

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»
Институт Горного дела и строительства
Кафедра «Геоинженерии и кадастра»

Утверждено на заседании кафедры
«Геоинженерии и кадастра»
«22» декабря 2020 г., протокол № 19

Заведующий кафедрой



И.А. Басова

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Инженерная геодезия и основы топографии»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
07.03.01 Архитектура

с направленностью (профилем)
Архитектура

Форма(ы) обучения: очная, очно-заочная

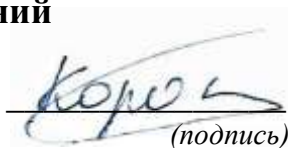
Идентификационный номер образовательной программы: **070301-01-21**

Тула 2021 год

Разработчик(и) методических указаний

Король В.В., доц. каф. ГиК, к.т.н.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Лабораторная работа №1. Работа с картой	4
Лабораторная работа №2. Изучение теодолита	17
Лабораторная работа №3. Изучение нивелира	29
Лабораторная работа №4. Вертикальная планировка	38
Лабораторная работа №5. Построение разбивочного чертежа	41
Лабораторная работа №6. Продольный профиль трассы	45
Библиографический список.....	52

Лабораторная работа №1. Работа с картой

Цель и задачи работы

Изучить основные характеристики топографических карт; получить практические навыки в решении задач по топографическим картам.

Общие характеристики карты

К общим характеристикам карты относятся номенклатура, масштаб (численный и именованный), точность масштаба карты, средние значения магнитного склонения и сближения меридианов, система координат и высот, значение высоты сечения рельефа. Эти данные приведены в оформлении карты за границами ее листа и при выполнении лабораторного задания могут быть выписаны в специальном бланке либо в произвольной форме.

Номенклатура карты обычно подписывается над северной рамкой карты с указанием наиболее крупного населенного пункта. Номенклатура соседних листов подписывается посередине внешней рамки карты. Например, номенклатура карты – У-34-37-В-в (Снов), для этой учебной карты Снов является крупнейшим населенным пунктом.

Номенклатуру карты можно определить по географическим координатам одного из углов карты.

Численный масштаб подписывается под южной рамкой карты. Он представляет собой дробь $1/M$, в числителе которой единица, а знаменатель M указывает на степень уменьшения линий на карте по сравнению с горизонтальными проекциями тех же линий на местности, то есть

$$\frac{S_K}{S_M} = \frac{1}{M},$$

где S_K – расстояние по карте;

S_M – расстояние на местности.

Вместе с численным масштабом карты дается его расшифровка в виде именованного масштаба, который указывает, сколько метров на местности содержится в 1 см карты. Например, если численный масштаб карты 1:25000, то есть 1 см карты соответствует 25000 см на местности, то именованный масштаб указывает, что в 1 см 250 м.

На некоторых картах дополнительно дается изображение линейного масштаба, который представляет собой прямую линию, разделенную на равные отрезки (равные 1 см или 2 см), которые называют основанием масштаба, и против каждого деления основания подписывается соответствующее ему расстояние на местности. Крайнее левое основание делится на 10 частей. С помощью такого построения можно уверенно измерять или откладывать на карте отрезки с точностью до десятых долей основания.

Точностью масштаба карты называют наименьший отрезок на местности, который можно изобразить и различить на карте

соответствующего масштаба. Поскольку наименьший отрезок, различимый простым глазом, равен $0,01 \text{ см} = 0,1 \text{ мм}$, то соответствующее ему расстояние на местности равно $S_0 = 0,01 \text{ см} \cdot M$ – это и будет точностью масштаба карты. Например, при масштабе 1:25000 точность масштаба $S_0 = 0,01 \text{ см} \cdot 25000 = 250 \text{ см} = 2,5 \text{ м}$.

Географическими границами листа карты запада и востока служат линии меридианов, а с севера и юга – линии параллелей.

Эти линии образуют внутреннюю рамку, которая ограничивает изображение местности на карте (рис. 1). Географические границы листа определяются широтами и долготами этих меридианов и параллелей, подписанных в углах рамки карты. Параллельно внутренней рамке проведена минутная рамка, разделенная на минуты дуги черными (четными) и белыми (нечетными) интервалами. В свою очередь, минуты разделены точками на десятисекундные интервалы. Минутная рамка используется для определения географических координат точек, нанесенных на карту.

