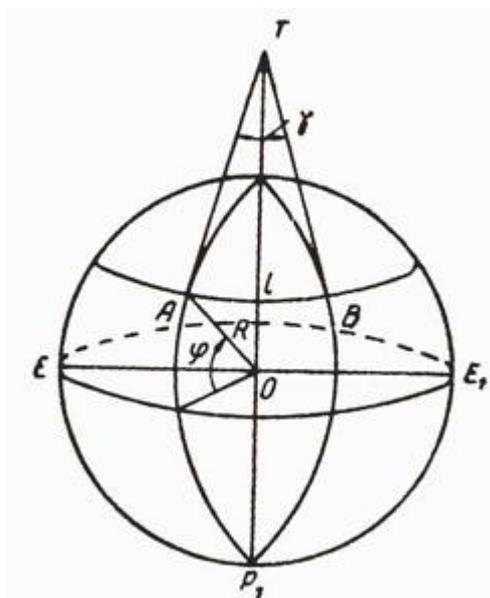


Рисунок 14–Сближение меридианов

$$\gamma' = \frac{l}{R} \operatorname{tg} \varphi \cdot 3438' \quad (12)$$

Подставив сюда вместо  $R$  его значение, получим

$$\gamma' = 0,540 l_{km} \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \quad (13)$$

Если  $l_{km} = 1$ , то

$$\Gamma' = 0,540 \operatorname{tg} \varphi \quad (14)$$

т. е. *приблизенно сближение меридианов на один километр (выраженное в минутах) равно половине тангенса широты места.*

Так, для точки с  $\varphi = 55^\circ 46'$  по формуле (14)  $\gamma = 0',8$ .

При определении направлений во многих случаях ошибка в  $1'$  считается допустимой. В таких случаях сближением меридианов на  $1 \text{ км}$  можно

пренебречь, и на этом расстоянии меридианы в соответствующих точках можно рассматривать как параллельные.

#### 2.1.4 Масштабы заложений

*Масштаб для определения уклонов.* Крутизна ската определяется крутизной линии  $tr$  (рисунок 15). Мерой этой крутизны служит уклон линии

$$i = tga = \frac{h}{d} \quad (15)$$

На рисунок 15 вертикальное расстояние между горизонталями  $h=1$  м, следовательно

$$i = tga = \frac{1}{d}, \quad (16)$$

Откуда

$$id = 1, \quad (17)$$

т. е. *произведение уклона на заложение для данного плана есть величина постоянная.* Зная одну из этих величин, легко найти другую. Обыкновенно по заложению  $d$  определяют уклон  $i$  по формуле

$$i = \frac{h}{d}. \quad (18)$$

Чтобы не прибегать каждый раз к вычислениям, строят на плане график, который называют *масштабом заложений*. Он позволяет по данному заложению  $a$  графически определять уклон  $i$ .

Примем в формуле (6. 4)  $h=1$ , а  $i$  последовательно равным: 0,008; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,70; 1,00, найдем соответствующие значения

$$d = \frac{1}{i}, \quad (19)$$

они будут равны 125; 100; 33,3; 20; 14,3; 10; 5; 3,3; 2,5; 2; 1,4; 1. На вертикальной прямой отложим произвольные равные отрезки (рисунок 9) и подпишем у концов их последовательно 0,008; 0,01; 0,03 и т. д. Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней отложим в масштабе плана соответствующее заложение  $d$ . Концы отложенных отрезков соединим кривой. Полученный график и представит масштаб заложений. При помощи этого масштаба легко определить уклон линии, взятой по плану между двумя соседними горизонталями. Так, например, взяв циркулем отрезок  $ab$ , переносим его с плана на график и помещаем, как указано на рисунке 15. Легко видеть, что заложению  $ab$  соответствует уклон 0,04.

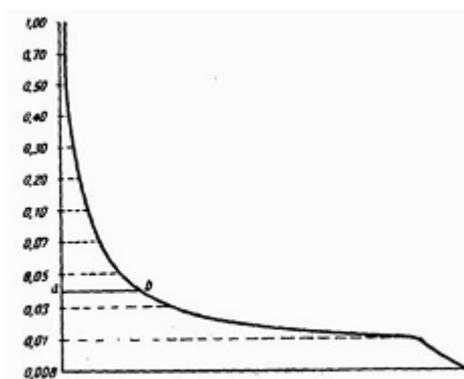


Рисунок 15–Масштабзаложений

*Масштаб для определения углов наклона.* Зная уклон  $t$  линии, можно определить из (15) и угол  $a$  наклона ее к горизонту

$$tga = i = \frac{h}{d}. \quad (20)$$

Иногда предпочитают строить масштаб заложений так, чтобы он выражал крутизну в углах наклона. Для построения такого масштаба при  $h=l$ :

$$tga = \frac{1}{d}. \quad (21)$$

или

$$ctga = d. \quad (22)$$

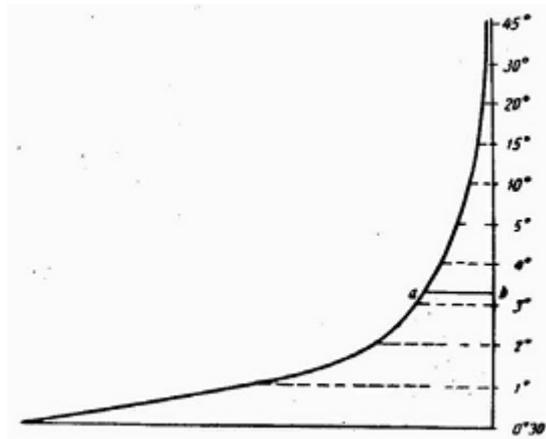


Рисунок 16—Определение угла наклона

Из таблиц натуральных значений тригонометрических функций выписываем котангенсы: 114,6; 57,3; 28,6; 19,1; 14,3; 11,4; 5,7; 3,7; 2,8; 1,7 и 1 углов  $0^{\circ}30'$ ;  $1^{\circ}$ ;  $2^{\circ}$ ;  $3^{\circ}$ ;  $4^{\circ}$ ;  $5^{\circ}$ ;  $10^{\circ}$ ;  $15^{\circ}$ ;  $20^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$  и  $45^{\circ}$ . Формула (6.6) показывает, что если заложение, взятое с плана между двумя смежными горизонталями с высотой сечения  $h=l_m$ , окажется, например, равным 114,6м, то эта линия на местности наклонена под углом, котангенс которого равен 114,6, т. е. под углом  $a=0^{\circ}30'$ . Отсюда легко понять, как надо строить масштаб заложений, чтобы он выражал крутизну в углах наклона.

На вертикальной прямой отложим равные отрезки произвольной длины (рисунок 16). У концов этих отрезков напомним последовательно  $0^{\circ}30'$ ;

1°; 2°; 3°; 4° и т. д. Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней отложим в масштабе плана соответствующее заложение  $d$ . Так, на горизонтальной прямой, проведенной через точку 0°30', отложим  $d=114,6$  м; на прямой, проходящей через точку 1°,  $d=57,3$  м и т. д. Концы отложенных отрезков соединим кривой. Полученный график и представит масштаб заложений в углах наклона. Если, например, какое-нибудь заложение, взятое с плана, поместится на линии  $ab$ , то это покажет, что соответствующая линия местности наклонена к горизонту под углом  $a= 3^{\circ}3'$ .

При построении масштабов, показанных на рис. 56 и 57,  $h=1$ м; если бы  $h$  было равно 2м, то соответствующие числа нужно было бы удвоить. Это вытекает из соотношения

$$i \cdot d = h, \quad (23)$$

откуда

$$d = \frac{1}{i} h, \quad (24)$$

т. е.  $d$  прямо пропорционально высоте сечения  $h$ .

## 2.1.5 Построение по горизонталям профиля местности и проектирование линии заданного уклона

Пусть требуется построить профиль по линии  $AB$  (рисунок 17) при помощи горизонталей.

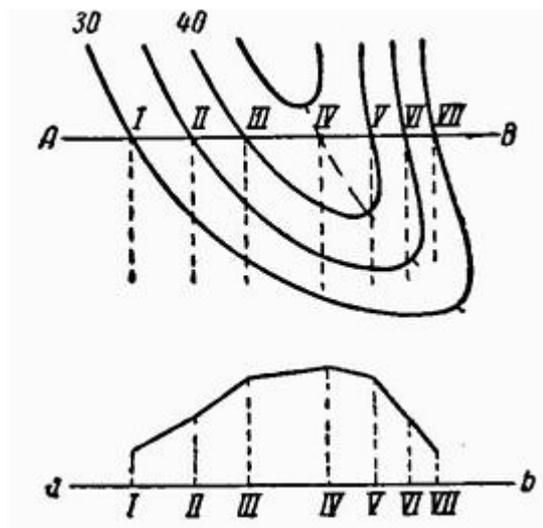


Рисунок 17–Построение профиля местности

Проводим произвольную прямую  $ab$  и на ней откладываем расстояния между точками (I, II, III... VII) пересечения горизонталей карты с данной прямой  $AB$ . Высоты этих точек известны и равны высотам соответствующих горизонталей или получены интерполяцией (IV). Откладываем их на перпендикулярах к прямой  $ab$ . Соединив вершины перпендикуляров прямыми линиями, получим требуемый профиль. Обыкновенно расстояния между точками I, II, ... VII откладывают в масштабе карты, а высоты точек в масштабе в десять раз крупнее, чтобы выразить профиль местности более рельефно.

Проектирование линии заданного уклона часто встречается в инженерной практике, оно применяется при *трассировании* по карте линейных сооружений. Трассирование линии производится или непосредственно на местности, или предварительно по картам с горизонталями. Трассирование представляет собой довольно сложный комплекс работ. Здесь рассмотрим лишь задачу нанесения на план или карту в горизонталях линии заданного предельного уклона.

