

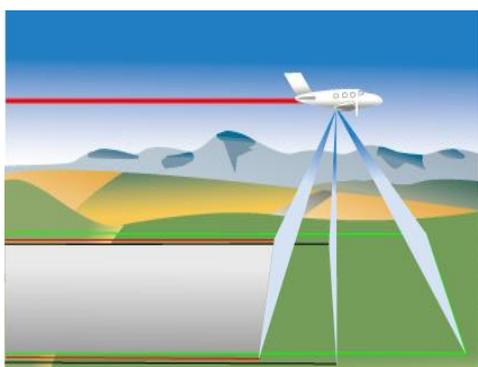
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

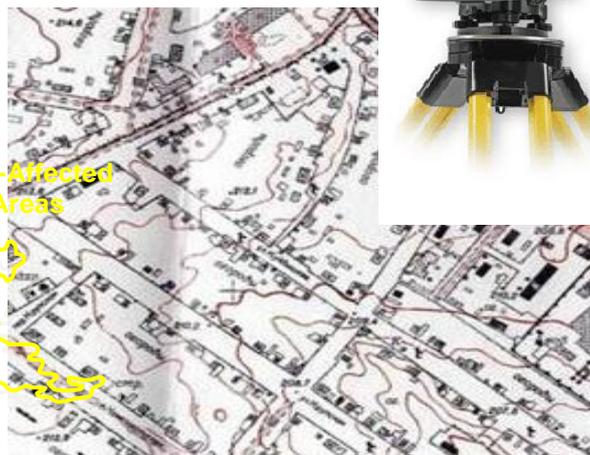
Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

## РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

заданий и методических указаний  
для выполнения лабораторных работ  
по дисциплине «Топография и основы геодезии»  
для специальности «Природоохранная деятельность»  
(издание 3-е, переработанное)



факультет инженерных систем и экологии  
группа \_\_\_\_\_  
Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
Тел. \_\_\_\_\_



2.44 m Multispectral

УДК 528.4(075.8)

Рассмотрены задания и даны рекомендации для выполнения лабораторных и расчетно-графических работ по дисциплине «Топография и основы геодезии». Издание предназначено для студентов 1-го курса специальности 1-33 01 07 «Природоохранная деятельность».

**Составители:** С. Н. Кандыбо, к. т. н., доцент  
Л.Ф. Зуева, к. т. н., доцент

**Рецензенты:** Н. Н. Шешко, к. т. н., доцент кафедры природообустройства УО «БрГТУ»,  
П. В. Другаков, к. т. н., заведующий кафедрой геодезии и фотограмметрии УО «БГСХА»

### Общие указания по ведению тетради

При выполнении полевых измерений, при вычислениях и графических работах внимание обращают на аккуратность записей и четкость вычерчивания. Все вычисления оформляют шариковой и др. ручками, а чертежи – черным цветом.

При выполнении лабораторных работ результаты измерений и вычислений заносятся в журналы и ведомости по формам, принятым в специализированных производственных организациях. При записи результатов геодезических измерений в журналах и таблицах необходимо соблюдать следующие правила:

- ведение записей выполняется четко и разборчиво шариковой либо гелевой ручкой;
- неправильные (ошибочные) записи в журналах должны быть аккуратно зачеркнуты таким образом, чтобы зачеркиваемые результаты оставались полностью читаемыми. Выполняются повторные измерения;
- записи результатов полевых измерений производятся в строго отведенных формой журнале графах и строках. При этом в одной строке и графе можно записывать только один результат измерений. Повторные (верные) результаты измерений необходимо записывать в нижеследующих строках журнала;
- **запрещается исправлять результаты геодезических измерений, а также запись «цифра по цифре и подчистка.**

Все результаты вычислений и измерений должны иметь принятую размерность (единицы измерений) и необходимую точность вычислений. Все результаты измерений, выполненных с одинаковой точностью, записываются с одинаковым числом знаков после запятой. В угловых измерениях целые значения минут записываются двузначным числом –  $123^{\circ}06,5'$ . Точность результатов вычислений не может быть выше (лучше) точности измерений.

При записях результатов измерений или при действиях с числами часто прибегают к округлению чисел.

#### **Правила округления:**

1. Если округляемая цифра меньше 0,5 единицы последнего знака, то её отбрасывают. Например, число 12,34 с точностью до 0,1 следует записать 12,3.
2. Если округляемая цифра больше 0,5 единицы последнего знака, то число увеличивается на единицу. Например, число 12,36 с точностью до 0,1 следует записать 12,4.
3. Если в числе округляемая цифра 5, то её округляют до четной цифры. Например, число 12,36 с точностью до 0,1 следует записать 12,4, а если округляемое число 12,45, то его следует записать 12,4.

#### **Вычисление на калькуляторе тригонометрических функций.**

Выполняем в следующей последовательности:

- устанавливаем единицу угловых измерений градусы (degree) (DEG);
- набираем минутные значения угла и переводим в десятичные доли градуса;
- к результату прибавляем целые значения градусов;
- вводим необходимую тригонометрическую функцию полученного угла в градусной мере.

**Пример:** вычисляем  $\sin \angle 8^{\circ}42,5'$ ;

- набираем на калькуляторе 42,5 и делим на 60, получаем 0,708 в градусной мере;
- к значению  $0,708^{\circ}$  прибавляем  $48^{\circ}$ , получаем  $48,708^{\circ}$ ;
- вводим функцию синуса –  $\sin \angle 48,708^{\circ}$ , получаем результат 0,751356.

Значение тригонометрических функций достаточно вычислять до шестого знака после запятой 0,000001.

## Лабораторная работа № 1 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ

### 1. Изучить масштабы: численный, именованный, линейный и поперечный

*Масштабом* плана называется отношение длины линии на плане к соответствующей длине горизонтального проложения этой линии на местности.

*Численный масштаб* выражается простой дробью, в числителе которой единица, а в знаменателе число, показывающее во сколько раз горизонтальное проложение линии местности уменьшено при нанесении на план (карту). Например, масштаб плана 1:1000 указывает, что горизонтальное проложение линии уменьшено на карте в 1000 раз, т. е. 1 см на плане соответствует 1000 см на горизонтальной проекции местности. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее считается масштаб, и наоборот.

*Именованный масштаб* представляет краткое словесное выражение численного масштаба и указывает, какая величина горизонтального проложения местности соответствует 1 см на плане (карте). Например, «в 1 сантиметре 10 метров».

*Точность масштаба* (графическая точность масштаба) – длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая 0,1 мм на плане.

#### а) Определить точность указанных в таблице масштабов

**Таблица 1 – Именованный масштаб и точность масштаба**

Численный масштаб	Именованный масштаб	Точность масштаба, м
1:10000		
1:5000		
1:2000		
1:1000		
1:500		

*Линейный масштаб* представляет собой графическое выражение численного и именованного масштабов в виде линии, разделенной на равные отрезки – основания. Левый из них *ab* делится на 10 равных частей (десятье доли).

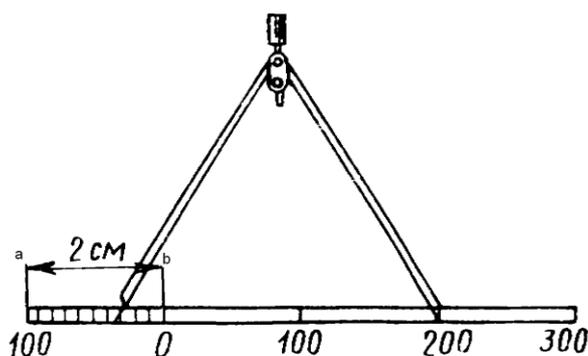
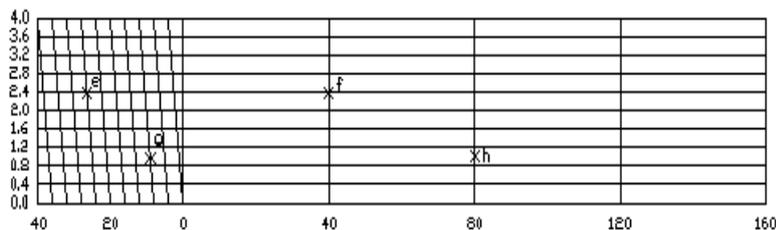


Рисунок 1 – Линейный масштаб 1:5000

*Линейный масштаб* удобнее использовать при измерении расстояний по карте. Деления линейного масштаба оцифрованы в метрах в соответствии с численным масштабом карты, для которой он построен.

На рисунке 1 показан линейный масштаб для плана масштаба 1:5000, основание масштаба равно 2 см. Измеренное расстояние равно:  $200 + 33 = 233,0$  м.

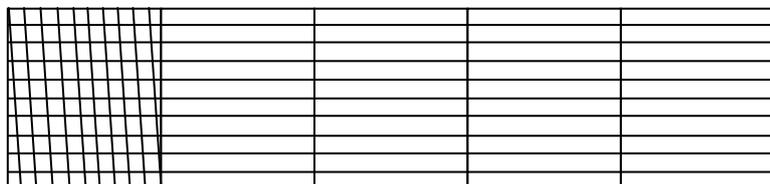
**Поперечный масштаб** обеспечивает более высокую точность измерения расстояний. Для построения поперечного масштаба на прямой линии откладывают последовательно несколько раз основание масштаба *a*, например равное 2 см. Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры и проводят горизонтальные линии, параллельные начальной прямой (рисунок 2). Левый крайний отрезок *AB* и верхний *A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>* делят на 10 равных частей, т. е. каждый отрезок будет равен **0,1a** и полученные точки соединяются наклонными линиями (трансверсалими). Деление вверх по трансверсали – соответствует сотой доли основания масштаба, т. е. **0,01a**. Основание масштаба также может быть равным 1, 2 (нормальный сотенный масштаб), 4 и 5 см.



Например, для масштаба 1:2000 основание масштаба  $a = 2$  см, что на местности соответствует 40 м; деление влево от нуля  $0,1a - 4$  м; деление вверх  $0,01a - 0,4$  м. Точность масштаба 0,2 м (1/2 меньшего деления). Тогда длина отрезка  $ef = 70,4$  м,  $gh = 88,0$  м.

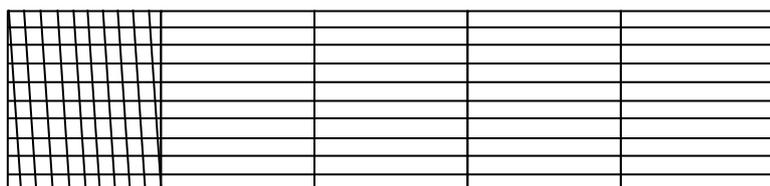
Рисунок 2 – Оцифровка номограммы для масштаба 1:2000

б) подписать номограмму поперечного масштаба в соответствии с численным масштабом 1:500 и 1:10000.



Основание масштаба \_\_\_\_\_  
 Десятые доли основания \_\_\_\_\_  
 Сотые доли основания \_\_\_\_\_  
 Отложить расстояние  
 $AB = 35,25$  м  
 $CD = 7,85$  м  
 $KL =$

Рисунок 3 – Поперечный масштаб 1:500



Основание масштаба \_\_\_\_\_  
 Десятые доли основания \_\_\_\_\_  
 Сотые доли основания \_\_\_\_\_  
 Отложить расстояние  
 $AB = 486$  м  
 $CD = 791$  м  
 Отложить расстояние  
 $KL =$

Рисунок 4 – Поперечный масштаб 1:10000

## 2. Определить координаты точек местности на плане и карте

а) определить плоские прямоугольные координаты точек на топографическом плане масштаба 1:500 и записать в таблицу 2. На плане ось абсцисс  $X$  направлена на север, ось ординат  $Y$  направлена на восток – перпендикулярно оси  $X$ . Координатная сетка на топографическом плане любого масштаба имеет размер 10x10 см. Координаты  $X, Y$  (в метрах) записаны в углах плана в местной системе координат.