Интервал сетки прямоугольных координат на картах масштаба 1:10000 – 1:100000 бывает равным 1 км или 2 км. Целое число километров абсцисс и ординат подписывается за внутренней рамкой карты у горизонтальных и вертикальных линий этой сетки.

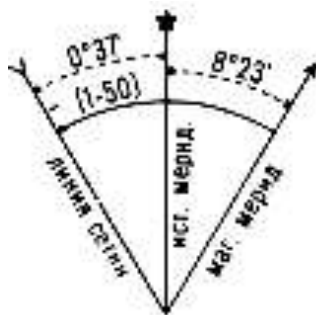


Рис. 2 - Сближение меридианов и склонение магнитной стрелки

Система координат 1942г может быть написана в верхнем левом углу карты.

Система высот. Для определения высот точек Земли относительно некоторой отсчетной уровенной поверхности используется несколько систем высот.

В России за начало отсчета высот принят средний уровень Балтийского моря в районе Кронштадского футштока, и наша система высот называется Балтийской (нормальной).

Сечение рельефа h – расстояние между горизонталями по высоте, строго говоря – расстояние между секущими рельеф уровненными поверхностями. Оно указывается под линейным масштабом в виде утверждения через сколько метров проведены сплошные горизонтالي. Сечение рельефа h , как правило, является постоянным для данного масштаба карты. Например, высота сечения рельефа $h = 5$ м для учебных карт масштаба 1:25000.

Измерение расстояний при помощи масштабной линейки

Горизонтальные расстояния между точками на карте измеряются с помощью линейного или поперечного масштаба. С помощью линейного масштаба можно оценить отрезки с точностью до десятых долей основания a масштаба.

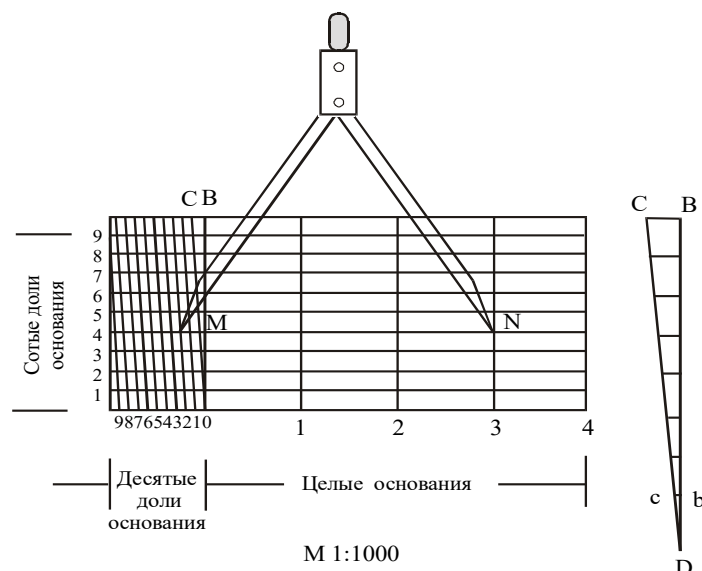


Рисунок 3 - Поперечный масштаб

Для более точного измерения расстояний (до $0,01a$) пользуются нормальным поперечным масштабом, который представлен на рис.3. Здесь 11 горизонтальных параллельных линий разделены на равные отрезки, равные основанию a масштаба.

Обычно в нормальном (сотенном) масштабе $a=2\text{см}$ крайнее левое основание сверху и снизу поделено на 10 частей (по 2 мм) и полученные точки соединены наклонными линиями, как показано на рисунке. Эти линии образуют так называемую трансверсальную сетку. Из подобия треугольников BCD и bcd следует, что $bc=0,1BC$, но $BC=0,1a$ и $bc=0,01$, то есть цена наименьшего деления этого графика равна сотой доли основания, то есть 0,2 мм. Следующая ступень графика будет равна $0,02a$ и т.д.

Перед началом измерений с помощью поперечного масштаба нужно выяснить, каким расстояниям на местности соответствуют деления этого графика. Если, к примеру, масштаб плана 1:2000, при котором 1см плана соответствует 20 м на местности, то для нормального поперечного масштаба

$$a=2\text{см}\rightarrow 40\text{м}; 0,1a=2\text{мм}\rightarrow 4\text{м}; 0,01a=0,2\text{мм}\rightarrow 0,4\text{м}.$$

Для карты масштаба 1:25000, $a\rightarrow 500\text{м}$, $0,1a\rightarrow 50\text{м}$, $0,01a\rightarrow 5\text{м}$. На рис.1.24 показан отрезок, равный 64,8 м в масштабе 1:1000, при $a=2\text{см}\rightarrow 20\text{м}$.