Допустим, что из точки  $M$  (рисунок 18) требуется провести кратчайшую линию в точку  $N$  так, чтобы уклоны отдельных участков ее не превышали 5%.

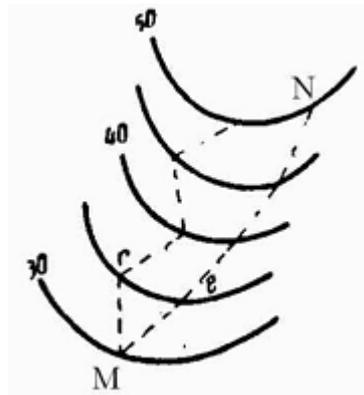


Рисунок 18—Построение линии заданного уклона

По условию задачи подъем или падение линии допускается не более 1 м на каждые 20 м или 5 м на 100 м горизонтального расстояния. Так как горизонталь проведена на карте через 5 м, то при соблюдении требования 5% уклона расстояние между смежными горизонталями должно быть не менее 100 м. Взяв в раствор циркуля по масштабу карты 100 А<sub>т</sub>, засекаем этим радиусом из точки *M* горизонталь 35 в двух точках *г* и *е*. Из этих точек тем же радиусом 100 м засекаем 40-ю горизонталь. Если этот прием продолжим далее, то получим два варианта решения. Направление *MeN* менее извилистое и ближе к заданному. Этот вариант решения и можно принять за искомый.

## Контрольные вопросы

### 1 План и карта

#### 1.1 План местности. Профиль

#### 1.2 Масштаб плана. Численный, линейный и поперечный масштабы.

### 2 Точность масштаба

#### 2.1 Влияние кривизны Земли на горизонтальные и вертикальные расстояния

#### 2.2 Понятие о карте. Различие между картой и планом

#### 2.3 Номенклатура карт и планов

#### 2.4 Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция

- 2.5 Плоские прямоугольные координаты
- 2.6 Прямая и обратная геодезические задачи
- 3 Ориентирование
  - 3.1 Ориентирование линий
  - 3.2 Связь между магнитными и истинными азимутами
  - 3.3 Сближение меридианов
- 4 Рельеф местности и его изображение
  - 4.1 Методы изображения рельефа на планах и картах
  - 4.2 Изображение геометрических форм горизонталями
  - 4.3 Элементы рельефа земной поверхности
  - 4.4 Определение по горизонталям форм рельефа
  - 4.5 Свойства горизонталей
- 5 План и карта
  - 5.1 Ориентирование плана или карты
  - 5.2 Определение направления линии, заданной на плане или на карте
  - 5.3 Нанесение линий на план или карту по заданным направлениям
  - 5.4 Чтение рельефа
  - 5.5 Бассейн и его границы
  - 5.6 Определение по горизонталям отметок точек, уклона линии, направления и крутизны ската
  - 5.7 Масштабы заложений
  - 5.8 Построение по горизонталям профиля местности и проектирование линии заданного уклона

## **2.2. Лабораторная работа №2 – Обработка результатов тахеометрической съемки. Составление топоплана**

- 2.2.1 Тахеометрическая съемка

Топографическими называются такие съемки, в которых одновременно с контурной частью плана снимают рельеф. Типичными топографическими съемками являются *тахеометрическая* и *мензурная*. Тахеометрия в переводе на русский язык дословно означает «скоро измерение». При тахеометрической съемке горизонтальная и вертикальная съемки выполняются одновременно круговым тахеометром – техническим теодолитом с вертикальным кругом.

Плановое положение точек определяется измерением горизонтального угла и расстояния (рисунок 19), а отметки – тригонометрическим нивелированием, т. е. измерением при помощи вертикального круга вертикального угла  $\nu$ .

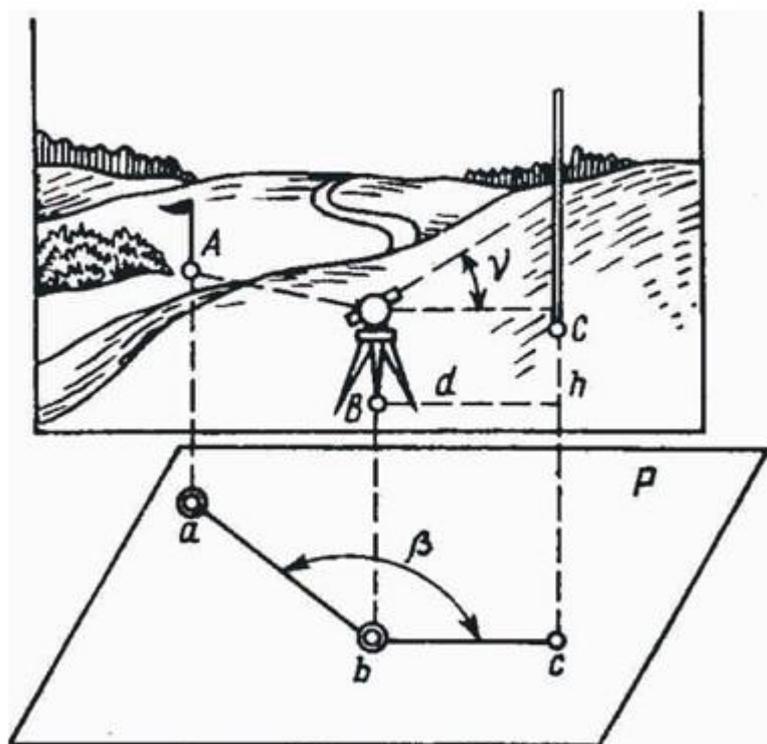


Рисунок 19– Схема тахеометрической съемки

Расстояние при тахеометрической съемке измеряется дальномером. По специальным тахеометрическим таблицам, используя результаты измерений, вычисляют горизонтальное проложение и превышение точки и по полученным данным наносят точку полярным способом. Тахеометрическую

съемку применяют на местности с хорошо выраженными формами рельефа и со средней сложностью контуров.

*Тригонометрическое нивелирование.* Определение превышения  $h=BC$  между точками  $A$  и  $B$  тригонометрическим или геодезическим нивелированием производится на основании следующих соображений (рисунок 19).

### Выполнение тахеометрической съемки

Для производства тахеометрической съемки требуется минимальное количество инструментов: теодолиты или специальные приборы, которые называются тахеометрами, и нивелирная рейка. Слово тахеометрия в переводе с греческого обозначает быстрое измерение. Быстрота измерения достигается тем, что положение точек местности и ситуации в плане и по высоте определяют при одном наведении зрительной трубы инструмента на рейку, получая расстояние по дальномеру, горизонтальный угол и вертикальный угол или превышение. Тахеометрическая съемка выполняется с заранее подготовленного планово-высотного обоснования, т.е. с закрепленных на местности точек, координаты и отметки которых определены с надлежащей точностью. Съемка может вестись с одной или нескольких точек обоснования, для этого теодолит устанавливают над точкой, центрируют, приводят плоскость лимба в горизонтальное положение и устанавливают зрительную трубу для наблюдений. При каждой постановке инструмента рулеткой или рейкой измеряют высоту прибора от верхнего среза колышка до оси вращения теодолита с точностью до 0,01 м и дважды вычисляют место нуля. Для этого на две смежные точки обоснования устанавливают нивелирные рейки и зрительной трубой визируют средней нитью на отсчет, равный высоте инструмента, снимают отсчеты по вертикальному кругу при КП и при КЛ.

Значения места нуля для теодолитов марки Т30 вычисляют по следующей формуле:

$$M_0 = (KЛ + КП \pm 180^\circ) : 2,$$

а если измерения проводились теодолитами марки 2Т30, по формуле:

$$M_0 = (KЛ + КП) : 2.$$

Расхождения в вычисленных значениях места нуля не должны превышать двойной точности отсчетного устройства, т.е. 1 минуты.

Постоянство места нуля на каждой станции - гарантия правильности измерения вертикальных углов.

Выбрав исходное направление, которым является линия планово-высотного обоснования, примыкающая к данной вершине, на нее выставляют отсчет по горизонтальному кругу, равный 0 град. 00 мин. Для этого, зажимая закрепительный винт лимба и открепляя закрепительный винт алидады, вращают инструмент до тех пор, пока в отсчетном устройстве нуль лимба и алидады приблизительно совпадут, и зажимают закрепительный винт алидады, а точное совмещение осуществляют наводящим винтом алидады. Далее, зажимая закрепительный винт алидады и открепляя закрепительный винт лимба, зрительную трубу теодолита наводят на выбранное исходное направление. Во круг станции намечают реечные или пикетные точки, которые берут на всех характерных точках рельефа: на вершинах и подошвах холмов, дне и бровке котловин и оврагов, водоразделах и тальвегах, перегибах скатов; при съемке ситуации определяют границы угодий, дороги, контуры зданий, колодцы, т.е. их плановое положение и высота которых относительно точек установки инструмента должны быть определены в процессе съемки.

Выбор пикетных точек составляет наиболее ответственный момент тахеометрической съемки, при этом необходимо использовать минимальное

количество точек, но так, чтобы с их помощью полностью отобразить ситуацию и рельеф на данном участке. Число пикетных точек, снимаемых с каждой точки плано-высотного обоснования, зависит от рельефа местности, особенностей ситуации, видимости и масштаба съемки. Чем рельеф сложнее, тем пикетных точек требуется брать больше, и, наоборот, при слабо выраженном рельефе их нужно брать меньше.