Для определения координат точки  $A$  пользуясь координатной сеткой, определяют координаты  $X_0$  и  $Y_0$  юго-западного угла квадрата, в котором находится точка  $A$  (координаты  $X_0$  и  $Y_0$  кратны 50 метрам для плана масштаба 1:500). Опускают перпендикуляры  $\Delta x$  и  $\Delta y$  на оси координат и измеряют отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , пользуясь поперечным масштабом. Вычисляют прямоугольные координаты определяемой точки  $A$  по формулам

$$X_A = X_0 + \Delta x; Y_A = Y_0 + \Delta y.$$

Таблица 2 – Координаты точек на топографическом плане

Наименование точки	$X_0, м$	$\Delta x, м$	$x, м$	$Y_0, м$	$\Delta y, м$	$y, м$

б) по учебной карте У–34–37–В–в–4 масштаба 1:10000 определить географические и прямоугольные координаты точки в системе координат Гаусса – Крюгера. Результаты записать в таблицу 3.  
**Определение плоских прямоугольных координат.**

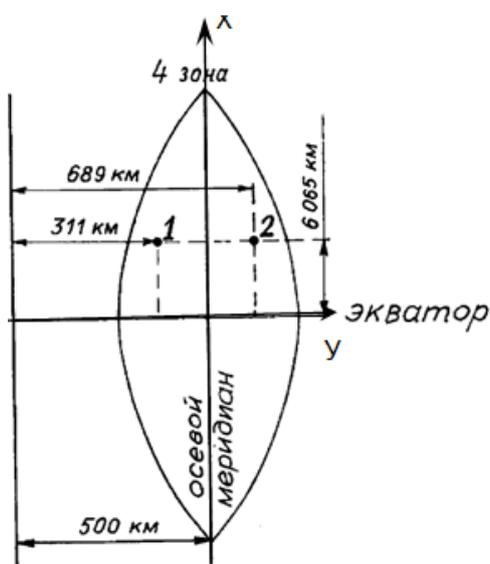


Рисунок 5 – Преобразованные ординаты в проекции Гаусса-Крюгера

В проекции Гаусса – Крюгера каждая из 60 зон изображается на плоскости независимо от остальных зон и имеет самостоятельную систему прямоугольных координат. Начало координат находится в точке пересечения экватора с осевым меридианом зоны. Положение точки на плоскости определяется плоскими прямоугольными координатами  $X$  и  $Y$  (рисунок 5). Во избежание отрицательного значения ординат к началу ординат каждой геодезической зоны в проекции Гаусса – Крюгера добавляют 500 км, т. е. начало координат будет:  $X_0 = 0$ ;  $Y_0 = 500$  км. Тогда ординаты, расположенные к западу от осевого меридиана, будут иметь значения меньше 500 км, а расположенные к востоку – значения больше 500 км. Такие ординаты называются *преобразованными или приведенными*. Чтобы определить, в какой зоне находится данная точка, перед сотнями км в значении  $Y$  указывают номер зоны.

Например, согласно рисунку 5, точка 2 имеет ординату  $y_2 = 4689$  км. Следовательно, она расположена в 4 зоне на расстоянии 189 км к востоку от осевого меридиана зоны ( $689 - 500 = 189$  км). Точка 1 имеет ординату  $y_1 = 4311$  км и находится в этой же зоне на расстоянии 189 км к западу от осевого меридиана зоны ( $311 - 500 = -189$  км).

Для определения прямоугольных координат по топографической карте за оси координат принимают ближайšie линии километровой сетки, опускают на них из определяемой точки перпендикуляры  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Например, для определения координат точки  $Q$  (рисунок 6) определяют координаты юго-западного угла квадрата, в котором находится точка:  $X_0 = 6068$  км;  $Y_0 = 4313$  км. Здесь следует помнить, что цифра 4 перед ординатой обозначает номер зоны, в которой расположена точка. Далее измеряют отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , пользуясь поперечным масштабом, и вычисляют прямоугольные координаты определяемой точки  $Q$ .

$$X_Q = X_0 + \Delta x = 6068000 + 458 = 6068458 \text{ м};$$

$$Y_Q = Y_0 + \Delta y = 4313000 + 412 = 4313412 \text{ м}.$$

Истинная ордината точки  $Q$  равна:  $Y_{ист} = Y - 500000 = 313412 - 500000 = -186588 \text{ м}$ .

#### Определение географических координат

В системе **географических координат** положение точки определяется географической широтой  $\phi$  и географической долготой  $\lambda$ . Для определения географических координат объектов используют подписи широты и долготы углов внутренней рамки и минутные отрезки, которые точками разделены на 6 частей и соответствуют длине дуги меридиана или параллели в  $10''$ .

**Определение географических координат** выполняют, восстанавливая перпендикуляры на минутную рамку карты. Например, на рисунке 6 географические координаты точки  $P$ :

широта  $\phi = 54^\circ 41' 17''$  и

долгота  $\lambda = 18^\circ 05' 25''$

Таблица 3 – Координаты точек на топографической карте  
У–34–37–В–в–4

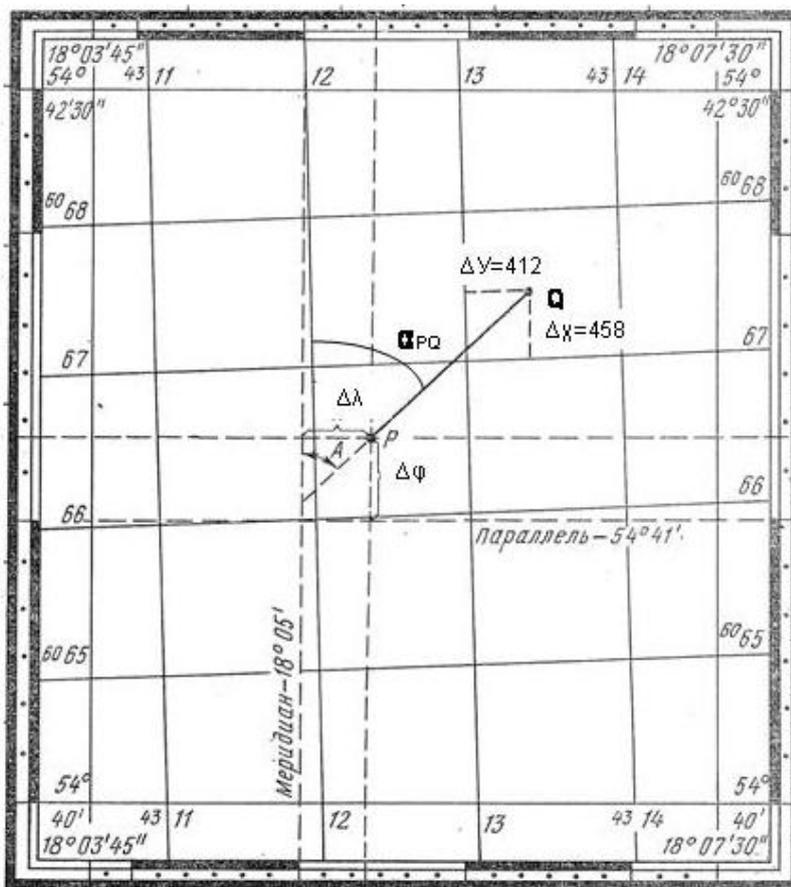


Рисунок 6 – Схема определения на карте прямоугольных и географических координат точек

Название точек		
X <sub>0</sub> , км		
№ зоны (число, которое записывается перед сотнями километров в ординате)		
Y <sub>0</sub> , км		
Δx, м		
Δy, м		
x, м		
y, м		
истинная ордината y <sub>ист</sub> = y - 500 000, м		
φ, ° ' "		
λ, ° ' "		

3. Изучить ориентирные углы, применяемые в геодезии. Измерить на карте масштаба 1: 10 000 с помощью геодезического транспортира дирекционный угол линии, вычислить дирекционный угол обратного направления, румб, истинный и магнитный азимуты. Результаты записать в таблицу 5.

**Дирекционный угол**  $\alpha$  – это угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до заданного направления. На картах линии километровой сетки параллельны осевому меридиану зоны. Поэтому дирекционный угол измеряют транспортиром от северного направления линий километровой сетки по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Дирекционный угол обратного направления вычисляют по формуле

$$\alpha_{обп} = \alpha_{np} \pm 180^\circ.$$

**Румб** – острый горизонтальный угол между ближайший (северным или южным) направлением осевого меридиана и заданным направлением (рисунок 7). В записи румба перед угловым значением указывают название четверти, например СЗ: 20°45'. Для нахождения румба искомого направления определяют четверть и название румба, и выполняют вычисления, используя формулы связи дирекционных углов и румбов, приведенные в таблице 4.

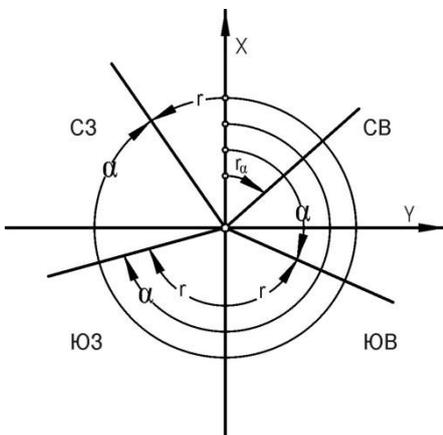


Рисунок 7 – Связь дирекционных углов и румбов

**Таблица 4 – Вычисление румбов. Знаки приращений координат**

Четверти	Знаки приращений		Значения $\alpha$	Формулы вычисления румбов	Формулы для вычисления дирекционных углов
	$\Delta x$	$\Delta y$			
1	2	3	4	5	6
СВ	+	+	$0^\circ - 90^\circ$	$r = \alpha$	$\alpha = r$
ЮВ	-	+	$90^\circ - 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$	$\alpha = 180^\circ - r$
ЮЗ	-	-	$180^\circ - 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ + r$
СЗ	+	-	$270^\circ - 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$	$\alpha = 360^\circ - r$

**Истинный азимут**  $A$  отсчитывается от северного направления истинного (географического) меридиана по ходу часовой стрелки и отличается от дирекционного угла  $\alpha$  на величину  $\gamma$  – сближение меридианов, т. е. на величину угла между географическим меридианом и линией километровой сетки (осевым меридианом зоны). Формула связи дирекционного угла и истинного азимута:  $A = \alpha + (\pm\gamma)$ .

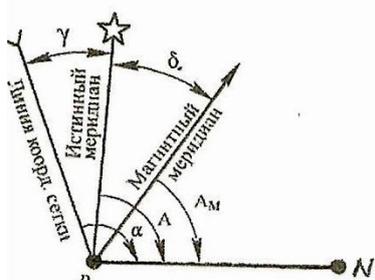
Если осевой меридиан зоны отклоняется к востоку от истинного меридиана, то сближение меридианов считается положительным (знак плюс), если осевой меридиан зоны отклоняется к западу – сближение меридианов отрицательное (знак минус).

**Магнитный азимут**  $A_m$  отсчитывается от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки. Магнитная стрелка (компаса или буссоли) отклоняется от истинного меридиана на величину  $\delta$  – склонение магнитной стрелки. Формула связи истинного и магнитного азимуты:  $A = A_m + (\pm\delta)$ .

Если магнитная стрелка отклоняется к востоку от истинного меридиана, то склонение магнитной стрелки считается положительным (знак плюс), если магнитная стрелка отклоняется к западу от истинного меридиана – склонение магнитной стрелки отрицательное (знак минус).

**Склонение магнитной стрелки  $\delta$  =                      Сближение меридианов  $\gamma$  =**

**Таблица 5 – Результаты измерений и вычислений ориентирных углов**

 <p>Рисунок 8 – Схема расположения меридианов на карте и определения ориентирных углов</p>	Формулы	Дирекционный угол $\alpha$ Обратный дирекционный угол	Румб $r$	Истинный азимут Магнитный азимут
	Наименование линии			

**Задача 2.** Измерен магнитный азимут линии АВ  $A_m =$  \_\_\_\_\_, сближение меридианов  $\gamma =$  \_\_\_\_\_, склонение магнитной стрелки  $\delta =$  \_\_\_\_\_. Вычислить истинный азимут и дирекционный угол, привести схему ориентирования.  
Решение.

**Схема ориентирования**

#### 4. Изучить систему разграфки и номенклатуры топографических карт

**Номенклатурой** называется буквенно-цифровое **обозначение** отдельных листов карт по определенной системе разграфки. В Республике Беларусь для топографических карт принята международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба земной шар делят меридианами и параллелями на колонны и ряды (поояса). Меридианы проводят через каждые  $6^\circ$ . Счет колонн ведут с запада на восток от 1 до 60, начиная от меридиана  $180^\circ$ . Колонны соответствуют разграфке на шестиградусные зоны, счет которых ведется от меридиана  $0^\circ$ . Поэтому в восточном полушарии номер зоны в проекции Гаусса-Крюгера равен номеру колонны, уменьшенному на 30, т. е. тридцать первой колонне соответствует первая зона (рисунок 9).

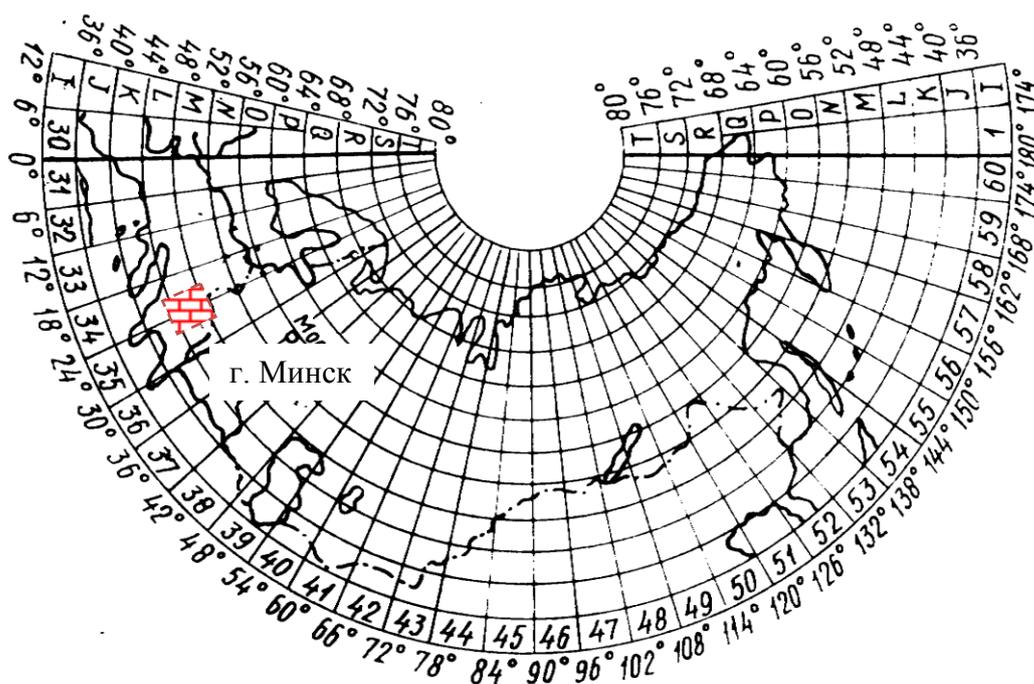


Рисунок 9 – Разграфка и номенклатура карт масштаба 1:1 000 000

Для получения рядов, начиная от экватора, в северном и южном полушариях проводят параллели через  $4^\circ$  по широте. Таким образом, в каждом полушарии будет 22 четырехградусных ряда и один двухградусный. Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита от А до V, начиная от экватора. Лист каждой топографической карты получают в виде трапеции.