Измерения по карте записывают в таблицу:

Название линии	Численный масштаб	Деления масштабной	Цена деления масштабной	Расстояние ($D=n \cdot k$), м
----------------	-------------------	--------------------	-------------------------	---------------------------------

		линейки (п)	линейки (к)	
А-Б	1:25000	5,21	500	2605,00
В-Г	1:25000	5,09	500	2545,00

Определение прямоугольных координат и высот

Для определения прямоугольных координат используем рис. 2, представляющий фрагмент топографической карты. На нем показана координатная километровая сетка. Как видно на рисунке, на выходах этой сетки за рамку карты подписаны значения координат линий сетки, выраженные в километрах. Так по вертикальной оси абсцисс X они начинаются с $^{60}73$ км..., ...74 км, а по оси ординат Y с $^{43}07$,... 08 км (первые две цифры, обозначающие сотни километров, на карте в дальнейшем не подписываются).

При определении координат из заданной точки опускаются перпендикуляры на ближайшие линии сетки и оцениваются их длины с помощью графика поперечного масштаба. Найденные таким образом отрезки будут приращениями координат ΔX и ΔY относительно оцифрованных линий сетки. Эти значения и прибавляют к подписанным координатам линий.

Для точки В: $\Delta X_B = -130$ м; $\Delta Y_B = -100$ м, знак «-» ставят потому, что точка В находится к юго-западу от перекрестия координат. В результате получим:

$$X_B = 6074000 + (-130) = 6073870 \text{ м; } Y_B = 4308000 + (-100) = 4307900 \text{ м.}$$

Для точки А: $\Delta X_A = +95$ м; $\Delta Y_A = -120$ м, знак «+» для ΔX , а «-» для ΔY_A ставят потому, что точка А находится к северо-западу от перекрестия координат. Окончательно получим:

$$X_A = 6073000 + 95 = 6073095 \text{ м; } Y_A = 4307000 + (-120) = 4306880 \text{ м.}$$

Для определения высот нужно учитывать ввиду, что горизонтали на карте проведены заданную высоту h сечения рельефа. Отметки некоторых горизонталей подписаны, причём так, что верх цифры всегда обращен к вершине склона. На некоторых горизонталях показаны бергштрихи, указывающие на понижение ската. На карте подписаны также отметки характерных точек рельефа.

Для определения высоты H горизонтали по отметке ближайшей к ней точки нужно учитывать направление склона и то обстоятельство, что отметки горизонтали всегда кратны высоте сечения h .

На рис. 2 показано, что высота горы $H = 191,5$ м, а высота сечения рельефа $h = 5$ м. Поэтому отметка ближайшей к ней горизонтали будет равна

Если одна из горизонталей имеет подписанную отметку, то высота соседней горизонтали будет больше или меньшее (судя по направлению склона) на величину сечения h . Если же у соседних горизонталей бергштрихи направлены навстречу друг другу или в противоположные стороны, то их отметки равны между собой (бергштрихи можно мысленно переносить по линии горизонталей).

На рис. 2 точка В лежит между горизонталями:

Затем через эту точку В проводят кратчайшую линию cd и измеряют отрезки bd и cd (в мм). Превышение Δh точки В над младшей горизонталью H , будет равно:

Сплошные горизонталы проведены
через 5 метров

Рис. 3 Измерения на топографической карте

На рис.3 $Bd = 13,2$ мм; $cd = 19,2$ мм ; $h = 5$ м.

Поэтому $H_B = 175,00 + 5 \times 13,2 / 19,2 = 175,00 + 3,44 = 178,44$ м.