Для определения положения каждой точки необходимо иметь: направление на эту точку, расстояние от точки стояния инструмента до пикетной точки и угол наклона визирного луча к горизонту. Направление получают отсчетом по горизонтальному кругу, расстояние по дальномеру и угол наклона – по вертикальному кругу теодолита. Отсчеты снимают при одном положении вертикального круга, а именно, при КЛ, если съемка выполнялась теодолитами марки Т30 или 2Т30. Так как в этом случае получают истинный знак угла наклона, от которого зависит знак табличного превышения в тахеометрической съемке, то формула для вычисления углов наклона будет следующая:

$$v = \text{КЛ-МО} \quad (25)$$

Нитяной дальномер представляет собой приспособление, служащее для определения расстояния без непосредственного измерения. В поле зрения трубы теодолита имеются две добавочные горизонтальные нити, расположенные симметрично относительно средней. Расстояние между этими нитями всегда постоянно. Они нанесены таким образом, чтобы коэффициент дальномера был равен 100. При определении расстояния нитяным дальномером пользуются нивелирными рейками, на которых нанесены сантиметровые деления. В этом случае каждому сантиметровому делению, отсчитанному по рейке между крайними дальномерными нитями, будет соответствовать расстояние, равное 1 м ( $K = 100$ ). Тогда измеренное

наклонное расстояние от инструмента до точек местности и ситуации в метрах получают как разность отсчетов по дальномерным нитям, умноженное на коэффициент дальномера. В том случае, когда по одной из дальномерных нитей отсчет сделать нельзя, его осуществляют по одной из крайних нитей и по средней, а результат удваивают. Точность измерения расстояний нитяным дальномером относительно невелика и составляет порядка 1:300 измеренного расстояния, которая является достаточной для данного вида топографической съемки.

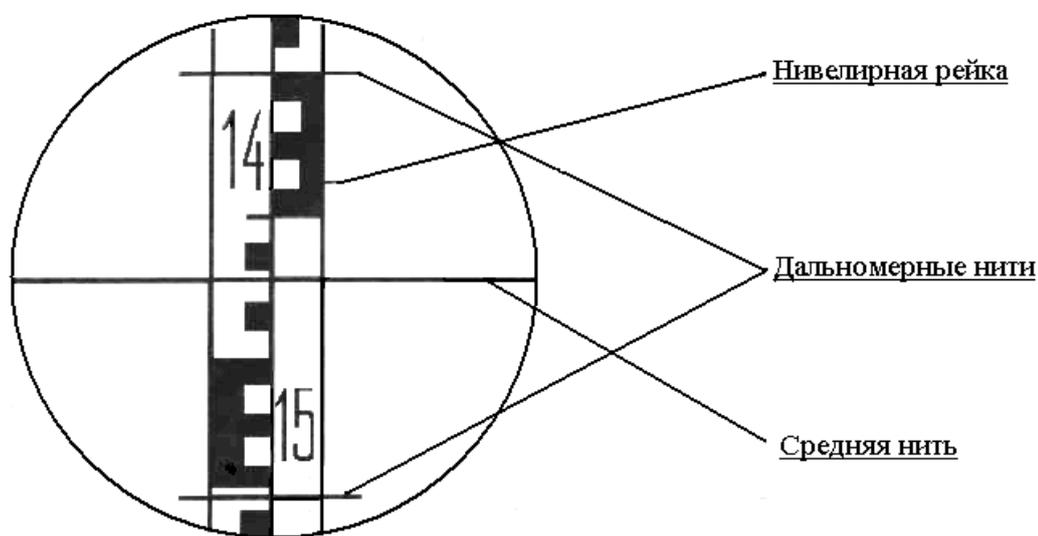


Рисунок 20 – Определение расстояния по рейки

Такая невысокая точность обусловлена невысокой точностью отсчета по рейке отрезка  $ni$  толщиной дальномерных нитей.

Поочередно устанавливая нивелирную рейку на пикетные точки, для этого зажимая закрепительный винт лимба, и открепляя закрепительный винт алидады, зрительную трубу теодолита наводят на рейку. Если по каким-то причинам невозможно навести на отсчет, равный высоте инструмента (этот отсчет закрыт каким-либо предметом), то в этом случае средней нитью прибора визируют на верх рейки или любой другой отсчет, точное совмещение производят наводящим винтом зрительной трубы, но превышение вычисляют по полной формуле

$$h_{пол} = (K \cdot n \cdot \sin 2\nu) : 2 + i - l, \quad (26)$$

где  $K$  – коэффициент дальномера;

$n$  – отсчет по нивелирной рейке;

$\nu$  – угол наклона;

$i$  – высота инструмента;

$l$  – высота визирования;

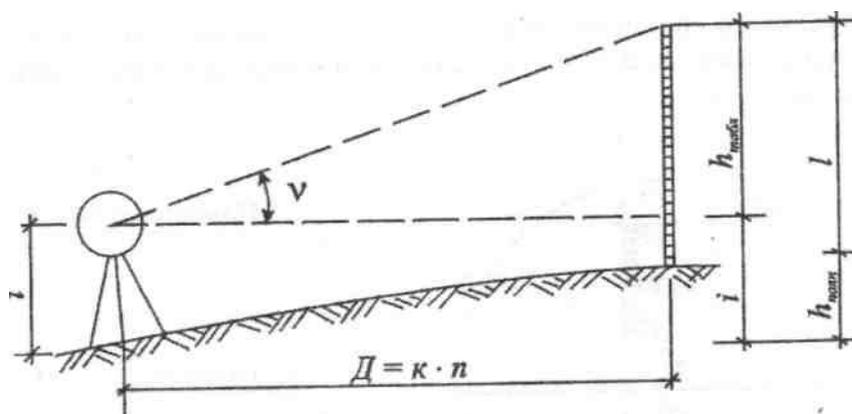


Рисунок 21 – Тригонометрическое нивелирование

$h_{табл}$  – табличное превышение в тахеометрической съемке.

Из данного рисунка следует, что

$$h_{пол} = h_{табл} + i - l \quad (27)$$

Если навести среднюю нить теодолита на отсчет по нивелирной рейке, равной высоте инструмента, то превышение вычислим по формуле

$$h_{пол} = h_{табл} = (K \cdot n \cdot \sin 2\nu) : 2 \quad (28)$$

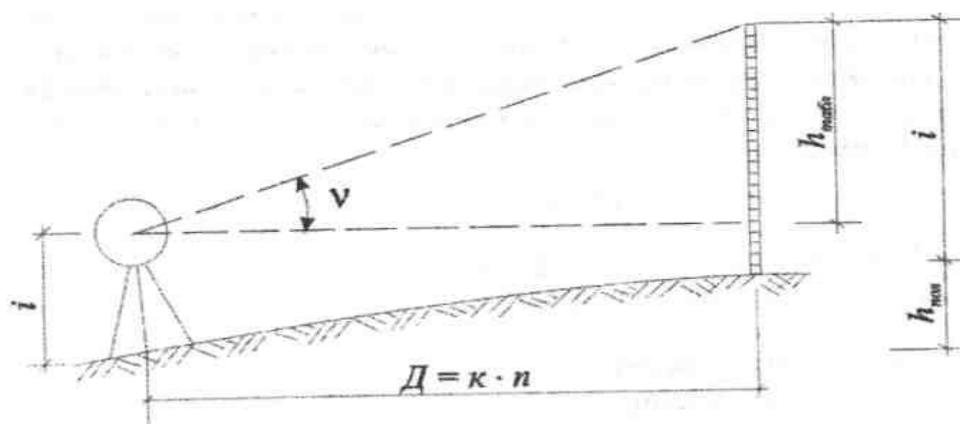


Рисунок 22 – Измерение расстояния дальномером

При измерении расстояний дальномером предполагается, что нивелирная рейка должна стоять перпендикулярно визирному лучу. На практике приходится определять расстояния на наклонной местности, когда рейка устанавливается отвесно (не перпендикулярно визирному лучу), а, чтобы нанести измеренное наклонное расстояние на план, необходимо найти величину горизонтального проложения, т.е. проекцию этого отрезка на горизонтальную плоскость, которое вычисляют по формуле

$$d = k \cdot n \cdot \cos^2 \nu \quad (29)$$

Отметки всех пикетных точек тахеометрии при условии, если высота инструмента равна высоте визирования, т.е.  $i = l$  вычисляют по формуле

$$H_i = H_{ст} + h_{табл}, \quad (30)$$

где  $H_i$  – отметка пикетной точки;

$H_{ст}$  – отметка станции, с которой велась тахеометрическая съемка данного участка местности.

В том случае, если высота инструмента не равна высоте визирования, т.е.  $i \neq l$ , то отметки пикетных точек находят по формуле



5	Дорога	56	69°	29	-2°	18	-2°	19	56	-2.26	-2.26	86.24
6	Дорога	48	165°	26	-3°	25	-3°	26	47.9	-2.87	-2.87	85.63
7	Гран. луга	103	288°	07	-0°	54	-0°	55	103	-1.63	-1.63	86.87
8	Реечная	60	340°	11	-2°	51	-2°	52	60	-3.00	-3.00	85.50
8 □ *	реечная	70	92°	00	-4°	27	-4°	28	69.8	-5.43	-5.43	83.07

## 2.2.2 Составление плана тахеометрической съемки

Составление плана начинают с построения координатной сетки с помощью линейки Дробышева со сторонами квадратов, равными 10 см. Правильность разбивки проверяют проведением и сравнением двух диагоналей. После этого ее оцифровывают с учетом масштаба плана и по координатам накладывают все точки планово-высотного обоснования. Правильность нанесения точек обоснования контролируют по длинам его сторон: измеряют расстояния между точками, выраженные в масштабе, они должны быть равны расстояниям между соответствующими нумерация сохраняется такой же, как и в журнале съемки. Необходимо в точках на плане или отличаться не более чем на 0,2 мм. Вслед за этим наносят пикетные точки циркулем-измерителем, масштабной линейкой и транспортиром. Данные для построения точек местности и ситуации берут из журнала тахеометрической съемки. Транспортир устанавливают центром над точкой обоснования и поворачивают до совмещения нулевого штриха окружности на дуге транспортира с линией, в направлении которой совмещался нуль лимба перед началом набора пикетных точек. По миллиметровой линейке в соответствующем масштабе откладывают длину горизонтального проложения до пикетной точки. Таким образом, наносят все пикетные точки на данной станции. Аналогично накладывают точки с других станций тахеометрии.