Номенклатурное обозначение каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 складывается из буквенного обозначения ряда и номера колонны. Например, лист карты (трапеции), в пределах которого находится г. Минск, обозначен N – 35 (рисунок 9). В основу номенклатуры топографических карт более крупных масштабов положены листы карт масштаба 1:1 000 000. Рамки листов карты масштаба 1: 100 000 получают разграфкой параллелями и меридианами листа миллионной карты на 144 части (трапеции) – получают 12 рядов карт вдоль параллелей по широте и 12 листов в каждом – по долготу. Каждый лист нумеруется арабскими цифрами от 1 до 144 (рисунок 10а), его номенклатурное обозначение будет, например,

N – 35 – 87.

N – 35

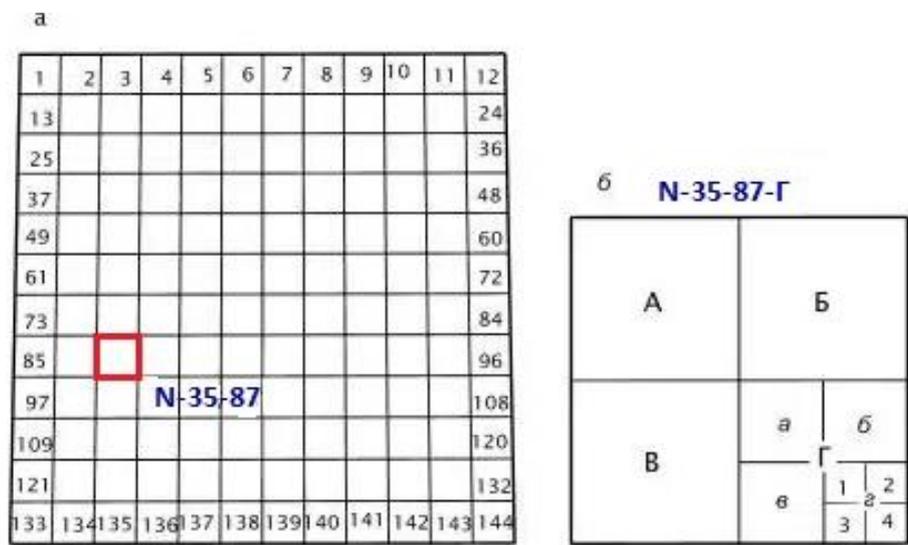


Рисунок 10 – Разграфка и номенклатура карт масштаба 1:100 000 -1:10000

За основу разграфки и номенклатуры более крупных масштабов принимается лист карты масштаба 1: 100 000 (рисунок 10б). Трапеция масштаба 1: 50 000 получается разграфкой листа карты 1: 100 000 на 4 части, каждую из которых обозначают заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, которые приписывают к номенклатуре трапеции масштаба 1:100 000 например: N – 35 – 87 – Г. Трапецию масштаба 1:25 000 получают разграфкой карты масштаба 1:50 000 на 4 части и обозначают строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, прибавляемыми к номенклатуре листа масштаба 1:50 000: N – 35– 87 – Г– г (рисунок 10б). Рамки листов карты масштаба 1:10 000 образуются разграфкой трапеции масштаба 1:25 000 на 4 части, каждая из которых обозначается арабскими цифрами от 1 до 4, прибавляемыми к номенклатуре листа карты масштаба 1:25 000. Например: N – 35– 87 – Г– г – 4 (рисунок 10б).

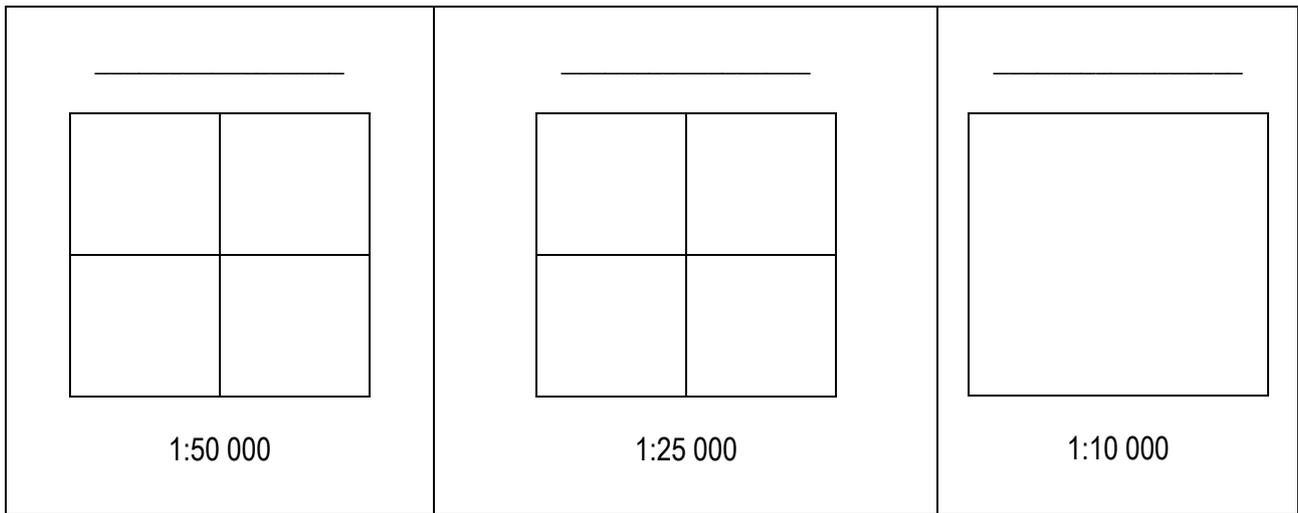
**а) Определить номенклатуру листа карты масштаба 1:10000, в пределах которого находится точка с заданными географическими координатами  $\varphi$  и  $\lambda$ .**

$\varphi =$  \_\_\_\_\_ и  $\lambda =$  \_\_\_\_\_.

1:100000											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13										23	24
25										35	36
37										47	48
49										59	60
61										71	72
73										83	84
85										95	96
97										10	10
										7	8
10										11	12
9										9	0
12										13	13
1										1	2
13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14
3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4

1:1 000000

По географическим координатам заданного пункта находим широту северной параллели того ряда и долготу восточного меридиана той колонны международной разграфки, в которой расположен лист карты масштаба 1:1 000 000, включавший в себя заданный пункт.



**б) Определить номенклатуру листов карт, прилегающих по рамкам трапеции листа заданного масштаба.**

Например, для того чтобы определить номенклатуру восьми листов карты масштаба 1:100 000, прилегающих к листу N-35-84, – лист 84 находится в 7 сверху ряду листов стотысячной карты на миллионном листе N-35. К нему прилегают листы N-35-72, N-35-71, N-35-83, N-35-96, N-35-95 (рисунок 10а). Справа от листа N-35-84 располагается лист карты масштаба 1:1000 000 N-36 и прилегающими листами будут N-36-73, N-36-61, N-36-85.

Определить номенклатуру листов карт, прилегающих по рамкам трапеции листа \_\_\_\_\_ масштаба \_\_\_\_\_.

**5. Ознакомиться с изображением рельефа на картах и планах и его численными характеристиками (отметкой, уклоном и углом наклона)**

**Рельефом** земной поверхности называется совокупность неровностей физической поверхности Земли. На топографических картах и планах рельеф изображают горизонталями и отметками высот.

**Горизонтالي** (изогипсы) – замкнутые кривые линии, соединяющие точки с одинаковой высотой над уровнем моря и в совокупности отображающие рельеф местности. Горизонтали бывают основные, утолщенные и полугоризонтالي. **Отметка** – это численное значение высоты точки земной поверхности в принятой системе высот.

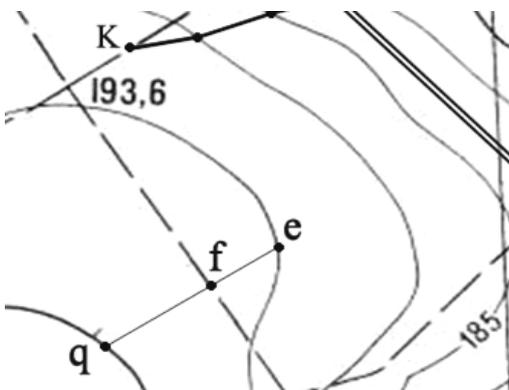


Рисунок 11 – Фрагмент топографической карты масштаба 1:25000 с высотой сечения рельефа 5 м

Рассмотрим определение отметки точки  $f$ , которая расположена между двумя соседними горизонталями. Точка  $e$  расположена на горизонтали с отметкой 195 м, а точка  $q$  – с отметкой 200 м, следовательно, для определения отметки точки  $f$  необходимо определить превышение  $\Delta h$  точки  $f$  над точкой  $e$ . Для этого проводят линию ската  $qe$  (кратчайшее расстояние между горизонталями) и измеряют ее длину  $eq = d$  и расстояние  $\Delta d = ef$  (можно в мм).

Превышение  $\Delta h$  вычисляют по формуле:  $\Delta h = \frac{\Delta d}{d} \cdot h$ ,

где  $d$  – заложение горизонталей;  $h$  – высота сечения рельефа;  $\Delta d$  – расстояние от меньшей горизонтали.

Тогда отметка точки  $f$  равна  $H_f = H_e + \Delta h$ .

а) Определить по топографической карте отметки точек А и В (заданных преподавателем), расположенной между двумя горизонталями, при высоте сечения  $h = \underline{\hspace{2cm}}$  м. Значения отметок в Балтийской системе высот записать в таблицу 6 с точностью 0,1 м.

Таблица 6 – Определение отметок точек

№ точки	Отметки горизонталей		Расстояния		$h, \text{ м}$	$\Delta h, \text{ м}$	Отметка точки $H, \text{ м}$
	$H_1, \text{ м}$ (меньше)	$H_2, \text{ м}$ (больше)	$d, \text{ мм}$	$\Delta d, \text{ мм}$			

б) Определить угол наклона и уклон линии, расположенной между соседними горизонталями. Результаты вычислений записать в таблицу 7.

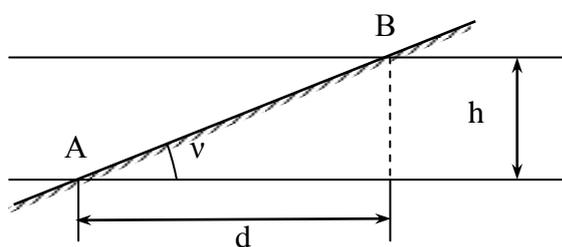


Рисунок 12 – Схема определения угла наклона и уклона местности

**Уклон  $i$**  – это тангенс угла наклона линии к горизонту или отношение превышения  $h$  между точками к горизонтальному проложению  $d$  в метрах на местности, т. е.

$$i_{AB} = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d} = \frac{H_B - H_A}{d_{AB}},$$

где  $v$  – угол наклона;  $h$  – превышение между концами отрезка;  $d$  – горизонтальное проложение отрезка.

Уклоны выражают в натуральных значениях тангенса угла наклона, в процентах (%) или в промилле (‰). Для определения уклона отрезка  $eq$  (рисунок 11) измеряют его длину на карте (27 мм) и определяют горизонтальное проложение на местности, учитывая масштаб карты  $d = 27 \text{ мм} \cdot 25000 = 675 \text{ м}$ . Так как точки расположены на соседних горизонталях, то превышение между точками равно высоте сечения рельефа,  $h = 5 \text{ м}$ , следовательно, уклон линии на данном участке составит  $i = 5 / 675 = 0,0074 = 0,074 \% = 7,4 \text{ ‰}$ . **Углы наклона** можно определять аналитически по формуле

$v = \arctg \frac{h}{d} = \arctg(i)$  или графически по графику заложений для углов наклона. Для многократного

определения углов наклона строят график заложений – график функции  $d = \frac{h}{\operatorname{tg} v}$ . График заложений

также строят для определения уклонов, используя формулу  $d = \frac{h}{i}$ .