Или, если $cb = 6,0$ мм, то определяя относительно старшей горизонтали, найдём:

$$H_B = H_2 - h \times bd / cd = 180,00 - 5 \times 6,0 / 19,2 = 180,00 - 1,56 = 178,44 \text{ м.}$$

По топографической карте можно определить положение точки в геодезической системе координат, вычислив геодезическую широту B и долготу L . Для это следует спроектировать точки на рамку карты, как это показано на рис. 3 для точки A и полученные проекции N и K оценить относительно минутной сетки геодезической системы координат. Получим

$$B_A = 54^\circ 40' + 60'' \times 33,3 / 75,4 = 54^\circ 40' 26''; L_A = 18^\circ 00' + 60'' \times 13,8 / 51,4 = 18^\circ 00' 16''.$$

Определение ориентирных углов

По топографической карте можно определить дирекционный угол, магнитный и истинный азимуты. Обычно непосредственно измеряется дирекционный угол, а два других ориентирных углов вычисляются.

Дирекционный угол - горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии ему параллельной по ходу часовой стрелки до заданного направления. Истинный азимут A и магнитный азимут A_m вычисляются последующим формулам $A = \alpha + \gamma$; $A_m = \alpha + \gamma - \delta$. где γ – Гауссово сближение меридианов; δ – магнитное склонение.

Для определения дирекционного угла линии (см. рис.1) нужно в точке пересечения этой линии с вертикальной линией сетки (осью X) измерить угол между северным направлением линии сетки и заданным направлением (по ходу часовой стрелки). Если линии на карте не пересекаются с осью X (линия MN на рис.1), то можно измерить угол β от восточного направления оси Y . Тогда $\alpha_{MN} = 90^\circ + \beta$. В данном случае $\alpha_{MN} = 90^\circ + 101^\circ 30' = 191^\circ 30'$.

Дирекционные углы обратных направлений отличаются от прямых на 180° , то есть $\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ$, где знак $+$ берется, если $\alpha_{пр} < 180^\circ$.

В примере на рис. 3 в точке A' измеряют транспортиром дирекционный угол α , , отсчитанный от положительного направления оси абсцисс X (в другом случае линии ей параллельной) по движению часовой стрелки до направления на конечную точку $\alpha_{AB} = 54^\circ 30'$.

Дирекционный угол обратного направления $\alpha_{BA} = 54^\circ 30' + 180^\circ - 233^\circ 30'$.

Дирекционный угол второй линии AC $\alpha_{AC} = 115^\circ 45'$, $\alpha_{CA} = 295^\circ 45'$. Измерив дирекционные углы линий АВ и AC, вычисляются их истинные А и магнитные A_M азимуты по формулам связи ориентирных углов:

$$A_{AB} = 54^\circ 30' + (-2^\circ 22') = 52^\circ 08'; A_{AC} = 111^\circ 45' + (-2^\circ 22') = 109^\circ 23'.$$

$$A_{MAB} = 54^\circ 30' - 2^\circ 22' - 6^\circ 12' = 45^\circ 56'; A_{MBC} = 111^\circ 23' - 2^\circ 22' - 6^\circ 12' = 103^\circ 11'.$$

Все данные можно оформить в таблице 1. Для нашего примера $\gamma = -2^\circ 22'$; $\delta = +6^\circ 12'$.

Таблица 1 Определение ориентирных углов двух линий

Название стороны	Дирекционный угол α	Истинный азимут А	Магнитный азимут A_M
АВ	$54^\circ 30'$	$52^\circ 08'$	$45^\circ 56'$
АС	$111^\circ 45'$	$109^\circ 23'$	$103^\circ 11'$

Определение крутизны склона

Крутизна склонов характеризуется либо уклоном i , либо углом наклона ν линии склона по отношению к горизонту. Для определения крутизны склона по заданной линии, например, AD на рис. 3, необходимо определить высоты точек и расстояние между ними. Точка D имеет высоту – $H_D = 195,40$ м, высота точки А – $H_A = 172,00$ м, расстояния между горизонталями на этом отрезке примерно одинаковы. Расстояние между этими точками равно 519 м.

$$tg\nu = h/d = (195,40 - 172,00)/519 = 0,045 = 4,5\% = 45\text{‰}.$$

В строительной практике уклоны обычно выражают в сотых долях (процентах, %) от линии склона либо в тысячных долях – промиллях, ‰. Например, если $tg\nu = 0,045$, то это составляет для уклона $i = 4,5\% = 45\text{‰}$.