После нанесения всех пикетных точек производят рисовку горизонталей. Предварительно, руководствуясь абрисом, намечают слабым пунктиром основные линии рельефа и в соответствии с направлениями скатов соединяют

точки, между которыми будет производиться интерполяция высот. При рисовке горизонталей должны быть проработаны все характерные особенности рельефа: вершины, котлованы, склоны, хребты, лощины, обрывы. В зависимости от целей составления плана, масштаба съемки и характера рельефа местности берется ряд секущих плоскостей через определенное расстояние их друг от друга по высоте, называемое высотой сечения рельефа. Правильный выбор высоты сечения рельефа имеет очень важное значение. Проведя интерполяцию между всеми пикетными точками тахеометрии, точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми, называемыми горизонталями.

Вся ситуация и рельеф, изображенные на плане, вычерчивают тушью в условных знаках. Ситуация оформляется черной тушью, толщина линий должна быть 0,1 мм. При вычерчивании элементов рельефа горизонтали проводят тонкими сплошными линиями коричневой тушью, толщиной 0,1 мм. Основные горизонтали в пределах плана обрываться не могут. Отметки горизонталей, кратные четырем сечениям рельефа, т.е. 2м, утолщаются, их толщина составляет 0,25мм, подписываются в разрывах горизонталей, при этом верх цифры должен быть обращен в сторону повышения ската местности. Отметки горизонталей также показываются жженой сиеной (в отличие от отметок пикетных точек и станций, подписываемых черной тушью параллельно южной рамке координатной сетки). Для большей наглядности и удобства чтения планов на горизонталях ставят указатели направления ската – бергштриха. Длина бергштриха берется равной 0,8мм в направлении, перпендикулярном горизонтали.

## **2.3 Лабораторная №3– Изучение теодолита 2Т30, поверки. Изучение нивелира Н-3, поверки**

### **2.3.1 Классификация теодолитов**

Существующие типы теодолитов различаются по точности, виду отсчетных устройств, конструкции системы вертикальных осей горизонтального круга и назначению.

В зависимости от точности измерения горизонтальных углов в соответствии с ГОСТ 10529-86 теодолиты могут быть разделены на 3 типа:

1) высокоточные Т1, предназначенные для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов;

2) точные Т2 – для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов; Т5 – для измерения углов в триангуляционных сетях и полигонометрии 1 и 2 разрядов и производства маркшейдерских работ на поверхности;

3) технические Т15, 2Т30 и Т60 – для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах и съемочных сетях, а также для выполнения маркшейдерских работ на поверхности и в подземных выработках.

В условных обозначениях теодолитов цифра означает среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним приемом в секундах; для теодолита Т5  $m\beta = 5''$ , для Т30  $m\beta = 30''$  и т. д.

По виду отсчетных устройств различают верньерные и оптические теодолиты. Отсчетные устройства в виде верньеров используются в теодолитах с металлическими кругами (ТТ-50, Т-5, ТГ-5 и др.). Теодолиты со стеклянными угломерными кругами и оптическими отсчетными устройствами называются *оптическими*; в них с помощью оптической системы изображения горизонтального и вертикального кругов передаются в поле зрения специального микроскопа.

В настоящее время промышленностью выпускаются только оптические теодолиты. В последние годы взамен теодолитов серии Т налажен выпуск более совершенных теодолитов унифицированной серии 2Т, 3Т.

По назначению различают следующие типы теодолитов:

1) собственно теодолиты – предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов;

2) тахеометры – предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов и определения расстояний при помощи нитяного дальномера или оптическими дальномерными насадками, что позволяет выполнять с их помощью тахеометрическую съемку. Все технические теодолиты (Т15, 2Т30, Т60 и др.) являются тахеометрами;

3) теодолиты специального назначения: астрономические теодолиты (АУ2"/10", АУ2"/2") – предназначены для определения широты, долготы и азимутов из астрономических наблюдений; маркшейдерские теодолиты (Т15М, Т30М, 2Т30М); теодолит-нивелир (ТН) – имеет цилиндрический уровень при зрительной трубе и может быть использован для производства геометрического нивелирования; теодолит проектировочный (ТТП) – имеет в комплекте накладной уровень, окулярную насадку, дальномерный комплект, буссоль и оптический центрир, применяется для строительных разбивок; специализированные теодолиты-гиротеодолиты, фототеодолиты, лазерные теодолиты, кодовые теодолиты и др.

В инженерной практике наибольшее распространение получили оптические теодолиты типов 2Т30, Т15, Т5, 2Т5К.

### 2.3.2 Изучение теодолита 2Т30

Теодолит – это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных углов, углов наклона и расстояний. Кафедра инженерной геодезии имеет для учебных занятий теодолиты 2Т30.

Теодолит, независимо от модели, имеет принципиальную схему, приведенную на рисунке. 23.

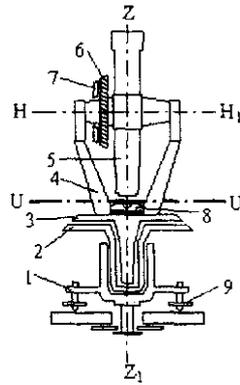


Рисунок 23– Принципиальная схема теодолита

На подставке (1) с тремя подъемными винтами (9) крепится угломерный круг (2), на котором нанесены деления от 0 до 360° с возрастанием отсчетов в по ходу часовой стрелки, называемый лимбом.

Над лимбом расположен второй круг – алидада (3), несущий отсчетное устройство. Лимб и алидада вместе называются горизонтальным кругом. Он предназначен для измерения горизонтальных углов.

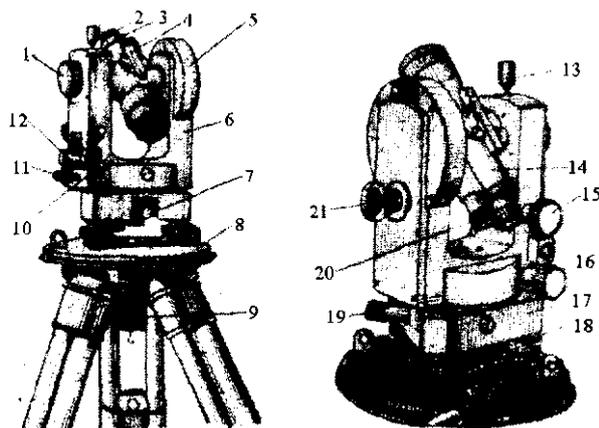
На алидаде, с помощью подставок (4), крепится зрительная труба (5), которая может вращаться вокруг своей оси  $NN_1$ . На одном из концов оси зрительной трубы расположен вертикальный круг, состоящий из лимба (6) и алидады (7). Он предназначен для измерения углов наклона. При повороте зрительной трубы вокруг своей оси (это действие называется переводом зрительной трубы через зенит) вертикальный круг может располагаться справа или слева от нес. Первое положение называется «круг право» и при измерениях обозначается КП, второе - «круг лево», обозначаемое при измерениях КЛ. Для приведения плоскости лимба (2) в горизонтальное положение на горизонтальном круге укреплен цилиндрический уровень.(8).

Теодолит имеет следующие основные оси и плоскости:

Основная ось (ось вращения) теодолита  $ZZ_1$ – линия, перпендикулярная к горизонтальному кругу и проходящая через его центр.

Визирная ось – воображаемая прямая, соединяющая пересечение нитей сетки и оптический центр объектива.





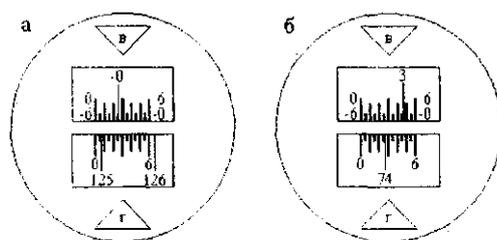
1 – кремальера; 2 – диоптрийное кольцо; 3 – колпачок, под которым расположены исправительные винты сетки нитей; 4 – оптический визир; 5 – вертикальный круг; 6 – подставка зрительной трубы; 7 – закрепительный винт лимба; 8 – основание футляра; 9 – становой винт; 10 – исправительный винт уровня; 11 – закрепительный винт алидады; 12 – цилиндрический уровень; 13 – закрепительный винт зрительной трубы; 14 – зрительная труба; 15 – палящий винт зрительной трубы; 16 – наводящий винт алидады; 17 – подставка; 18 – подъемный винт; 19 – наводящий винт лимба; 20 – окуляр шкалового микроскопа; 21 – зеркало

Рисунок 25 – Общий вид теодолита 2Т30

### 2.3.3 Определение цены деления лимба и точности отсчитывания.

#### Отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам

У теодолита 2 130 отсчетный микроскоп шкаповой. В верхней части поля зрения микроскопа, обозначенную буквой В (рисунок 26), видны штрихи лимба вертикального круга и штрихи отсчетной шкалы, а в нижней части поля зрения, обозначенной буквой Г, видны штрихи лимба горизонтального круга и штрихи отсчетной шкалы.