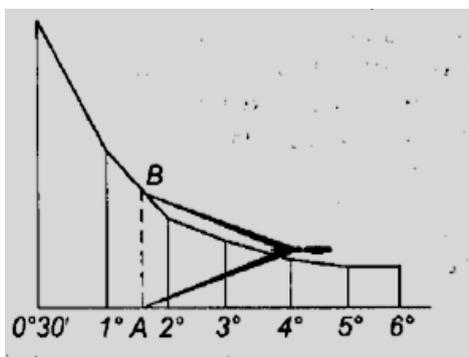


Рисунок 13 – Определения углов наклона по графику заложений

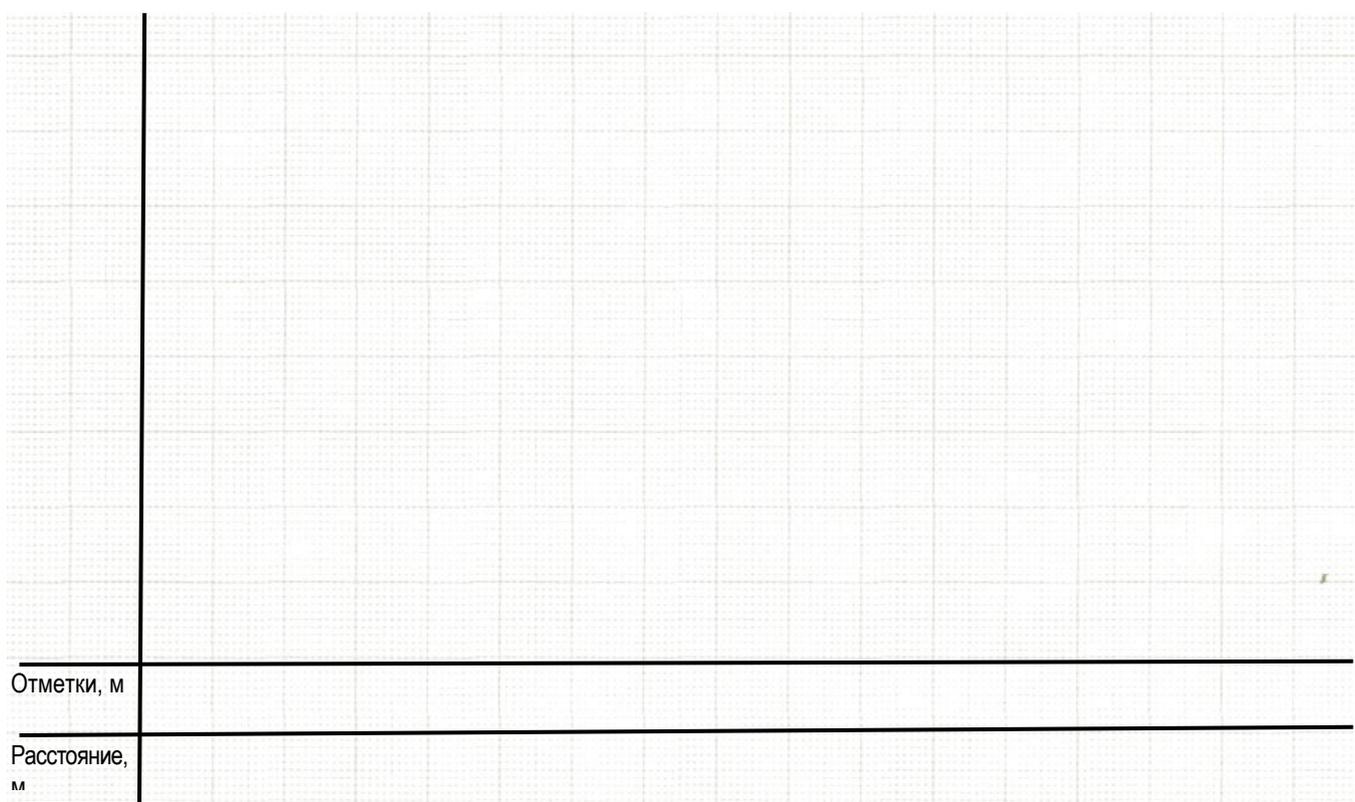
Под южной рамкой карты масштаба 1:10 000 расположен график заложений для углов наклона для высоты сечения  $h = 2,5 \text{ м}$ .

Для определения угла наклона на карте берут раствором циркуля отрезок, заключенный между двумя горизонталями, и переносят на график заложений, установив ножки измерителя между горизонтальной линией и кривой, и отсчитывают значение угла наклона с точностью до 0,1°. На рисунке 13 угол наклона составляет 1,6°.

**Таблица 7 – Определение уклона линии и угла наклона**

Высота сечения $h$ , м	Горизонтальное проложение, соответствующее заложению (на местности) $d$ , м	$tg \nu = \frac{h}{d} = i$	Угол наклона $\nu$ а) $\nu$ аналитически б) $\nu$ графически	Уклон $i$ а) натуральное число б) в процентах в) в промилле

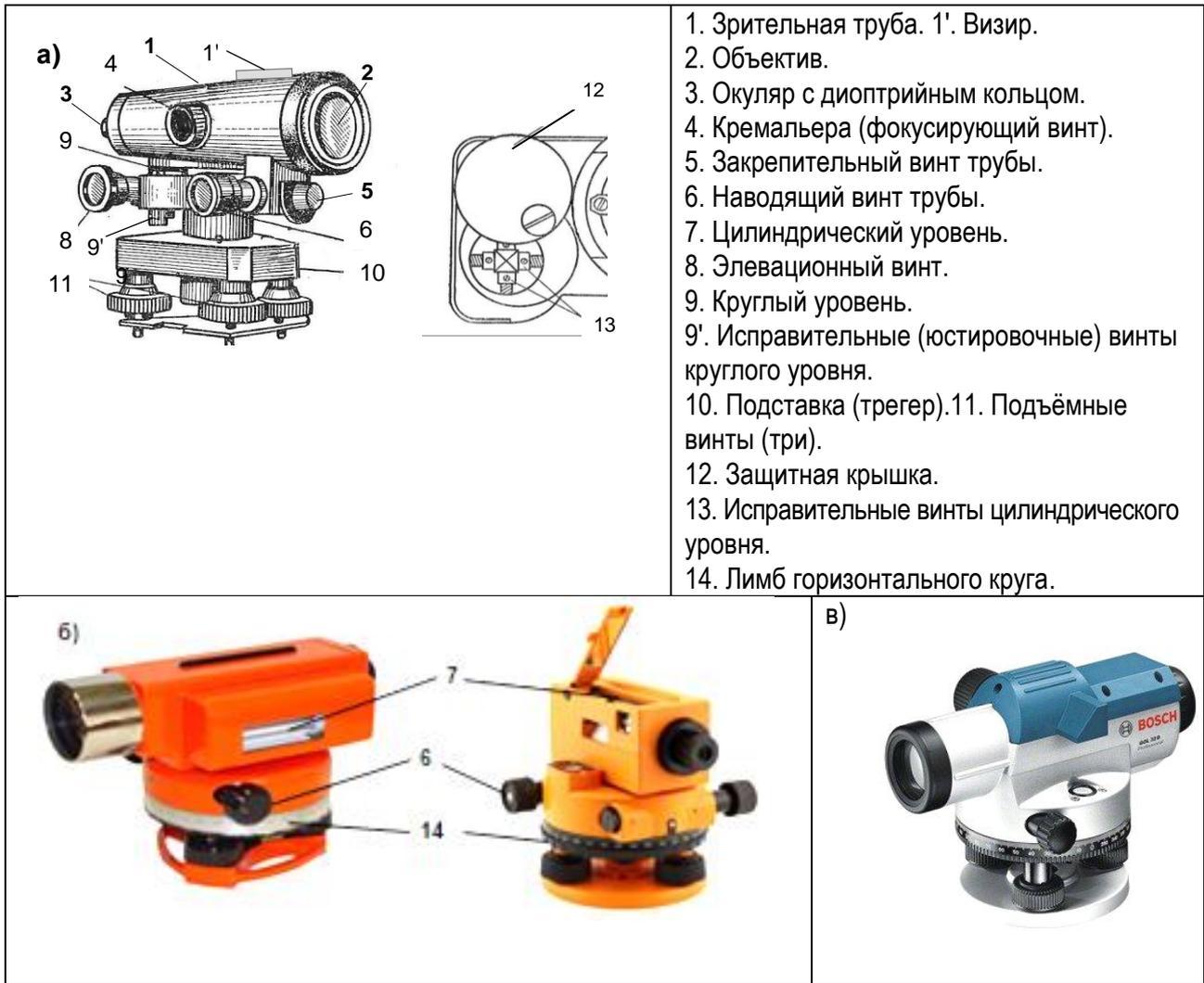
**6. Построить продольный профиль местности по направлению \_\_\_\_\_ (заданному преподавателем на карте) в масштабах: горизонтальный 1:10000, вертикальный 1: \_\_\_\_\_**



**Лабораторная работа № 2  
НИВЕЛИР**

**1. Изучить устройство нивелиров Н-3, Ни-3, 3Н-5Л и назначение их частей**

**Нивелир** – геодезический прибор, предназначенный для определения разности высот двух точек (превышений) при помощи горизонтального визирного луча и вертикально установленных в этих точках реек. **Нивелир Н-3** (рисунок 14а) относится к точным нивелирам с цилиндрическим уровнем. Подъемными винтами 11 по круглому уровню 9 нивелир приводят в рабочее положение. Перед началом наблюдений вращением диоптрийного кольца окуляра 3 добиваются четкого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). После грубого наведения на рейку положение зрительной трубы фиксируют закрепительным винтом 5, вращением кремальеры 4 добиваются четкого изображения рейки, а вращением наводящего винта 6 добиваются точного наведения на середину рейки. Перед каждым отсчетом по рейке визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение, добиваясь совмещения изображения концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения зрительной трубы путем вращения элевационного винта 8 (рисунок 14а).



а) нивелир Н-3; б) нивелир Ни-3 и 3Н-5Л в) нивелир с компенсатором

Рисунок 14 – Нивелиры

2. Привести нивелир в рабочее положение (по круглому уровню подъемными винтами) и научиться брать отсчеты по рейке. Зарисовать полученные отсчеты по черной стороне рейки (рисунок 15в).

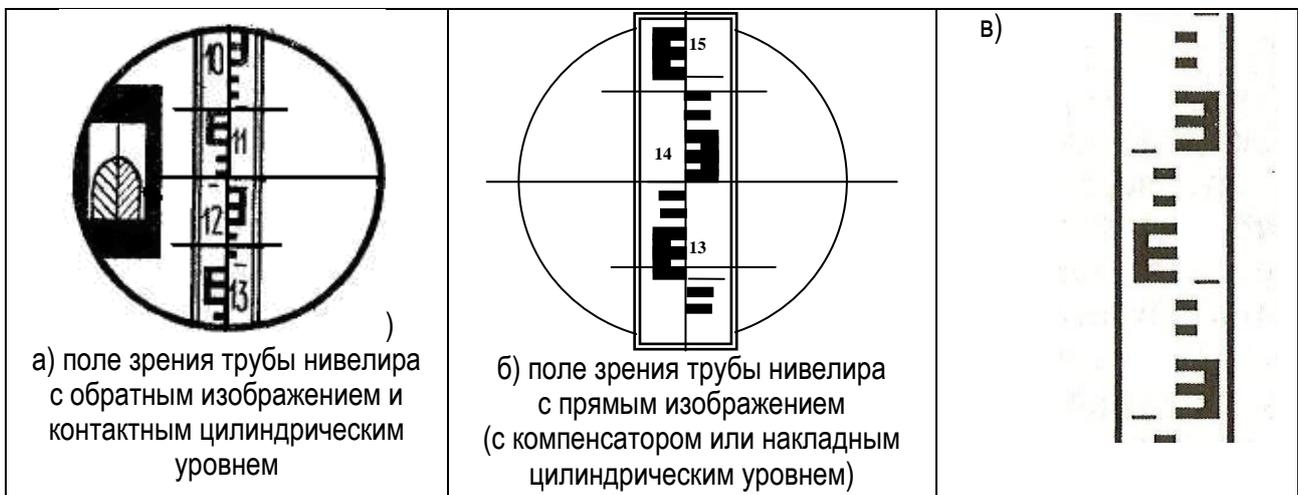


Рисунок 15 – Поле зрения трубы нивелиров

3. Снять по три отсчета по красной и черной сторонам рейки, определить разность нулей пятки (начальный отсчет красной стороны) и расстояние по нитяному дальномеру.

№ рейки	Отсчеты по рейке, мм		Разность нулей пятки (РО)
	Красная сторона	Черная сторона	
Верхняя нить			
Средняя нить			
Нижняя нить			
Расстояние по нитяному дальномеру, м			

Формулы для вычисления дальномерного расстояния и разности нулей пятки:

4. Рассмотреть геометрические условия нивелира, показать на рисунке оси нивелира. Выполнить поверки нивелира.

**Поверки** нивелира – обследование прибора, устанавливающее, удовлетворяет ли он геометрическим и конструктивным требованиям, соблюдение которых необходимо для приведения линии визирования (визирной оси зрительной трубы) в горизонтальное положение.

#### Основные оси нивелира

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 K-K – перпендикуляр к плоскости, касательной к нуль-пункту круглого уровня.