Для определения крутизны склона по линии, проведённой между двумя соседними разноимёнными горизонталями, измеряют длину этого отрезка «а» (заложение ската) и, зная высоту сечения h , находят уклон:

$$tg\nu = h/a = i.$$

Для облегчения решения этой задачи под южной рамкой топографической карты построен график заложений, отражающий изменение заложения a от крутизны склона (при постоянном значении высоты сечения h). Так как $a = h/tg\nu$, то для каждого заданного угла наклона ν было вычислено соответствующее заложение a и построен график в масштабе карты (рис. 4).

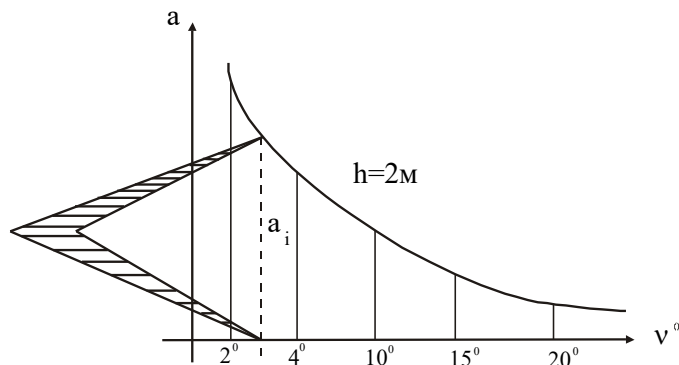


Рис.4- График заложений

Для определения крутизны склона на заданном участке берут в раствор измерителя расстояние между соседними разноименными горизонталями и переносят его на график. На рис. 4 $v=2,8^\circ$.

Построение линии с максимально допустимым уклоном

Задачу построения *линии с проектным уклоном* решают при камеральном трассировании линейных сооружений: трасс автомобильных дорог, каналов и т.п. Для этого подсчитывают минимальную величину заложения a , отвечающую проектному уклону $i_{пр}$.

$$a = h/i_{пр}.$$

Затем берут этот отрезок в масштабе карты в раствор измерителя и, следуя от начальной точки к конечной, прокладывают трассу, по которой расстояния между соседними горизонталями были бы равными, или большими чем a . На рис. 3 проведена линия заданного уклона $i_{прд} = 0,056 = 56\text{‰}$; $a = 89,3$ м; $h = 5$ м.

Выделение водосборной площади и определение ее с помощью планиметра

При проектировании насыпей инженерных сооружений, перекрывающих ручьи и водотоки, определяют *границу водосборной площади*, с которой дождевая или талая вода будет собираться у плотины. Эта граница проходит по водораздельным линиям, ограничивающим данную ложину и от этих линий, перпендикулярно горизонталям, опускается до плотины (рис. 5).

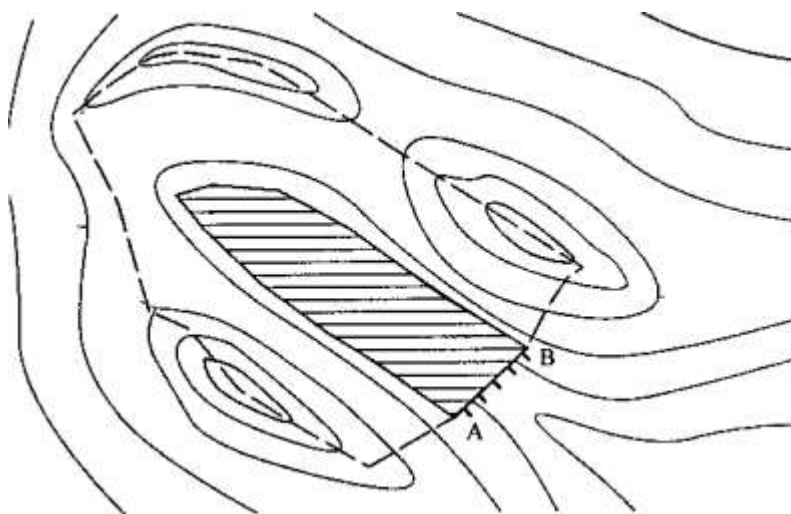


Рис. 5- Водосборная площадь

Зная водосборную площадь, среднегодовое количество осадков, условия испарения и впитывания почвы, можно рассчитать и объём водохранилища при заданной высоте плотины.

Так как водосборная площадь ограничена кривой линией, то для ее определения рациональней будет использовать механический способ. В этом способе предполагается использование специального прибора для измерения площадей - планиметра. Полярный планиметр (рис. 6, а) состоит из двух рычагов: обводного 2 и полюсного 3, соединенных шарниром в точке 1.