а) отсчет по вертикальному кругу  $-0^{\circ} 35,0'$ ; отсчет по горизонтальному кругу  $125^{\circ} 06,0'$ ; б) отсчет по вертикальному кругу  $+3^{\circ} 45,5'$ ; отсчет по горизонтальному кругу  $74^{\circ} 27,5'$

Рисунок 26 – Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т30

На обоих кругах нанесены только градусные штрихи. Каждый градусный штрих подписан. Следовательно, цена деления лимбов составляет  $1^{\circ}$ . На алидады кругов нанесены отсчетные шкалы с ценой деления  $5'$ . Эти шкалы выведены в поле зрения микроскопа. Начальное деление шкалы горизонтального круга обозначено цифрой 0, а конечное – цифрой 6, что означает  $60'$ . Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр. В верхнем ряду начальный штрих, обозначенный цифрой 0, расположен слева, а конечный, обозначенный цифрой 6, расположен справа. В нижнем ряду оцифровка выполнена наоборот и цифры имеют знак минус. Отсчет по горизонтальному кругу производится в следующем порядке. Сначала считывается с лимба число градусов (по штриху лимба, попадающему на отчетную шкалу), затем по отчетной шкале берется отсчет с точностью  $0.1$  деления, что соответствует  $0.5'$ . Индексом для отсчитывания минут служит штрих градусного деления лимба, находящийся на отчетной шкале. На рис. 1. 3а отсчет по горизонтальному кругу равен  $125^{\circ}06,0'$ .

При отсчитывании по вертикальному кругу число градусов считывается так же, как и по горизонтальному кругу. При этом градусные деления вертикального круга имеют знаки либо плюс, либо минус. Если в пределах шкалы находится штрих лимба без знака, то на шкале отсчет берется по

верхнему ряду цифр (слева направо), и полный отсчет записывается со знаком плюс. По нижнему ряду цифр шкалы отсчет берется в том случае, когда в пределах шкалы находится штрих лимба со знаком "минус". Отсчет записывается со знаком минус.

#### 2.3.4 Поверки и юстировки теодолита 2Т30

Для измерения горизонтальных углов и углов наклона в теодолите должны быть соблюдены следующие геометрические условия: плоскость лимба горизонтального круга должна быть горизонтальна; вертикальная ось прибора должна быть отвесна; коллимационная плоскость должна быть вертикальна.

Для контроля выполнения этих условий производятся следующие поверки и юстировки теодолита:

1) ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения прибора.

Устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам. Одновременно вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня на середину ампулы. Затем поворачивают алидаду на  $180^\circ$ . Если пузырек уровня отклонится от середины более чем на одно деление, то исправительными винтами уровня пузырек перемещают к середине ампулы на половину дуги отклонения: на вторую половину пузырек уровня перемещают при помощи тех же подъемных винтов. Для контроля поверку повторяют.

Прежде чем делать другие поверки, приводят плоскость лимба в горизонтальное положение. Для этого устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам и с их помощью приводят пузырек уровня на середину. Поворачивают алидаду на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом приводят пузырек уровня в нульпункт.

После приведения плоскости лимба в горизонтальное положение, при вращении алидады вокруг оси, пузырек уровня не должен отклоняться от середины более чем на одно деление.

2) одна из нитей сетки должна быть горизонтальна, а другая – вертикальна.

Вертикальную нить сетки наводят на нить отвеса. Если вертикальная нить будет совпадать с нитью отвеса, условие выполнено. В противном случае отверткой ослабляют 4 крепежных винта окуляра, расположенные под колпачком 3 (рисунок 25), и поворачивают окулярную часть трубы до совмещения вертикальной нити сетки с нитью отвеса, после чего винты вновь закрепляют.

3) визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

Угол  $\epsilon$  отклонения визирной оси от перпендикуляра к оси вращения трубы (рисунок 26) называется коллимационной ошибкой. Для выявления коллимационной ошибки выбирают удаленную, хорошо видимую точку, расположенную так, чтобы линия визирования была примерно горизонтальна. Наводят пересечение нитей сетки на эту точку и производят отсчет по горизонтальному кругу. Например, при круге лево отсчет равен  $18^{\circ}30'$  ( $\text{КЛ}=18^{\circ}30'$ ).

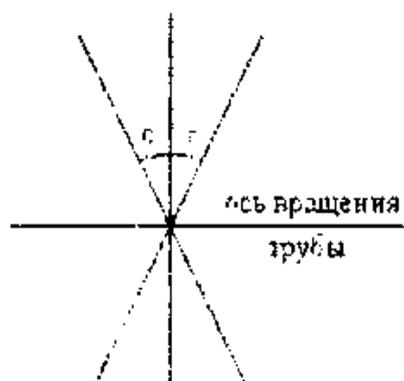


Рисунок 26– Коллимационная ошибка

Переводят трубу через зенит, открепляют алидаду, наводят пересечение нитей сетки на ту же точку при круге право и производят отсчет. Например, КП=198°36'. Величину коллимационной ошибки С вычисляют по формуле:

$$C = \frac{(КЛ - КП \pm 180^0)}{2}.$$

в примере

$$C = \frac{18^0 30' - 198^0 36' + 180^0}{2} = -0^0 03'$$

Если С превышает двойную точность отсчета по шкале прибора, то нужно исправить положение визирной оси. Для этого вычисляют исправленный отсчет по горизонтальному кругу, в котором число градусов берется из последнего отсчета, а количество минут вычисляется как среднее арифметическое из числа минут обоих отсчетов. В приведенном примере исправленный отсчет будет равен  $198^0 + \frac{30' + 36'}{2} = 198^0 33'$ . Этот отсчет наводящим винтом алидады устанавливают по горизонтальному кругу. Пересечение нитей сетки сойдет с точки. Следует переместить сетку нитей так, чтобы перекрестие нитей вновь установилось на точке. Для этого используют 4 исправительных винта сетки нитей с отверстиями для шпильки, расположенные под колпачком 3 (рисунок 25). Шпилькой ослабляют вертикальные винты и боковыми винтами перемещают сетку нитей до тех пор, пока перекрестие не будет на точке. Вертикальные винты вновь затягивают и по верку повторяют.

4) ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

Выбирают на стене точку, расположенную под углом 40°-50° к горизонту, наводят на нее зрительную трубу и закрепляют алидаду. Опускают трубу до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию точки.

Поворачивают теодолит на  $180^\circ$ , переводя трубу через зенит, снова наводят перекрестие нитей на верхнюю точку и опускают трубу до горизонтального положения. Снова отмечают на стене проекцию точки. Если проекции совпали, то условие выполнено. В противном случае исправление производится в мастерской.

### 2.3.5 Установка прибора в рабочее положение, измерение горизонтальных и вертикальных углов

Перед измерением горизонтального угла теодолит устанавливается в рабочее положение.

Установка теодолита в рабочее положение складывается из следующих действий:

- а) центрирования теодолита, заключающегося в установке центра лимба над вершиной измеряемого угла с помощью отвеса;
- б) приведения плоскости лимба в горизонтальное положение с помощью уровня горизонтального круга и подъемных винтов;
- в) установки трубы по глазу и по предмету.

Установка трубы по глазу производится вращением диоптрийного кольца до наилучшей видимости нитей сетки, при этом труба должна быть наведена на светлый фон.

Установка трубы по предмету производится с помощью кремальеры, вращая которую добиваются четкого изображения предмета.

### 2.3.6 Нивелиры и их поверки

Промышленность выпускает нивелиры следующих типов.

*Нивелир Н-05* – высокоточный, с оптическим микрометром для определения превышения со средней квадратической погрешностью более 0,5 мм на 1 км двойного хода. Применяется при нивелировании I и II классов в

государственных геодезических сетях, на геодинамических полигонах, при ведении инженерно-геодезических работ.

*Нивелир Н-3*—точный, используется для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 3мм на 1км двойного хода. Применяется при нивелировании III и IV классов и инженерно-геодезических изысканиях.

*Нивелир Н-10*—технический, для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 10мм на 1км двойного хода. Применяется для высотного обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

В зависимости от применяемого устройства для приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры всех типов должны выпускаться в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона визирной оси. При наличии компенсатора в шифр нивелира добавляется буква *К*. Нивелиры типов Н-3 и Н-10 допускается изготавливать с лимбом для измерения горизонтальных углов. При наличии лимба в шифре нивелира добавляется буква *Л*.

*Нивелир с цилиндрическим уровнем 2Н-10Л* (рисунок 27) предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

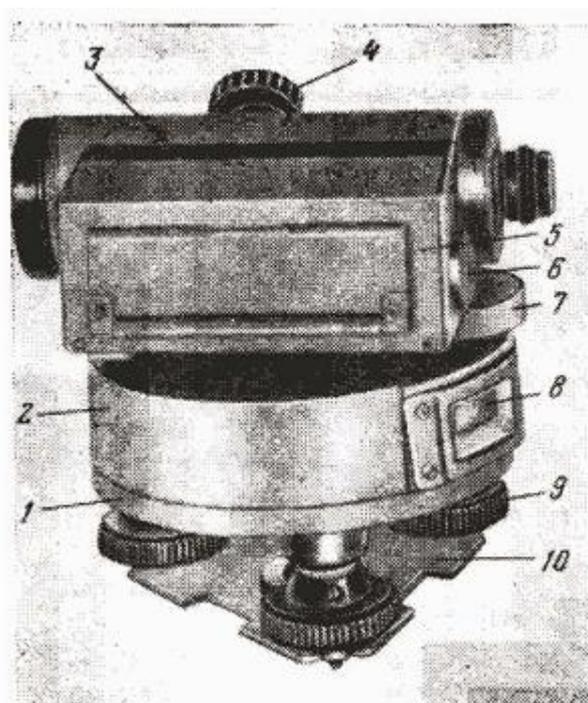


Рисунок 27 – Нивелир 2Н-10Л

Прибор состоит из неподвижной нижней части 1 и верхней 2, имеющей возможность вращаться относительно нижней. Нижняя часть представляет собой подставку цилиндрической формы с подъемными винтами 9, на которой укреплен горизонтальный лимб. Верхняя часть нивелира имеет зрительную трубу 3 с внутренней фокусировкой, осуществляемой головкой 4, контактный уровень при трубе, помещенный в коробку 5, установочный уровень и элевационный винт 7, которым осуществляется точная установка пузырька уровня на середину. Верхняя и нижняя части нивелира соединены плоскими шайбами осевой системы. Наведение трубы нивелира на рейку осуществляется от руки поворотом его верхней части относительно нижней. Отсчеты по горизонтальному лимбу производятся при помощи верньеров.