#### Поверки нивелира

1) Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Вывод:

2) Вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна, а горизонтальная нить перпендикулярна к оси вращения нивелира (*поверку выполнить по рейке, зарисовать отчеты*).

Вывод:

3) Главное условие: ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы либо для нивелиров с компенсатором – визирная ось должна быть горизонтальна.

Главное условие нивелира можно проверить двойным нивелированием «вперёд». Для этого на ровной местности на расстоянии примерно 75–80 м забивают колышки, на которые устанавливают нивелирные рейки. Нивелир вначале устанавливают вблизи одной рейки (6–8 м) и берут отсчеты по ближней рейке Б<sub>1</sub> и дальней Д<sub>1</sub>. Затем вблизи другой рейки и берут отсчеты по ближней рейке Б<sub>2</sub> и дальней Д<sub>2</sub>.

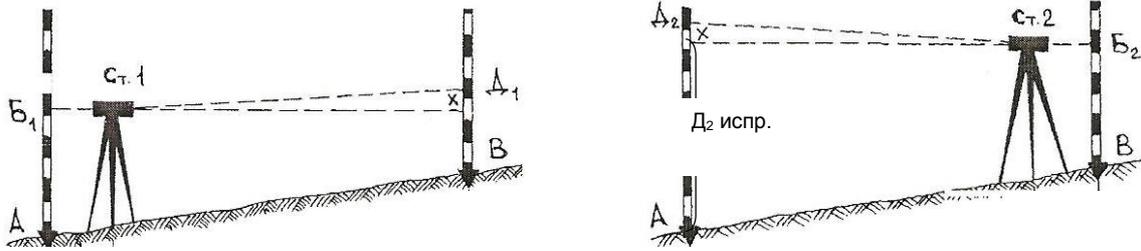


Рисунок 16 – Схема проверки главного условия нивелира

Таблица 8 – Определение не параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня

№ ст.	№ точки	рейка	Отсчеты по рейкам, мм			Вычисления
			черная	красная	контроль	
1	A	Б <sub>1</sub>				$X_ч = \frac{D_1 + D_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} = \text{..... мм}$ $X_к = \text{..... мм}$
	B	Д <sub>1</sub>				
2	B	Б <sub>2</sub>				$X_{cp} = \frac{X_ч + X_к}{2} = \text{..... мм}$ $D_2^{испр} = D_2 - X_{cp}$
	A	Д <sub>2</sub>				

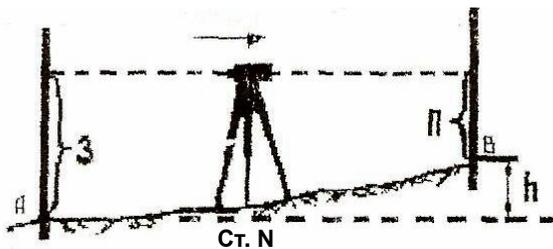
Допустимое значение: погрешность  $X_{cp}$ . не должна превышать  $\pm 5$  мм на 100 м расстояния.

Вывод: \_\_\_\_\_

**Юстировка:** элевационным винтом совмещаем среднюю нить с вычисленным черным отсчетом  $D_2^{испр}$ . и исправительными вертикальными винтами цилиндрического уровня приводим пузырек в нуль-пункт.

5. Измерить превышение между двумя точками способом: "из середины". Записать формулы для определения превышения  $h$  и отметки  $H_B$ . Показать на схеме результаты измерений и записать в журнал.

Журнал нивелирования



Исходная уровенная поверхность  
Рисунок 17 – Нивелирование «из середины»

Порядок наблюдения реек		Отсчеты, мм		Превышения, мм		Отметки, м
№ станции	№ точки	задний	передний	вычисл.	среднее	
		N (A-B)	A			
B						

Формулы:

Допуски на станции технического нивелирования:

---



---



---



---

6. Измерить превышение геометрическим нивелированием способом «вперёд» и вычислить отметку точки 2.

Формулы и вычисления:

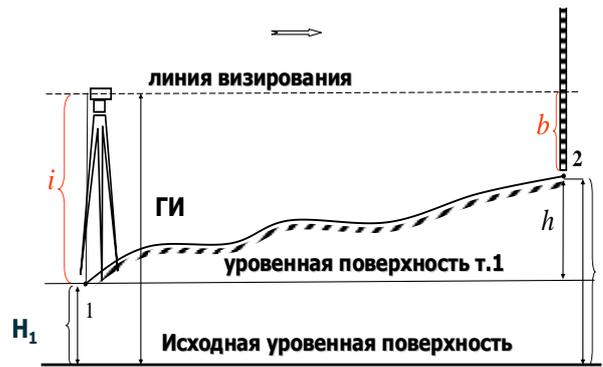


Рисунок 18 – Нивелирование «вперед»

Задача: Определить невязку и её допустимое значение в разомкнутом нивелирном ходе технической точности, если известны отметки начального и конечного репера  $H_H = \underline{\hspace{2cm}}$  м,  $H_K = \underline{\hspace{2cm}}$  м,  $\sum h_{cp} = \underline{\hspace{2cm}}$  мм.

Решение: \_\_\_\_\_

7. Выполнить нивелирование местности замкнутого хода их 3-х станций и вычислить отметки точек (отметка исходной точки задается преподавателем).

Отметка точки А: \_\_\_\_\_

Состав бригады: \_\_\_\_\_

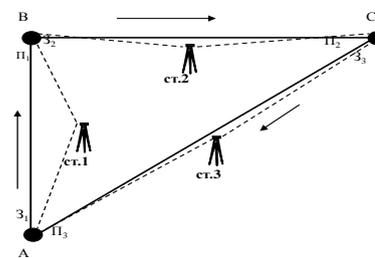


Рисунок 19 – Схема нивелирного хода

Журнал геометрического нивелирования нивелир №

Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейке, мм		Превышения, мм			Отметка точки H, м
		задний	передний	Вычисленное $h$	среднее $h_{cp}$ поправка	уравненное $h_{уравн}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	..... ..... .....					
	B		..... ..... .....				
2	B						
	C						
3	C						
	A						
Постраничный контроль							
Невязки $f_h =$		$\partial \text{on} f_h =$					

## Лабораторная работа № 3 ТЕОДОЛИТ

### 1. Изучить устройство теодолита, назначение и название его частей

Теодолит Т30, 2Т30 и его модификации предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний с использованием нитяного дальномера зрительной трубы, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли и для нивелирования горизонтальным лучом с помощью цилиндрического уровня при трубе.

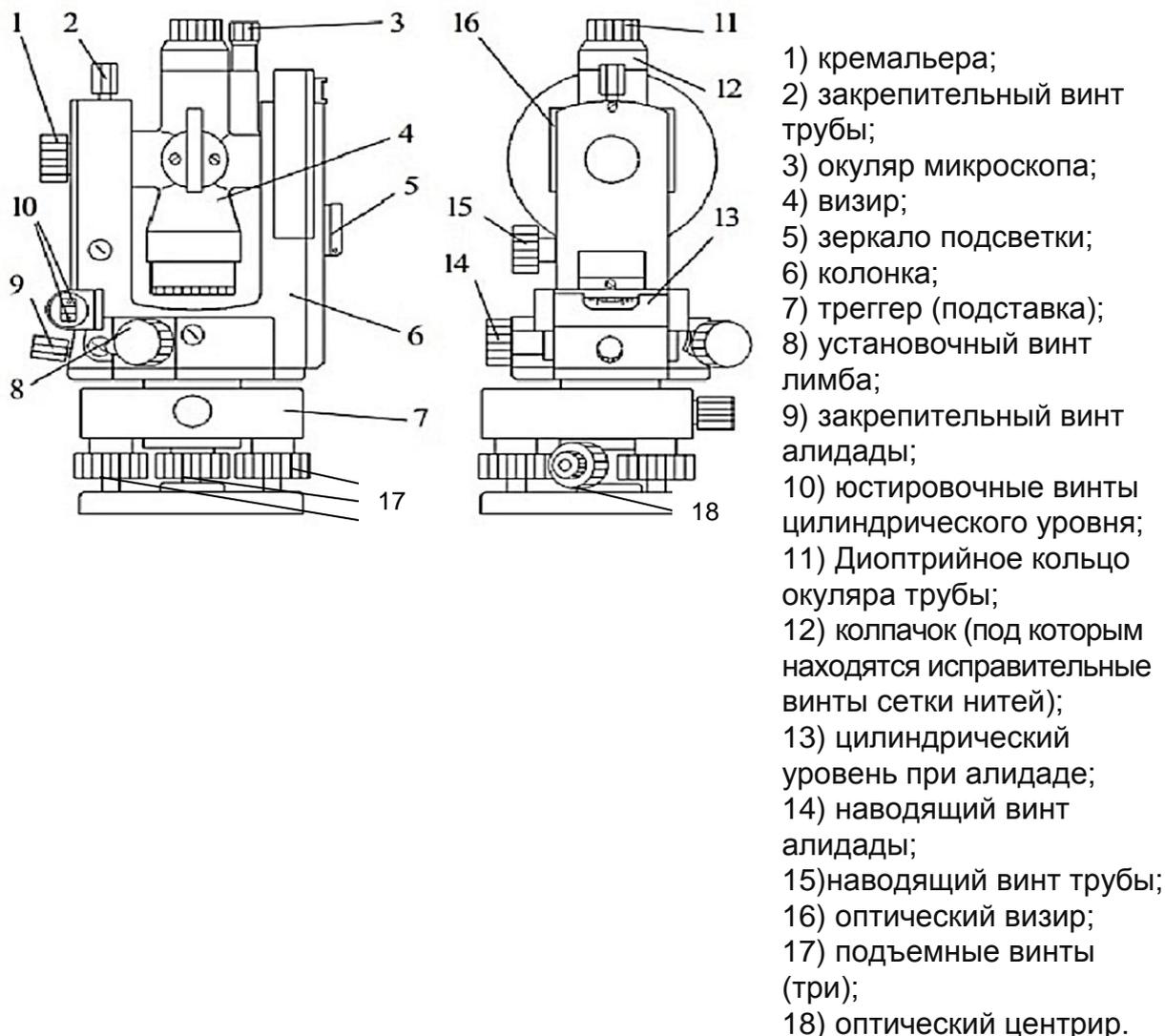
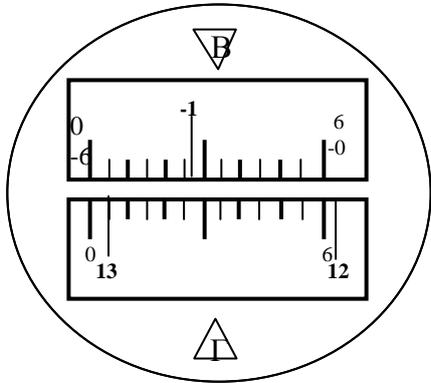


Рисунок – 20 Теодолит 4Т30

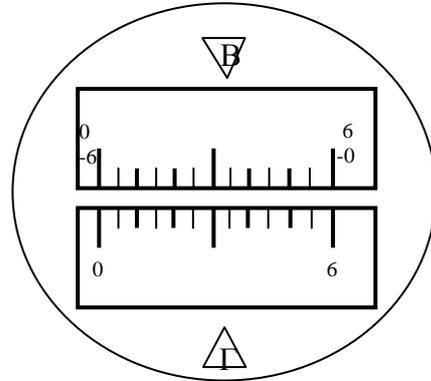
Теодолит приводится в рабочее положение (ось его вращения устанавливается в отвесное положение) подъемными винтами 17 (рисунок 20) подставки при помощи цилиндрического уровня 13. При зрительной трубе 4 имеется оптический визир 16 для наведения зрительной трубы на визирную цель (точку, веху, марку). Закрепительным винтом 2 труба фиксируется в заданном направлении. Вращением диоптрийного кольца 11 добиваются четкого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). Вращением кремальеры 1 фокусируют трубу, добиваясь четкого изображения визирной цели. В модификации теодолита 4Т30П имеется рукоятка для перестановки лимба 8 (установочный винт лимба). Для более точного центрирования над точкой местности (порядка 1–2 мм) теодолит может дополнительно оснащаться оптическим центриром 18.

2. Изучить отсчетное устройство (шкаловый микроскоп) теодолита 2Т30 и его модификаций, научиться брать отсчеты. При снятии отчётов помните, что минуты считают от нуля шкалы.

1 деление равно \_\_\_\_\_ Точность измерения горизонтального круга \_\_\_\_\_  
 Точность измерения вертикального круга \_\_\_\_\_



по вертикальному кругу:  $-1^{\circ} 33'$   
 по горизонтальному кругу:  $13^{\circ} 05'$



по вертикальному кругу: \_\_\_\_\_  
 по горизонтальному кругу: \_\_\_\_\_

3. Рассмотреть требования, предъявляемые к взаимному расположению осей теодолита (показать и подписать на рисунке основные оси теодолита).

**Основные оси теодолита**

**Взаимное расположение осей теодолита** должно соответствовать геометрическим условиям, вытекающим из принципа измерения горизонтальных углов.

К теодолиту предъявляются следующие требования:

- Ось цилиндрического уровня  $U - U$  должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита  $Z - Z$ .
- Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита  $Z - Z$ .
- Ось вращения зрительной трубы  $H - H$  должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита  $Z - Z$ .
- Визирная ось трубы  $V - V$  должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы  $H - H$ .