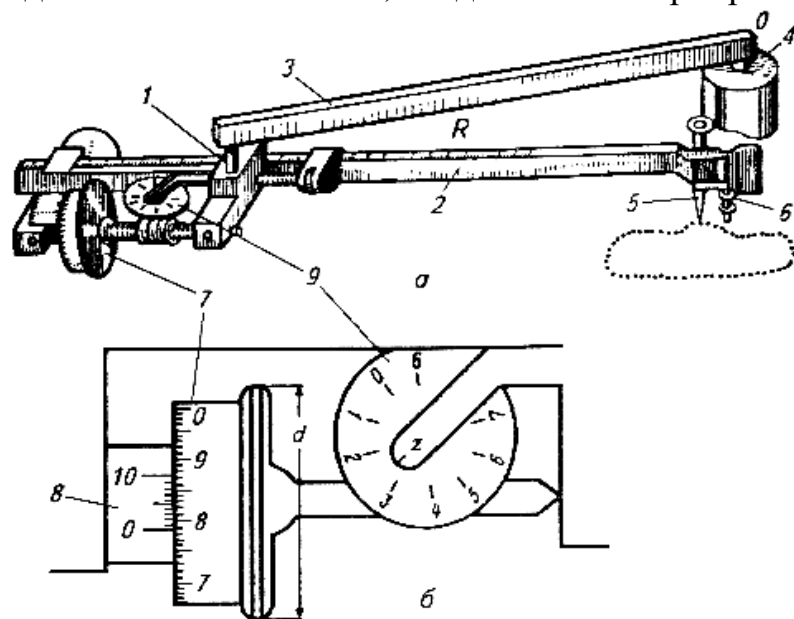


Рис. 6 Полярный планиметр (а) и схема его отсчетного механизма (б):

1 – шарнирное соединение рычагов; 2 – обводной рычаг; 3 – полюсный рычаг; 4 – полюс; 5 – обводной индекс; 6 – опорный винт (штифт); 7 – счетный ролик; 8 – верньер (нониус); 9 – циферблат отсчетного механизма (отсчет по отсчетному механизму – 2783)

Обводят фигуру обводным индексом 5, расположенным на конце обводного рычага. Обводным индексом служит либо конец шпиля (см. рис.6, а), либо точка на нижней поверхности стекла. Чтобы конец шпиля во время обвода не задевал за бумагу, его высоту над бумагой регулируют опорным винтом 6. На конце полюсного рычага 3 планиметра расположен *полюс* (точка О), который во время обвода укреплен на бумаге обводимой фигуры (иглой или грузом) и неподвижен. Результаты обвода (измерения площади) фигуры определяются вращением счетного ролика 7, который при обводе фигуры соприкасается с поверхностью бумаги. Для отсчетов результатов

обводов на цилиндрической поверхности счетного ролика нанесены деления планиметра (рис. 6, б).

Обычно при измерении небольших площадей полюс крепится вне фигуры, с таким расчётом, чтобы при её обводе углы между полюсами и обводным рычагом были не менее 30° и не более 150° .

Для измерения площади фигуры точка обвода (обводной шпиль) устанавливается на контуре границы и берется начальный отсчёт n_1 , (рис. 6, б). Этот отсчёт состоит из числа полных оборотов диска – 2 (снимается по циферблату прибора), числа целых делений барабана, прошедших до нуля малой шкалы верньера – 78 (две цифры) и долей деления, снимаемых по номеру совпадающего штриха нониуса – 3 (верньера) с каким-либо делением барабана. Так, отсчёт на рис. 6. равен $n_1 = 2783$.

После обвода фигуры снимается второй отсчёт n_2 и её площадь в делениях планиметра будет равна

$$P' = (n_2 - n_1).$$

Если известна цена деления и планиметра в квадратных метрах или гектарах, то искомая площадь составит

$$P = P' \times \mu = (n_2 - n_1) \times \mu.$$

Для определения цены деления планиметра нужно измерить этим прибором площадь какой-либо фигуры с известными размерами и площадью P_o (например, один или несколько квадратов координатной сетки). Тогда

$$\mu = P_o / (n'_2 - n'_1).$$

В целях контроля и повышения четности площадь фигуры обычно измеряется несколько раз.