Труба нивелира имеет увеличение  $23^x$ . Подставка-треножник соединяется со штативом станковым винтом, ввинчиваемым в плоскую пружину 10. Под позициями б и в показаны крышка исправительных винтов и верньер лимба.

Оптическая система, помещенная в коробке уровня, передает изображение концов пузырька непосредственно в поле зрения трубы (рисунок 28), что создает удобство работы, так как позволяет одновременно наблюдать за рейкой и за уровнем.

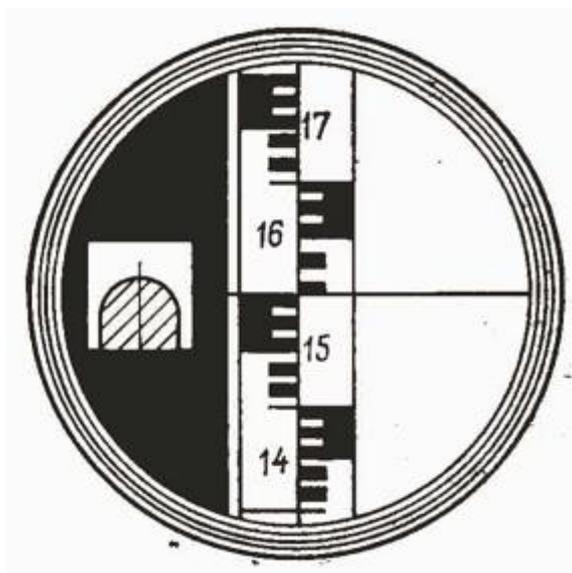


Рисунок 28 – Поле зрения нивелира

В поле зрения трубы пузырек уровня кажется разрезанным вдоль пополам. Если обе половины совмещены, то это значит, что пузырек выведен на середину. Совмещение концов пузырька можно осуществить точнее, чем совмещение его с делениями на ампуле (как у уровней теодолита). Такая система уровней называется *контактной*.

*Проверки нивелира 2Н-10Л:*

1) ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Эта проверка выполняется аналогично такой же проверке теодолита: уровень располагают параллельно двум подъемным винтам и при помощи последних пузырек уровня выводят на середину в нуль - пункт. После этого трубу поворачивают на  $90^\circ$  и пузырек выводят в нуль - пункт третьим винтом. Затем трубу поворачивают на  $180^\circ$ . Если пузырек сместился с середины, то

его передвигают на половину дуги смещения с помощью исправительных винтов уровня, а на другую половину пузырек перемещают подъемными винтами подставки;

2) при нивелировании необходимо, чтобы горизонтальная нить сетки нитей была перпендикулярна к оси вращения инструмента. Проверка производится в следующем порядке;

На расстоянии 20-30 м от нивелира на забитый в землю кол устанавливают нивелирную рейку. Наводят трубу нивелира на рейку так, чтобы изображение рейки оказалось с края поля зрения трубы. Берут отсчет по рейке и затем поворачивают трубу в горизонтальной плоскости до тех пор, пока изображение рейки не перейдет на другую сторону поля зрения. Берут еще один отсчет. Если отсчеты окажутся равными, то условие выполнено; если отсчеты будут различными, то условие не соблюдено.

Исправление осуществляется поворотом сетки нитей до тех пор, пока отсчеты по концам горизонтальной нити не будут равны;

3) основным условием нивелира является параллельность визирной оси трубы и оси уровня. Это условие проверяется двойным нивелированием следующим образом. На местности на расстоянии 30-40м друг от друга забивают в землю два колышка *A* и *B*. Над точкой *A* устанавливают нивелир, а над точкой *B* – рейку. При помощи миллиметровой рулетки измеряют высоту инструмента  $i_1$  и берут отсчет по рейке  $a_1$ , который равен сумме истинного отсчета  $a'_1$  и погрешности  $x$  за счет не параллельности оси визирования нивелира и оси уровня.

После этого аналогичные действия проводят, когда нивелир установлен над точкой *B*, а рейка – над точкой *A*. Получают значения  $i_2$  и  $a_2$ . Выражают превышение  $h$  точек *A* и *B* через эти данные:

$$h = i_1 + x - a_1; \quad (32)$$

$$h = a_2 - i_2 - x, \quad (33)$$

отсюда

$$i_1 + x - a_1 = a_2 - i_2 - x \quad (34)$$

и

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (35)$$

Теперь, зная  $x$ , определяем истинный отсчет  $a_2' = a_2 - x$ , когда визирная ось нивелира горизонтальна.

Исправления производят, если  $x > \pm 4$  мм. Действуя элевационным винтом, устанавливают горизонтальную нить на этот отсчет. После этого вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня добиваются совмещения изображений концов пузырька.

*Нивелир с компенсатором Н-10КЛ.* В настоящее время используются нивелиры с самоустанавливающимися в горизонтальное положение визирными осями. Эти нивелиры удобно применять на неустойчивых грунтах.

Нивелир Н-10КЛ предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования. Применяется для обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических измерениях, в строительстве. Нивелир состоит из нижней неподвижной и верхней части, имеющей возможность вращаться относительно нижней.

Нижняя часть — подставка с тремя подъемными винтами и пластинкой и втулкой, служащей для закрепления нивелира на штативе при помощи станového винта.

На подставке имеется горизонтальный лимб. В верхнюю часть вмонтирована зрительная ломаная труба с встроенным компенсатором углов

наклона. Верхняя часть имеет, кроме того, вертикальную ось вращения и несет на себе установочный уровень.

Компенсатором является прямоугольная призма, подвешенная на подшипниках. Фокусировка зрительной трубы, имеющей увеличение  $20^x$ , осуществляется перемещением призмы компенсатора вдоль оптической оси зрительной трубы при помощи головки.

Наведение, трубы на рейку производится поворотом от руки верхней части нивелира. Диапазон работы компенсатора ( $\pm 20''$ ).

*Проверки нивелира Н-10КЛ:*

- 1) ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира;
- 2) горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира;

Эти две проверки производятся так же, как первые две проверки нивелира 2Н-10Л;

- 3) линия визирования должна быть горизонтальна в пределах рабочих углов компенсатора ( $\pm 20'$ ).

Прежде чем производить эту проверку, необходимо исследовать правильность работы компенсатора. Для этого нивелир по круглому уровню подъемными винтами выводят в рабочее положение. На расстоянии 70-80 м по направлению одного из подъемных винтов на забитый в землю кол устанавливают рейку. Вращением подъемного винта вначале в одном, а затем в противоположном направлении наклоняют трубу в пределах  $+20'$  и берут отсчеты по рейке. Все отсчеты должны быть одинаковыми. Если отсчеты меняются, то исправление может быть выполнено опытным механиком в условиях мастерской.

После этого проверку третьего условия производят в следующем порядке. Устанавливают две рейки на расстоянии 100 м друг от друга и несколько раз определяют превышение между ними нивелированием из середины. Находят среднее значение превышения. Затем устанавливают нивелир на расстоянии около 10 м от одной из реек и снова определяют превышение. Если оно будет

отличаться от превышения, полученного из середины, не более чем на 1-2мм, то можно считать, что линия визирования занимает горизонтальное положение с достаточной точностью. В противном случае необходимо перемещением сетки нитей исправить отсчет на рейке, находящейся на далеком расстоянии, так, чтобы получилось такое же превышение, какое было получено при нивелировании из середины.

## Контрольные вопросы

### 1 Угловые измерения

- 1.1 Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов.
- 1.2 Классификация теодолитов.
- 1.3 Принципиальная схема устройства теодолита.
- 1.4 Горизонтальные круги.
- 1.5 Отсчетные устройства.
- 1.6 Зрительные трубы.
- 1.7 Уровни.
- 1.8 Вертикальный круг теодолита.
- 1.9 Устройство теодолитов.
- 1.10 Поверки и юстировки теодолита.
- 1.11 Установка теодолита в рабочее положение.
- 1.12 Измерение горизонтальных углов.
- 1.13 Погрешности измерения горизонтальных углов.
- 1.14 Измерение вертикальных углов.

### 2 Нивелирование

- 2.1 Геометрическое нивелирование.
- 2.2 Нивелиры и их поверки.
- 2.3 Нивелирные рейки.

## 2.4 Лабораторная №4– Измерение горизонтальных и вертикальных углов с помощью теодолита, оформление результатов

### 2.4.1 Измерение горизонтального угла

Измерение угла выполняется способом приемов. При закрепленном лимбе, поворачивая алидаду, наводят зрительную трубу на правую точку 1 (рисунок 29). Зажимают закрепительные винты алидады и трубы и окончательное поведение на точку выполняют с помощью наводящих винтов алидады и зрительной трубы.

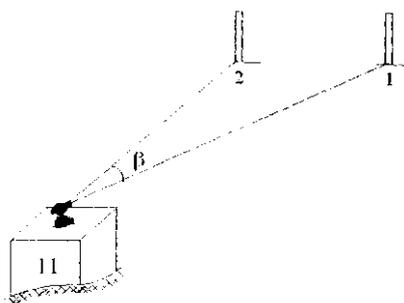


Рисунок 29 –Схема измерения горизонтального угла

После этого производят отсчет по горизонтальному кругу. Отсчет записывается в журнал (таблица 4).

Открыв алидаду, наводят зрительную трубу на левую точку 2 и также производят отсчет, записывая его в журнал. Значение угла равно разности отсчетов на правую и левую точки. Если отсчет на правую точку окажется меньше отсчета на левую точку, то к нему прибавляют  $360^\circ$ . Таким образом получают значение угла из первого полуприема.