4. Выполнить поверки и юстировки теодолита 4Т30 № \_\_\_\_\_

1) Перпендикулярность оси цилиндрического уровня к оси вращения инструмента.

Вывод:

2) Правильность установки сетки нитей (по отвесу либо по нивелирной рейке).

Вывод:

3) Перпендикулярность визирной оси к оси вращения зрительной трубы – определить

коллимационную погрешность  $c = \frac{KI - KII \pm 180^{\circ}}{2}$ .

№№ Точек визирования	Положение Вертикального круга	Отсчеты по горизонтальному кругу	2С С	Правильный отсчет
			2С С	
			2С С	
Допустимое значение коллимационной погрешности				Вывод:

**Исправление:** если  $c > 2t$ , тогда вычисляем правильный отсчет  $N = \frac{КП + КЛ \pm 180^\circ}{2}$  последнего

наблюдения и устанавливаем его на лимбе наводящим винтом алидады. При этом алидада (верхняя часть теодолита) повернется на угол  $c$ , а изображение точки в поле зрения трубы сместится с пересечения сетки нитей. Действуя боковыми исправительными винтами сетки, последнюю перемещают до совмещения пересечений нитей с изображением точки. После исправления поверку повторяют.

**4) Перпендикулярность оси вращения трубы к оси вращения инструмента (исправляется в мастерской).**

**5. Установить теодолит в рабочее положение и измерить теодолитом 4Т30 № \_\_\_\_\_ горизонтальный угол одним полным приёмом с перестановкой лимба между полу приёмами на 2–3°. Результаты измерений записать в журнал.**

Допустимое расхождение значений угла в полуприемах \_\_\_\_\_

### Журнал измерения горизонтальных углов

Схема измеряемого угла $\beta$	Вершина угла	Положен. вертикал. круга КП и КЛ	№№ точек визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу,	Измеренный угол в полуприёме		Среднее значение угла					
					о	'	о	'				
									Перестановка лимба			
									Перестановка лимба			
									Перестановка лимба			

### 6. Изучить устройство вертикального круга теодолита

Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси, когда пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте, называется **местом нуля (МО) вертикального круга.**

**Вертикальный круг теодолита 2Т30** разделен на четыре сектора диаметрами  $0^\circ - 0^\circ$  и  $90^\circ - 90^\circ$ , скреплён со зрительной трубой по диаметру  $90^\circ - 90^\circ$  и оцифрован в обе стороны от  $0^\circ$  до  $75^\circ$ . Против хода часовой стрелки подписаны положительные значения, а по ходу часовой стрелки – отрицательные со знаком минус (-).

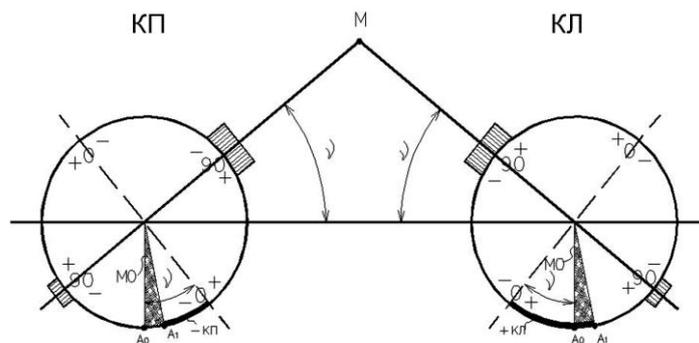


Рисунок 21 – Вертикальный круг теодолита 2Т30

$$КП = \nu - MO \quad КП = \nu + MO .$$

$A_0$  – положение отсчётного индекса при  $MO = 0$ ;  $A_1$  – положение отсчётного индекса при  $MO \neq 0$ .

$$MO = \frac{КЛ + КП}{2} \quad (1); \quad \nu = КЛ - MO \quad (2); \quad \nu = MO - КП \quad (3); \quad \nu = \frac{КЛ - КП}{2} \quad (4).$$

7. Определить место нуля вертикального круга (МО) и измерить вертикальные углы теодолитом 4Т30 № \_\_\_\_\_

### Журнал определения МО и вертикальных углов

Номера точек визиров.	Положение вертикал. круга	Отсчет по вертикальному кругу °   '   "	МО	Вертикальный угол (угол наклона) $\nu$
				4

Контролем правильности определения МО служит: \_\_\_\_\_

При необходимости исправления МО определяют правильный отсчет  $N_0$ , вычисленный по последнему наблюдению  $N_0 = N - MO$ . Устанавливают правильный отсчет  $N_0$  по вертикальному кругу наводящим винтом зрительной трубы. Юстируют исправительными вертикальными винтами сетки нитей, совмещая центр сетки нитей и визирную точку.

8. Измерить магнитный азимут линии местности А – В, вычислить дирекционный угол, привести рисунок (схему ориентирования)

Для измерения магнитного азимута линии местности АВ теодолит с ориентир-буссолью устанавливают над начальной точкой А (рисунок 22), центрируют и приводят в рабочее положение при круге лево (КЛ). Устанавливают по горизонтальному кругу (КЛ) отсчет  $0^{\circ}00'$ . Открепляют зажимной винт магнитной стрелки буссоли и вращением лимба (отсчёт остаётся  $0^{\circ}00'$ ) совмещают магнитную стрелку со штрихом буссоли. При этом стрелка буссоли и линия визирования будет совпадать с северным направлением магнитного меридиана (отсчёт, по горизонтальному кругу должен остаться  $0^{\circ}00'$ ). Затем, открепляя алидаду, визируют (наводят) зрительную трубу по направлению АВ на конечную точку В. Полученный отсчёт по горизонтальному кругу будет соответствовать магнитному азимуту направления АВ. Вычислить дирекционный угол линии А – В, используя среднее склонение магнитной стрелки и сближение меридианов (для г. Бреста).

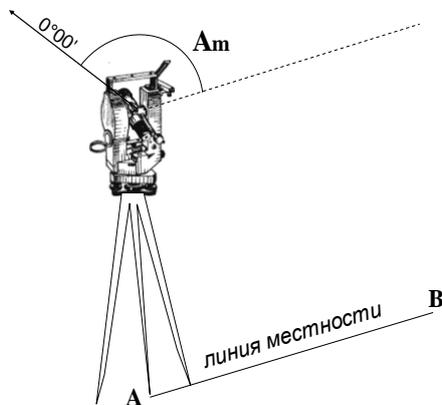


Рисунок 22 – Измерение магнитного азимута

### Результаты измерений и вычислений

$$A_M =$$

Среднее склонение магнитной стрелки восточное  $\delta = +4^{\circ} 39'$ .

Сближение меридианов восточное  $\gamma = +2^{\circ} 07'$ .

$$\alpha_{A-B} = A_M + (\pm\delta) - (\pm\gamma);$$

$$\alpha_{A-B} =$$

### Схема ориентирования

**9. Определить превышение тригонометрическим нивелированием.** Тригонометрическое нивелирование позволяет определить превышение между точками по измеренному углу наклона и расстоянию. Над точкой 1 устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, измеряют высоту инструмента  $i$  – расстояние по отвесной линии от точки 1 до оси вращения зрительной трубы теодолита с помощью нивелирной рейки с точностью до 0,01 м. В точке 2 устанавливают нивелирную рейку и наводят на неё зрительную трубу. По черной стороне рейки отсчитывают высоту визирования  $V$  – расстояние от пятки рейки до средней горизонтальной нити сетки.

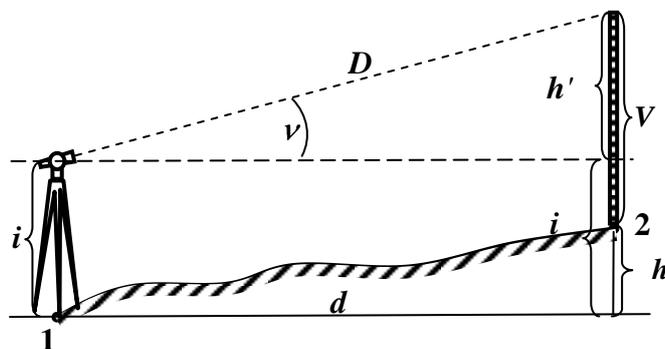


Рисунок 23 – Тригонометрическое нивелирование

По нитяному дальномеру измеряют наклонное расстояние  $D$  от теодолита до рейки. Угол наклона  $\nu$  измеряют теодолитом полным приемом.

Формулы тригонометрического нивелирования.

Неполное превышение

$$h' = \frac{D}{2} \cdot \sin 2\nu.$$

Превышение  $h = h' + i - V$ ;

Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 9.

**Таблица 9 – Определение превышений тригонометрическим нивелированием**

Высота инструмента $i$	Высота наведения $V$	Отсчеты по дальномерным нитям	Отсчеты по вертикальному кругу	Угол наклона $\nu$ $2\nu$	Превышение, м	
					$h'$	$h$
			КЛ			
			КП			
		$D =$	$MO =$			

#### Лабораторная работа № 4 ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**1. Изучить устройство и основы работы с лазерными рулетками. Измерить расстояние до объекта** (в прямом и обратном направлении), **определить площадь помещения.** Результаты вычислений записать в таблицу 10.

Для быстрого и точного измерения коротких расстояний на строительных площадках в помещениях используют **лазерные рулетки, которые** с помощью видимого лазерного луча позволяют производить измерения без отражателя. Например, лазерные дальномеры LaserDISTO фирмы «Leica» (Швейцария) – контактные безотражательные дальномеры, позволяющие измерять расстояния от 30 до 200 м.

**Таблица 10 – Результаты измерений**

Измеренное расстояние (прямо), м	Измеренное расстояние (обратно), м	Площадь комнаты, м <sup>2</sup>
1.		Длина
2.		
3.		Ширина
4.		
Среднее		Площадь

При изменении расстояний свыше 30 м применяется специальная отражающая пластина, позво-

ляющая фокусировать отраженный сигнал и тем самым повысить точность измерения расстояния. Отражающая пластина (визирная мишень) может быть использована при измерении расстояний 40–50 м – серая сторона, на расстояниях до 100 м – коричневая сторона со специальным отражающим слоем. При измерении расстояний нажимают клавишу DIST, включая этим лазер. Лазер направляют на объект, расстояние до которого необходимо измерить, снова нажимают клавишу DIST. Измеренное расстояние высвечивается на дисплее. Прибор также позволяет определить площадь, объем и т. д.

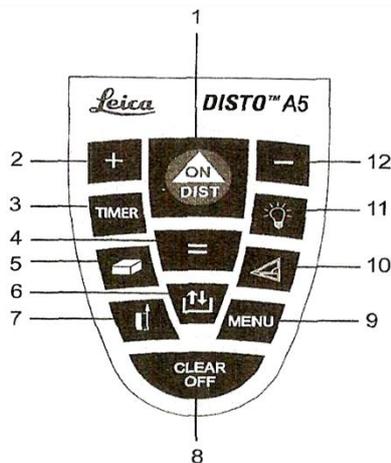


Рисунок 24 – Клавиатура лазерной рулетки DISTO™A5

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

**Технические характеристики** лазерной рулеткой фирмы DISTO™A5 фирмы LEICA (Швейцария): – дальность измерений от 0,05 до 200м (с использование светоотражающей пластины); – точность ±(1,5– 2мм).

## 2. Вычисление недоступных расстояний на местности

Вычислить с контролем недоступные расстояния по измеренным базисам и горизонтальным

углам по теореме синусов:  $d_{AB} = \frac{b}{\sin \gamma} \cdot \sin \beta$  ;  $d'_{AB} = \frac{b_1}{\sin \gamma_1} \cdot \sin \beta_1$  (рис.24 а)

и теореме косинусов  $d_{AB} = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \beta_1}$  ;  $d'_{AB} = \sqrt{b_3^2 + b_4^2 - 2b_3b_4 \cos \beta_2}$  (рис.24 б).

Результаты вычислений записать в таблицу 11.