Далее переводят трубу через зенит и смещают лимб примерно на  $1^\circ$ - $2^\circ$ . для чего делают 2-3 оборота наводящим винтом лимба, и аналогично выполняют измерение угла вторым полуприемом, записывая отсчеты в журнал.

Таблица 4 – Страница журнала измерения горизонтальных углов

№ точек стояния	№ визируемых предметов	Отсчеты по горизонтальному кругу		Угол		Среднее из углов	
		°	'	°	'	°	'
	1	192	43	18	09,0		
11	2	174	34			18	09,5
	1	14	11.5	18	10,0		
	2	356	01,5				

За окончательное значение угла берут среднее арифметическое, полученное из двух полуприемов. Окончательное значение округляется до 0.1'.

Если расхождение значений угла в полуприемах более двойной точности отсчитывания, т.е. более 1', запись в журнале зачеркивается, отсчет на лимбе сбивается и измерения повторяются.

#### 2.4.2 Измерение угла наклона

Углом наклона называется угол, составленный линией визирования с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось вращения трубы (рисунок 30). Перед измерением угла наклона устанавливают прибор в рабочее положение и наводят среднюю горизонтальную нить сетки на точку, например, при КП.

Если пузырек уровня отойдет от середины, то его необходимо установить на середину подъемным винтом, расположенным в направлении линии визирования, и проверить наведение. Производят отчет по вертикальному кругу и записывают его в журнал (таблица 5).

Переводят трубу через зенит и аналогичные действия выполняют при другом положении вертикального круга (при КЛ). Отчет записывают в журнал. Затем вычисляют место нуля (МО) вертикального круга.

Местом нуля (МО) называется отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось зрительной трубы горизонтальна, а пузырек уровня находится в

нульпунктс. Место нуля (МО) и угол наклона вычисляются по следующим формулам:

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}; \quad v = КЛ - МО; \quad v = МО - КП$$

Контролем правильности измерения углов наклона служит постоянство МО, колебание которого не должно превышать двойной точности отсчета по шкале прибора, т.е. 1'.

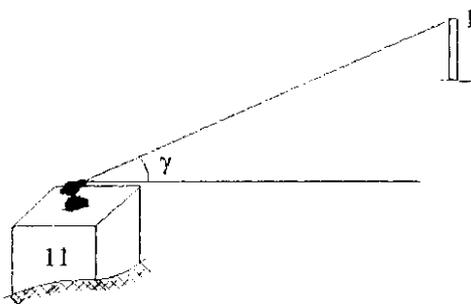


Рисунок 30 – Схема измерения угла наклона

Таблица 5 – Журнал измерения углов наклона

№ точек наблюдения	Отчеты по вертикальному кругу				МО		Угол наклона	
	КП		КЛ					
	°	'	°	'	°	'	°	'
	Станция № 11							
1	-6	26	+6	28	+0	01	+6	27
2	+1	15	-1	15	0	00	-1	15

## 2.5 Лабораторная №5–Определение высот точек, оформление результатов

### 2.5.1 Геометрическое нивелирование

Нивелирование производится для определения высот точек земной поверхности, необходимых для изучения рельефа местности и изображения его на планах и картах.

Геометрическое нивелирование производится при помощи нивелира и реек. Главными частями нивелира являются зрительная труба и цилиндрический уровень, при помощи которого визирная ось трубы приводится в горизонтальное положение.

Рейки, используемые при геометрическом нивелировании, представляют собой деревянные бруски, на которые нанесены шашечные сантиметровые деления.

Основным методом нивелирования является *нивелирование из середины*. При нивелировании из середины инструмент устанавливают посередине между точками  $A$  и  $B$ , а на точки устанавливают одинаковые рейки. На рисунке 31  $R_a$  и  $R_b$  - рейки;  $J$  - нивелир; линия  $AB_I$  – уровенная поверхность точки  $A$ ;  $H_A$  - абсолютная отметка точки  $A$  (т. е. высота ее над средней уровенной поверхностью, соответствующей среднему уровню Балтийского моря);  $h$  - превышение точки  $B$  над точкой  $A$ ;  $a$  и  $b$  - соответственно взгляд (отсчет) на заднюю рейку – «назад» и на переднюю – «вперед».

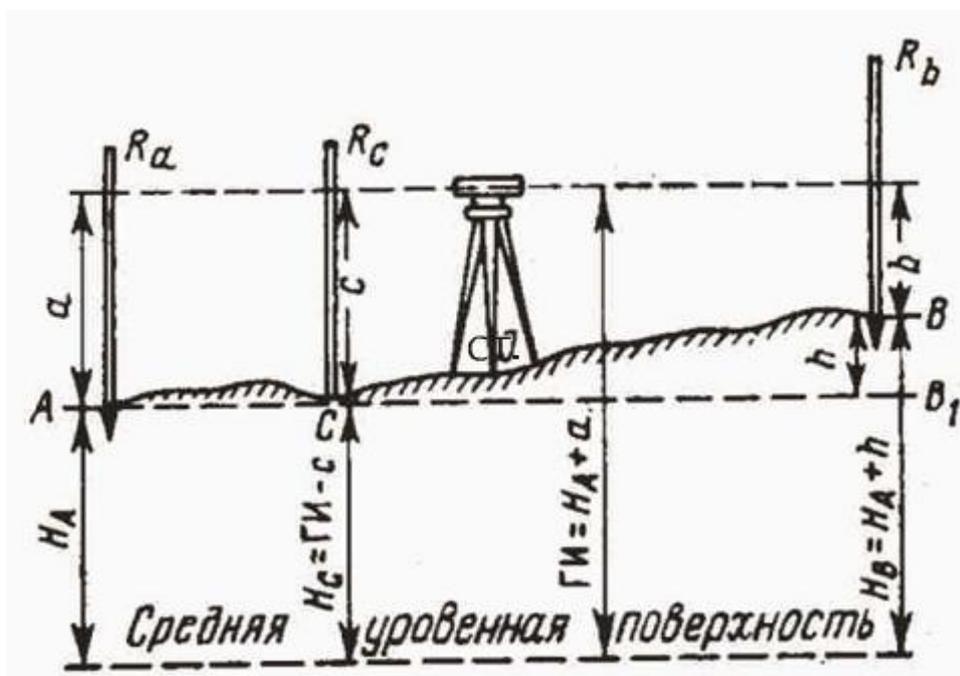


Рисунок 31– Схема геометрического нивелирования

Из рисунка 31 следует, что

$$b + h = a,$$

отсюда

$$h = a - b,$$

т. е. при нивелировании из середины превышение равно «отсчёту назад» минус «отсчёт вперед». Если при этом «отсчет назад» больше «отсчета вперед» ( $a > b$ ), то превышение  $h$  положительно, т.е. точка  $B$  выше точки  $A$ , если же «отсчет назад» меньше «отсчета вперед» ( $a < b$ ), то превышение  $h$  отрицательно, т.е. точка  $B$  ниже точки  $A$ .

Зная отметку  $H_A$  точки  $A$  и превышение  $h$ , определяем отметку точки  $B$ :

$$H_B = H_A + h, \quad (36)$$

т.е. отметка передней точки равна отметке плюс превышение  $h$  между ними.

Высота визирного луча нивелира над уровнем моря называется *горизонтом прибора* и обозначается через ГП:

$$ГП = H_A + a = H_B + b. \quad (37)$$

Если установить рейку в какой-нибудь точке  $C$  и взять по ней отсчет  $c$ , то

$$H_C = ГП - c, \quad (38)$$

т.е. отметка любой точки равна горизонту прибора ГП минус отсчет по рейке, стоящей в данной точке.

*Последовательное нивелирование.* В тех случаях, когда с одной установки инструмента нельзя определять превышение между конечными точками, прибегают к последовательному нивелированию, т. е. расстояние между конечными точками разбивают на ряд равных отрезков, допускающих простое нивелирование их концов. Определяя последовательно превышения между этими связующими точками и суммируя их, получают превышение между начальной  $A$  и конечной  $B$  точками как алгебраическую сумму превышений между связующими точками (рисунок 32).

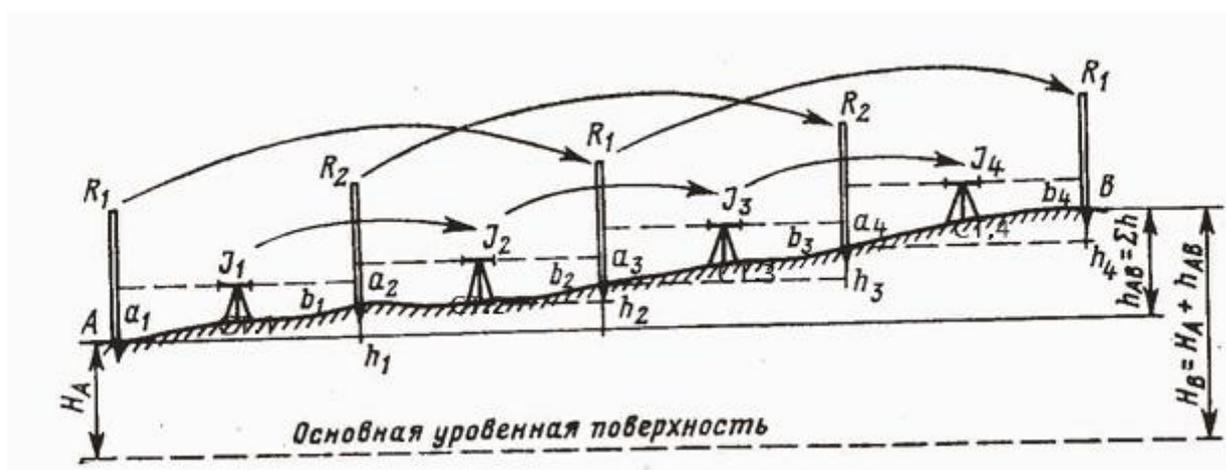


Рисунок 32– Схема сложного нивелирования

Связующими называют точки, общие для двух смежных установок нивелира.

Следовательно, превышение  $h_{AB}$  между конечными точками  $A$  и  $B$

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) + \dots + (a_n - b_n);$$
$$h_{AB} = \sum_1^n h = \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (39)$$

Вычисляя превышение  $h_{AB}$  между конечными точками  $A$  и  $B$  зная отметку начальной точки  $H_A$ , находят отметку конечной точки

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (40)$$

Итак, при последовательном нивелировании превышение между конечными точками равно сумме «отсчетов назад»  $\left(\sum_1^n a\right)$  минус сумма «отсчетов вперед»  $\left(\sum_1^n b\right)$ .

Последовательное нивелирование по линии местности между удаленными точками с целью передачи отметки называется *продольным нивелированием*, или нивелирным ходом.

Результаты нивелирования заносятся в журнал нивелирования.

Таблица 6– Журнал нивелирования

№ станции	№ точек наблюдения	Отсчеты по рейкам			Вычисленные превышения, м			Н	Н, г.и	Н, м
		Задняя а	Передняя b	промежуточный v	+h, м	-h, м	h <sub>ср</sub> , м			
1	Pn – 40	1040 <u>5724</u> 4684			0530 0529		0530			
	T-1			1268						
	T-2		0510 <u>5195</u> 4685							

### Контрольные вопросы

#### 5 Нивелирование

5.1 Геометрическое нивелирование.

5.2 Нивелиры и их поверки.

5.3 Нивелирные рейки.

5.4 Инженерно-техническое нивелирование.

5.5 Камеральная обработка полевых измерений.

5.6 Расчет Нги горизонта инструмента.

## 2.6 Лабораторная №6– Оценка результатов геодезических измерений

### 2.6.1 Характеристика точности. Термины и определения

Расчетные размеры элементов конструкций выбирают на основе конструктивного расчета в зависимости от назначения сооружения. Эти расчетные размеры называют проектными или номинальными размерами  $X_0$ .

Размеры конструкций или сооружений в целом, полученные в результате их изготовления, выноса в натуру и монтажа, называют действительными размерами  $x_i$ .

Степень приближения действительных размеров к номинальным называются геометрической точностью. Точность каждого отдельно взятого размера характеризуется величиной действительного отклонения  $\delta_i$  (рисунок 33). Действительное отклонение представляет собой количественное выражение систематических и случайных погрешностей, накопленных при выполнении технологических операций и измерений. Его определяют по формуле:

$$\delta_i = x_i - x_0 \quad (41)$$

Точность совокупности одноименных размеров характеризуется статистическими показателями рассеяния действительных размеров  $x_i$ , причем вероятность проявления в этой совокупности каждого из размеров описывается, как правило, законом нормального распределения.

К характеристикам действительной точности всей совокупности  $N$  одноименных действительных размеров  $x_i$  относят (рисунок 33 б):

- генеральное среднее  $\alpha$ ;
- координату центра группирования  $\beta$  действительных отклонений относительно номинального размера;

- среднее квадратическое отклонение  $m$ .

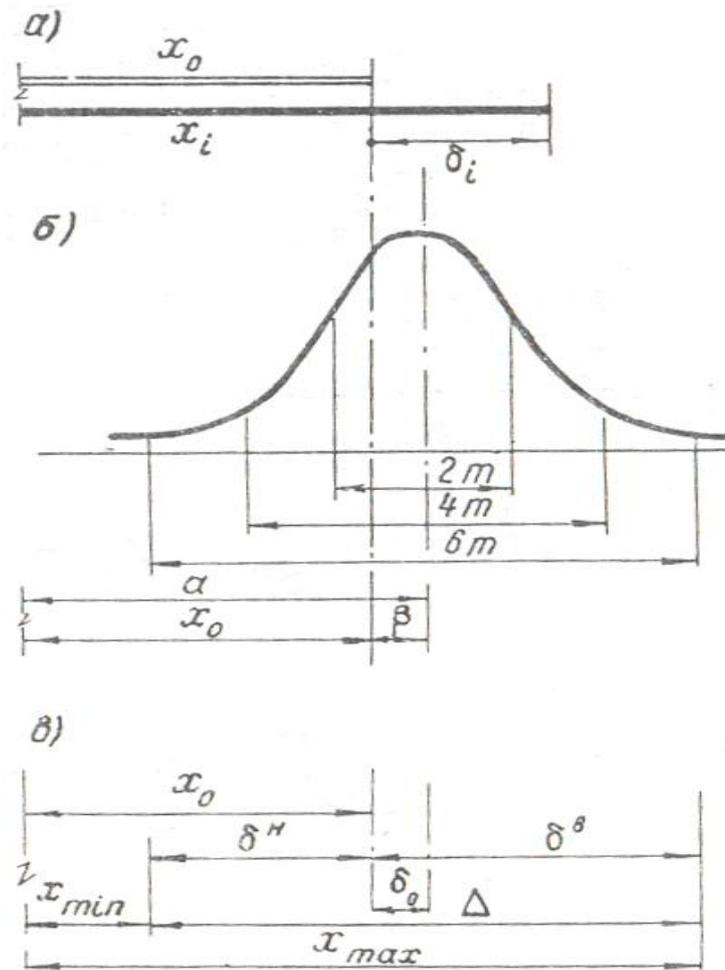


Рисунок 33 – Характеристики точности

Генеральным средним называют среднеарифметическое из действительных размеров. Координата центра группирования— это среднеарифметическое значение действительных отклонений от номинального размера в рассматриваемой совокупности. Величины  $\alpha$  и  $\beta$  количественно характеризуют систематическую погрешность, а  $m$  — поле рассеяния действительных размеров в результате случайных погрешностей.

Действительный размер может отличаться от номинального, как в большую, так и в меньшую сторону. Действительные отклонения в стандартах, строительных нормах и правилах, на рабочих чертежах характеризуется наибольшим и наименьшими предельными размерами  $x_{max}$  и  $x_{min}$ , верхним и

нижним предельными отклонениями  $\delta^B$  и  $\delta^H$ , допуском  $\Delta$  и координатой середины поля допуска  $\delta_0$ .

Допуском размера (или положения элемента сооружения) называют разность (или зону) между наибольшим  $\chi_{max}$  и наименьшим  $\chi_{min}$  предельными размерами (или положениями). Поле допуска – это интервал размеров, ограниченный верхним и нижним предельными отклонениями. Координатой середины поля допуска называют расстояние от номинального размера до середины поля допуска. Предельные отклонения и координата середины поля допуска по закону могут быть как положительными, так и отрицательными. Допуск является положительной величиной.

Формулы взаимосвязи между рассмотренными характеристиками следующие:

$$\left. \begin{aligned} \delta^B &= \chi_{max} - \chi_0; \\ \delta^H &= \chi_{min} - \chi_0; \\ \delta_0 &= \frac{\delta^B + \delta^H}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

$$\Delta = \chi_{max} - \chi_{min} = \delta^B - \delta^H. \quad (43)$$

Точность назначают, как правило, в виде симметричных (при  $\delta_0=0$ ) предельных отклонений,  $\delta^B$  и  $\delta^H$ , принимаемых равными по абсолютной величине половине значения соответствующего функционального или технологического допуска, взятого для расчета точности.

Функциональным допуском  $\Delta_\phi$  называют допуск, определяющий точность конструкций возводимого сооружения из условий обеспечения, предъявляемых к ним функциональных требований. Функциональными допусками регламентируется точность размеров в узлах сопряжений и точность положения элементов в конструкциях.

Технологическим допуском  $\Delta_T$  называют допуск, определяющий точность выполнения отдельных технологических процессов операций. Этими допусками регламентируется точность изготовления и установки

конструктивных элементов, а также точность выполнения разбивочных геодезических работ.

Геодезический контроль точности выполнения строительно-монтажных работ производится в соответствии с системой технологических допусков, устанавливаемых стандартами, СНиПами и назначаемых на основе расчета точности конструкций зданий и других сооружений.

Оценить точность каких-либо измерений – это значит определить на основе полученных результатов сравнимые числовые (количественные) характеристики, выражающие качественную сторону самих измерений и условий их проведения. Количественные характеристики измерений или критерии оценки точности измерений устанавливаются теорией вероятности и теорией ошибок (в частности, способом наименьших квадратов). Согласно этим теориям оценка точности результатов измерений производится только по случайным ошибкам.

Показателями точности измерений могут служить:

- средняя квадратическая ошибка измерений;
- относительная ошибка измерений;
- предельная ошибка измерений.

### **3 Литература, рекомендуемая для выполнения лабораторных работ**

1 Федотов, Г. А. Инженерная геодезия [Текст] : учебник / Г. А. Федотов. - М. : Высш. шк., 2002. - 463 с. : ил. - ISBN 5-06-004156-5.(30э.)

2 Инженерная геодезия [Текст] : учеб. для вузов / под ред. Д. Ш. Михелева.- 2-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2001. - 464 с. : ил - ISBN 5-06-004176-X. ((21э)

3 Симонян, В. В. Геодезия [Текст] : сборник задач и упражнений / В. В. Симонян, О. Ф. Кузнецов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т.- 2-е изд., испр. - Москва : НИУ МГСУ, 2016. -

160 с. : ил. - Библиогр.: с. 142. - Прил.: с. 143-155. - ISBN 978-5-7264-1242-9.  
(34э.)

4 Артамонова, С. В. Учебная геодезическая практика [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 270800.62 Строительство / С. В. Артамонова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2.37 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2012. - 122 с. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 - ISBN 978-5-4417-0135-8.

5 Кузнецов, О. Ф. Основы геодезии и топография местности [Электронный ресурс]: учеб. пособие / О. Ф. Кузнецов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 9.91 Мб). - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2007. - 309 с. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 5.0.