Таблица 11 – Вычисление недоступных расстояний

$b_1, м =$		$b_2, м =$		$b_1, м =$		$b_3, м =$	
$\beta_1 =$		$\beta_2 =$		$b_2, м =$		$b_4, м =$	
$\alpha_1 =$		$\alpha_2 =$		$\beta_1 =$		$\beta_2 =$	
$\gamma_1 =$		$\gamma_2 =$		$\cos \beta_1 =$		$\cos \beta_2 =$	
$d_{AB} =$		$d'_{AB} =$		$d_{AB} =$		$d'_{AB} =$	
$d_{ABcp} =$		$\frac{\Delta d}{d} =$		$\Delta d, м =$		$\frac{\Delta d, м}{d_{AB}} =$	
$\Delta d, м =$				$d_{ABcp} =$			

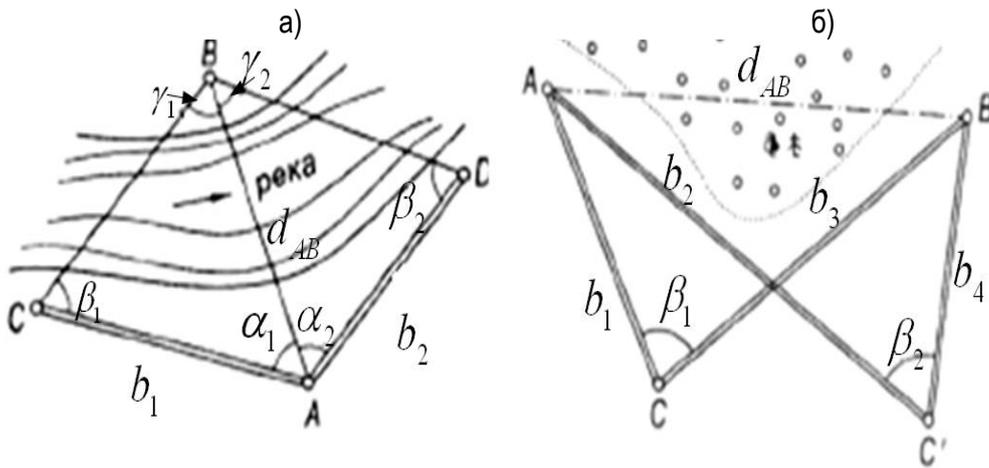


Рисунок 25 – Схема определения недоступных расстояний

**Лабораторная работа № 5  
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ,  
ОБРАБОТКУ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКУ ТОЧНОСТИ**

**а) Обработка ряда равноточных измерений.**

**Задача 1.** Длина линии измерена шесть раз. Требуется вычислить вероятнейшее значение длины линии, среднюю квадратическую погрешность (СКП) одного измерения, среднюю квадратическую погрешность вероятнейшего значения, относительную погрешность окончательного результата (вероятнейшего значения). Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 12.

**Таблица 12 – Результаты вычислений**

Номер измерения	Результаты измерений $l$ , м	$v = L - l_i$ , (см)	$v^2$ , (см <sup>2</sup> )	Вычисления
1				1. Вероятнейшее значение длины измеренной линии $L = \frac{\sum l_i}{n}$ 2. СКП одного измерения $m = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}$ 3. СКП вероятнейшего значения $M = \frac{m}{\sqrt{n}}$ 4. Относительная погрешность окончательного результата $\frac{M}{L} =$
2				
3				
4				
5				
6				
$\bar{l} =$		$[v] =$	$[v^2] =$	

**б) Оценка точности функций измеренных величин.** Часто искомые величины получают путем вычислений по измеренным величинам, поэтому возникает необходимость оценивать точность функций измеренных величин. В таблице 13 приведены формулы для вычисления СКП наиболее распространенных функций.

**Таблица 13 – Средние квадратические погрешности функций**

Функции	Средняя квадратическая погрешность функции
<p>Функция общего вида:  <math>u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)</math>,                      где <math>x_1, x_2, \dots, x_n</math> – результаты измерений</p>	$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2,$ <p>где <math>m_1, m_2, \dots, m_n</math> – средние квадратические погрешности результатов измерений; <math>\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}</math> и т. д. частные производные функции по соответствующим переменным</p>
$u = kx + c$ , где $k$ и $c$ – постоянные величины	$m_u^2 = k^2 m_x^2$ или $m_u = km_x$
$u = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n + c$	$m_u^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + \dots + k_n^2 m_n^2$
$u = \pm x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n + c$	$m_u^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2$ В случае равноточных измерений  $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ , тогда $m_u = m\sqrt{n}$
$u = x \cdot y$ , где $x$ и $y$ – результаты измерений	$m_u^2 = m_x^2 y^2 + m_y^2 x^2$

**Пример:** Найти угловую невязку в полигоне из 12 углов, если средняя квадратическая ошибка измерения угла равна  $\pm 30''$ .

**Решение:** Запишем формулу угловой невязки в развернутом виде:  $f_\beta = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n - \sum \beta_m$ . Теоретическая сумма углов  $\sum \beta_m$  не содержит погрешностей (погрешности в дирекционных углах начальной и конечной исходных сторон в разомкнутом ходе пренебрегаемо малы). Поэтому невязка представляет собой ошибку в сумме измеренных углов. СКП в сумме углов  $m_{f_\beta} = m_{\beta_1} + m_{\beta_2} + \dots + m_{\beta_n}$ . Для равноточных измерений  $m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = \dots = m_{\beta_n} = m_\beta$ , средняя квадратическая погрешность в сумме углов  $m_{f_\beta} = m_\beta \sqrt{n}$ .

Предельная ошибка суммы углов, или предельная невязка, будет в 2 раза больше, т. е.  $f_{\beta_{np}} = 2m_\beta \sqrt{n}$ . Для данного примера будем иметь  $f_{\beta_{np}} = 2 \cdot 30'' \sqrt{12} = \pm 208'' = \pm 3,5'$ .

**Задача 2.** Рассчитайте необходимое количество приемов, если значение угла должно быть определено со средней квадратической погрешностью не более  $m = \_\_\_\_\_\_''$ , а средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом  $m_\beta = \_\_\_\_\_\_''$ .

**Решение:**

**Задача 3.** Измеренная площадь  $S = \_\_\_\_\_\_ \text{ м}^2$ . Средняя квадратическая погрешность измерения равна  $m_S = \_\_\_\_\_\_ \text{ м}^2$ . Определить относительную погрешность, а также предельную абсолютную погрешность и предельную относительную погрешность площади.

**Решение:**

**Лабораторная работа № 6**  
**ОБРАБОТКА СЕТЕЙ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ.**  
**СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА**

**Краткие сведения о полевых работах и исходные данные.** На участке местности создано планово-высотное съёмочное обоснование путем проложения замкнутого теодолитного хода и нивелирного хода технической точности. Составить рабочую схему планового обоснования (теодолитного хода) (рисунок 26), на которой показать средние значения правых по ходу горизонтальных углов  $\beta$ , горизонтальные проложения  $d$  и исходный дирекционный угол. По результатам полевых измерений необходимо вычислить координаты точек теодолитного хода (таблица 14). Выполнить камеральную обработку результатов тахеометрической съёмки (таблица 19 и 20). Составить топографический план в масштабе 1:1000 с высотой сечения рельефа \_\_\_\_\_ м.

**Исходные данные:**

- координаты исходной пункта \_\_\_\_\_
- дирекционный угол начальной линии хода \_\_\_\_\_
- отметка исходного репера \_\_\_\_\_

Рисунок 26 – Схема планового обоснования	Рисунок 27 – Абрис тахеометрической съёмки
--	--

**1. Вычисление координат точек съёмочного обоснования (теодолитного хода)**

Вписываем в ведомость исходные данные и уравниваем измеренные углы. В графу 1 «Ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (таблица 16)» вписывают номера точек хода, а в графу 2 измеренные горизонтальные углы. Нумерацию точек теодолитного хода обозначаем по ходу часовой стрелки, тогда внутренние измеренные углы будут правые.

Вычисляем практическую сумму измеренных углов  $\sum \beta_{i_{изм}} = \beta_{1_{изм}} + \beta_{2_{изм}} + \dots + \beta_{n_{изм}}$  и сравниваем ее с теоретической суммой, которая для замкнутого теодолитного хода вычисляется по формуле:  $\sum \beta_T = 180^\circ (n - 2)$ , где  $n$  – количество углов (точек) теодолитного хода.

Разность между практической и теоретической суммой горизонтальных углов называют *угловой невязкой хода*  $f_\beta = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_T$ . Она не должна превышать по абсолютной величине допустимое значение, вычисленное по формуле  $f_{\beta доп} = \pm 1' \sqrt{n}$ .

Если полученная невязка  $f_\beta$  не превышает  $f_{\beta доп}$ , то  $f_\beta$  распределяют поровну с обратным знаком во все измеренные углы, поправки  $v$  в измеренные углы округляют до 0,1' так, чтобы их сумма была равна невязке  $f_\beta$  с обратным знаком, и вычисляют уравненные углы  $\beta_i^{yp} = \beta_{i_{изм}} + v$  и записывают в графу 3.

**Вычисляем дирекционные углы** линий теодолитного хода по формуле

$$\alpha_{посл} = \alpha_{пред} + 180^\circ - \beta_i^{yp} \text{ (для правых по ходу углов),}$$

где  $\beta_i^{yp}$  – правый уравненный угол на точке хода, образованный предыдущей и последующей линиями теодолитного хода.

Контролем вычисления дирекционных углов является равенство значений вычисленного дирекционного угла и дирекционного угла начальной стороны по исходным данным.

Вычисляем и уравниваем приращения координат. Приращения координат  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  определяют по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta X_{\text{выч}} = d \cdot \cos \alpha = d \cdot \cos r; \quad \Delta Y_{\text{выч}} = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \sin r;$$

где  $d$  – горизонтальное проложение линии теодолитного хода;  $\alpha$  – дирекционный угол;  $r$  – румб.

Значения  $\cos$  и  $\sin$  находят по таблицам значений тригонометрических функций либо на калькуляторе (до шести знаков после запятой).

В последнем случае необходимо установить на калькуляторе угловую размерность – градусы (DEG). Первоначально минуты необходимо перевести в десятые доли градуса, а потом вычислить значение

тригонометрической функции. Например,  $\sin \left( 8^{\circ} 42,0' \right) \approx \sin \left( 48^{\circ} + \frac{42,0'}{60'} \right) = \sin \left( 48,700^{\circ} \right) \approx 0,751264$ .

После вычисления приращений координат находят их сумму, т. е.  $\sum \Delta X$  выч. и  $\sum \Delta Y$  выч. и их теоретическую сумму. Для замкнутого хода теоретическая сумма приращений по оси  $X$  и  $Y$  равна нулю, т. е.  $\sum \Delta X_{\text{т}} = 0,00$ ;  $\sum \Delta Y_{\text{т}} = 0,00$ .

Невязки в приращения координат замкнутого теодолитного хода определяют по формулам:

$$f_x = \sum \Delta X_{\text{выч}}; \quad f_y = \sum \Delta Y_{\text{выч}}.$$

Далее находят абсолютную линейную и относительную невязки хода

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P}, \quad \text{где } P = \sum d_i.$$

Сравнивают относительную невязку хода с допустимой величиной (относительной точностью хода):

$$f_{\text{отн}} \leq \frac{1}{2000},$$

если выполняется условие, то невязки приращений координат  $f_x$  и  $f_y$  распределяют пропорционально горизонтальным проложениям сторон теодолитного хода, округляют до 0,01 м и вносят с обратным знаком в вычисленные приращения координат

$$V_{\Delta X_i} = \frac{-f_x \cdot d_i}{P}; \quad V_{\Delta Y_i} = \frac{-f_y \cdot d_i}{P}.$$

Вычисляют уравненные приращения координат. Для этого алгебраически складывают вычисленные приращения с поправками  $\Delta X_{\text{ур}} = \Delta X_{\text{выч}} + V_{\Delta X}$ ;  $\Delta Y_{\text{ур}} = \Delta Y_{\text{выч}} + V_{\Delta Y}$ . Сумма уравненных приращений координат должна быть равна нулю.

Вычисляют координаты точек теодолитного хода по формулам:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{\text{ур}}; \quad Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{\text{ур}},$$

где  $X_{i+1}$  и  $X_i$  – абсциссы соответственно последующей и предыдущей точек;

$Y_{i+1}$  и  $Y_i$  – ординаты последующей и предыдущей точек;

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

Координаты записывают в графах 11 и 12. Контролем правильности вычисления координат точек теодолитного хода является равенство вычисленных и заданных координат исходной точки хода.



## 2. Построение топографического плана

– **На листе чертежной бумаге формата А3 или А2 строим координатную сетку со стороны 10 x 10 см.** С помощью длинной линейки проводят диагонали твердым остро отточенным карандашом. От точки пересечения диагоналей по всем четырем направлениям откладывают равные отрезки (20–22 см), оставляя небольшие зарамочные поля. Концы отрезков соединяют прямыми линиями, на сторонах полученного прямоугольника – от нижнего левого угла откладывают при помощи измерителя и масштабной линейки отрезки длиной 10,00 см. Соединив соответствующие точки на противоположных сторонах прямоугольника, получают сетку квадратов. Контроль построения координатной сетки осуществляют сравнением длин диагоналей квадратов. Расхождения не должны превышать 0,2 мм. Все вспомогательные линии нужно проводить карандашом тонкими линиями.

– **Выполним оцифровку координатной сетки**, начиная с нижнего левого угла в соответствии с координатами точек теодолитного хода, так чтобы подписи были кратны 100 м для масштаба 1:1000 и 0,2 км для масштаба 1:2000. Здесь следует помнить, что ось X направлена на север (снизу вверх), а ось Y на восток (слева направо).

– **Нанесём по координатам точки теодолитного хода** с помощью измерителя и масштабной линейки.

– **Используя абрис тахеометрической съемки (выдается преподавателем), строим топографический план местности.** Точки тахеометрической съемки (пикетные точки) наносят на план при помощи транспортира и масштабной линейки или тахеографа. Исходными данными являются: отсчеты по горизонтальному кругу, горизонтальные проложения и вычисленные отметки пикетных точек (таблица 16). Построить рельеф горизонталями с высотой сечения рельефа \_\_\_\_ м. Построение горизонталей существующего рельефа на плане можно выполнить, используя графическую интерполяцию, с помощью палетки. Палетка – это ряд параллельных линий, нанесенных на кальке через равные расстояния (5 или 10 мм), каждая линия обозначается отметками, кратными 0,5 м. Палетку накладывают на линию, например АВ, и поворачивают ее так, чтобы точки с известными отметками заняли положение, соответствующее их отметкам.

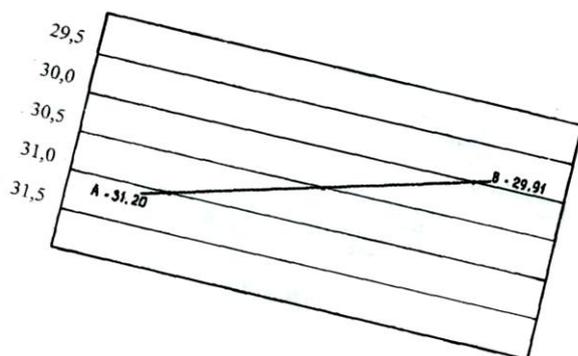


Рисунок 28 – Графическая интерполяция

Затем точки пересечения линии АВ с линиями на кальке, условно имеющими отметки горизонталей, накальвают на план (в нашем случае 30,0; 30,5; 31,0). Интерполирование выполняют по всем сторонам квадратов. Точки с одинаковыми отметками соединяют плавными линиями – горизонталями. Горизонтали фактического рельефа оцифровывают следующим образом: каждую четвертую, причем целую метровую, горизонталь утолщают и подписывают в разрыве (например, 30).

Горизонтали существующего рельефа изображают коричневым цветом. Первоначально план составляется в карандаше, а затем вычерчивается строго в соответствии с условными знаками, соблюдая их размеры и цвет.

## Лабораторная работа № 7 ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЁМКА (полевые работы)

1. **Изучить сущность тахеометрической съемки.** Тахеометрическая съемка (планово-высотная) является самым распространенным методом наземных топографических съемок, на основе которой составляют инженерно-топографические планы масштабов 1:500 и 1:1000, которые используют для проектирования зданий и сооружений. Плановое положение точек на местности определяют полярным способом (рисунок 29), а высотное – тригонометрическим нивелированием. Сначала создают съёмочное планово-высотное обоснование в виде одиночных линейно-угловых ходов или системы ходов (теодолитные или тахеометрические хода). Точки съёмочного обоснования закрепляют на местности и используют при выполнении полевых измерений, как на станции.

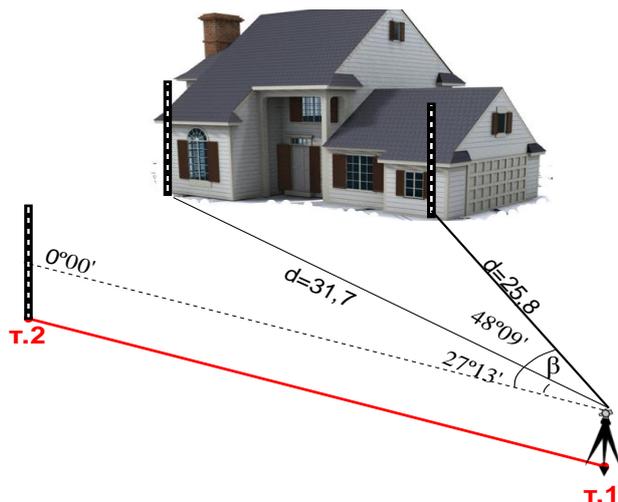


Рисунок 29 – Определение планового положения точек полярным способом

### Порядок работы на станции

1. Устанавливают теодолит над точкой съёмочного обоснования (т. 1), центрируют, приводят в рабочее положение и измеряют высоту инструмента с помощью нивелирной рейки с округлением до 1 см. Перед началом съёмочных работ определяют место нуля вертикального круга теодолита.
2. Рабочее положение теодолита – «круг лево» (КЛ). Ориентируют лимб по стороне 1–2 съёмочного обоснования, для чего нуль алидады совмещают с нулём лимба, закрепляют алидаду и вращением лимба вместе с алидадой наводят трубу точку 2. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят трубу на рейку, установленную поочередно на реечные точки (пикеты).

3. **Измерения:** берут отсчёты по средней нити (высота наведения) и по дальномерным нитям (для определения расстояния от станции до пикета), по горизонтальному и вертикальному кругам. Результаты полевых измерений заносят журнал (таблица 15). В качестве пикетов могут быть элементы ситуации и рельефа.

4. По окончании съёмки на станции снова наводят трубу на точку 2, по которой был ориентирован лимб, и берут контрольный отсчёт, который не должен отличаться от  $0^\circ$  более чем на  $1.5'$  (до  $5'$  в учебных точках).

**Для контроля с каждой станции определяют 2–3 контрольных точки в полосе перекрытия съёмки со смежных станций.**

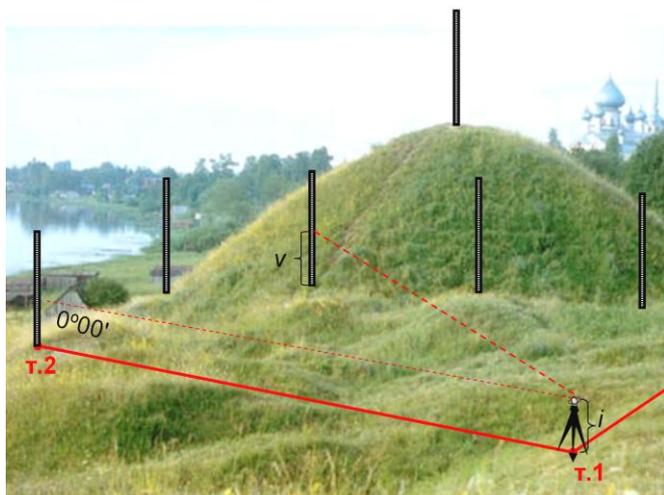


Рисунок 30 – Сущность тахеометрической съёмки

**2. Выполнить съёмку местности, записать измерения в журнал и вычислить отметки реечных (пикетных) точек.**

Полевые съёмочные работы выполняются бригадами по 3 человека во время лабораторных занятий с исходных точек съёмочного обоснования (по указанию преподавателя). Выполнить обработку журнала тахеометрической съёмки. Составить абрис тахеометрической съёмки, на котором показать: исходные точки съёмочного обоснования, номера пикетных точек, ситуацию и направления ската местности.

**Состав бригады:**

**Абрис съёмки**





**Лабораторная работа № 8**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ (ПЛАНЕ)**

1. Определить площадь участка, ограниченного многоугольником с  $k$ -числом вершин, геометрическим способом.

а) Определение площади участка выполняют на топографической плане масштаба 1:1000 (лабораторная работа № 6).

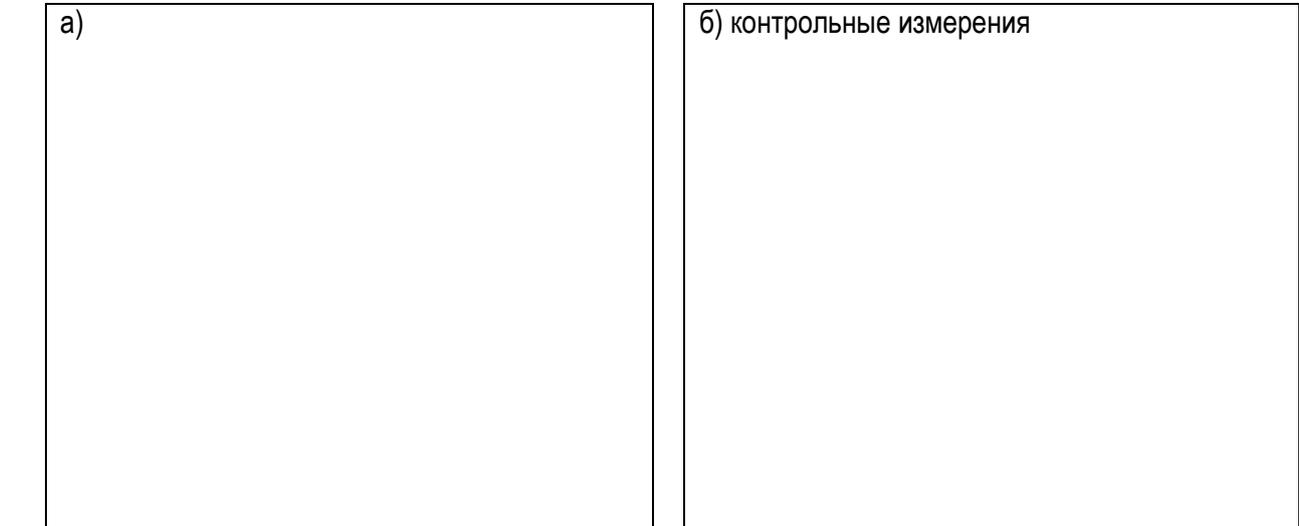


Рисунок - 31 (а, б). Схема разделения многоугольника на геометрические фигуры и результаты линейных измерений

б) Рассмотреть общую площадь многоугольника как сумму площадей геометрических фигур (треугольников, трапеции), показать их расположение на рисунке 13а. Записать формулы для вычисления площадей фигур ( $S_N$ ), составляющих общую площадь многоугольника ( $N$  – число фигур) и общей площадь многоугольника.

**Формулы:**

$S_{\_} =$   $S_{\_} =$   $S_{общ} =$

Измерить по карте (плану) линейные элементы (основание, высоту, стороны) для определения площади составляющих фигур, результаты измерений записать на рисунке 31а. Погрешность измерения линейных элементов соответствует точности масштаба карты (плана).

в) Вычислить площадь отдельных фигур ( $S_N$ ) и общую площадь многоугольника

$S_{\_} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S_{\_} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S_{общ} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S_{общ} =$  \_\_\_\_\_ га.

Для контроля вычисления площади участка разделить многоугольник на другие фигуры или в тех же фигурах (треугольниках) измерить другие высоты и основания. Результаты измерений записать на рисунке 31б.

**Формулы:**

$S_{\_} =$   $S_{\_} =$   $S_{общ} =$

в) Вычислить площадь отдельных фигур ( $S_N$ ) и общую площадь многоугольника

$S'_{\_} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S'_{\_} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S'_{общ} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S'_{общ} =$  \_\_\_\_\_ га.

Вычисление площадей фигур выполнить с точностью до 0,1  $m^2$ , а общей – до целых  $m^2$ .

Допустимость расхождения площадей определяют по формуле

$$\Delta S_{(22)} = 0,04 \frac{M}{10000} \sqrt{S_{(22a)}}$$

где  $M$  – знаменатель численного масштаба плана,  $S_{(2a)}$  – площадь участка.

В случае допустимости расхождения площадей вычисляют среднее значения площади многоугольника  $S_{cp} =$  \_\_\_\_\_  $m^2$ ;  $S_{cp} =$  \_\_\_\_\_ га.

**2. Вычислить площадь аналитическим способом, по координатам вершин многоугольника.**

а) В таблицу 17 выписать координаты вершин многоугольника X и Y из ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (таблица 14).

б) вычислить площадь многоугольника по формулам:

<p>Формулы в общем виде:</p> $2S = \sum_{k=1}^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1})$ $2S = \sum_{k=1}^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1})$	<p>Формулы в развернутом виде:</p> $2S =$ $2S =$
--	--

Контроль вычислений:  $\sum_{k=1}^n (Y_{k+1} - Y_{k-1}) = 0$ ,  $\sum_{k=1}^n (X_{k-1} - X_{k+1}) = 0$ .

**Таблица 17 – Ведомость вычисления площади многоугольника по координатам его вершин**

Номер вершин , k	Координаты		Разность координат		$X_k(Y_{k+1} - Y_{k-1})$	$Y_k(X_{k-1} - X_{k+1})$
	$X_k$	$Y_k$	$Y_{k+1} - Y_{k-1}$	$X_{k-1} - X_{k+1}$		
		$\sum^+$				
		$\sum^-$				
		Контроль вычислений	0,00	0,00	2 S	2 S

Площадь S = м

S = га

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания по ведению тетради	3
Лабораторная работа № 1	
ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ	4
Лабораторная работа № 2	
НИВЕЛИР	13
Лабораторная работа № 3	
ТЕОДОЛИТ	18
Лабораторная работа № 4	
ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	22
Лабораторная работа № 5	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ОБРАБОТКУ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКУ ТОЧНОСТИ	24
Лабораторная работа № 6	
ОБРАБОТКА СЕТЕЙ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА	26
Лабораторная работа № 7	
ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЁМКА (полевые работы)	29
Лабораторная работа № 8	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ (ПЛАНЕ)	33

Учебное издание

**Составители:**

*Кандыбо Светлана Николаевна  
Зуева Людмила Фёдоровна*

## **РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

**заданий и методических указаний  
для выполнения лабораторных работ  
по дисциплине «Топография и основы геодезии»  
для специальности «Природоохранная деятельность»  
(издание 3-е, переработанное)**

Ответственный за выпуск Кандыбо С. Н.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная верстка: Коноплёва О. В.

Корректор: Дударук С. А.

---

Подписано в печать 02.11.2022. Формат 60x84 1/8. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 2,09. Уч. изд. л. 2,25. Заказ № 1243. Тираж 19 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.