Результаты измерения водосборной площади оформлены в таблице 2 и 3.

Таблица 2 Определение цены деления полярного планиметра

№ отсчета	Отсчет	Разность	Среднее	$P_o, \text{м}^2$	Цена деления, $\text{м}^2 / \text{дел}$
1	8727				
		971			
2	9698		973,5	6400	6,57
		976			
3	0674				

При двойном обводе квадрата, образованного линиями координатной сетки, на карте масштаба 1:1000 (площадь квадрата со стороной 8 см – 80 м равна 6400 м²), получены три отсчета. Эти отсчеты записаны в таблицу 2 и в этой таблице вычислена дважды площадь квадрата в делениях планиметра:
 $P'_{2-1} = (n_2 - n_1) = 971$ и $P'_{3-2} = (n_3 - n_2) = 976$ дел. Цена деления будет равна
 $\mu = P_0 / P'_{\text{ср}} = 6400 / 973,5 = 6,57 \text{ м}^2/\text{дел}$.

Значение цены деления записывается в таблицу 3

Таблица 3 Определение водосборной площади

№ отсчета	Отсчет	Разность	Среднее	Цена деления, м ² /дел	P, м ²
1	1628				
		243			
2	1871		243,5	6,57	1599,8
		244			
3	2115				

На обводимом контуре водосборной площади выбирают точку, с которой совмещается точка обвода планиметра и фиксируется первый отсчет, записываемый в таблицу. Последующие два последовательных обвода принесут еще два отсчета. Последовательно получаем разности и как среднее из них водосборную площадь в делениях планиметра. Цена планиметра нам известна и результат будет

$$P = 243,5 \times 6,57 = 1599,8 \text{ м}^2, \text{ заносим в таблицу 3.}$$

Построение продольного профиля местности по линии, заданной на карте

Построение профиля (разреза) местности является обязательным условием при проектировании трасс линейных сооружений, кроме этого профили местности строят для определения условий специального обзора при детальном изучении местности для целей проектирования строительных объектов.

С этой целью на карте по заданному направлению проводится прямая и на ней отмечают точки пересечения трассы с горизонталями, и характерные точки, расположенные на перегибах местности. Затем к этой прямой

прикладывают полоску бумаги, на которую перенося все отмеченные точки. Эту полоску совмещают с верхней линией пояснительной сетки профиля для переноса отмеченных точек, в графу «горизонтальные расстояния» вписывают их значения (рис. 7). Над каждой точкой подписывается её отметка, взятая по горизонталям.

Построение профиля делают с помощью линии условного горизонта, которому придают отметку на несколько метров ниже самых низких точек профиля (так, чтобы точки с минимальными отметками остались выше условного горизонта на 5 – 7 см), обычно вертикальный масштаб профиля для наглядности делают в 10 раз крупнее горизонтального масштаба. Но соотношение масштабов может быть иным, многое зависит от масштаба карты и ли плана и сложности рельефа.

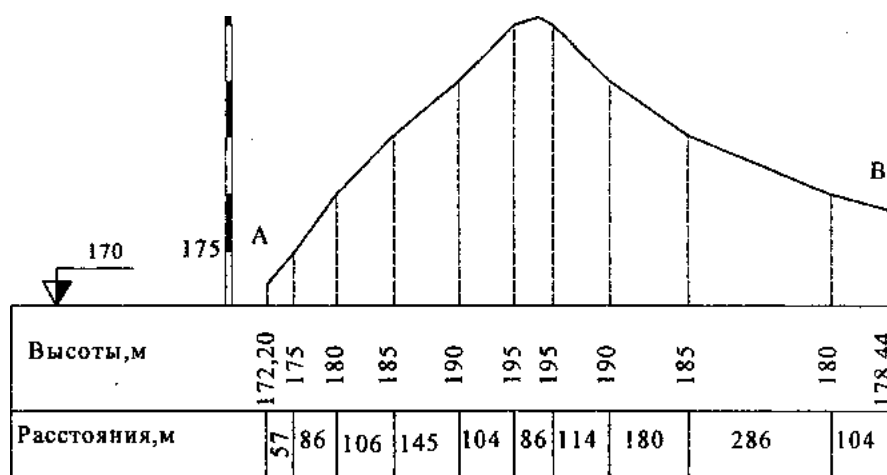


Рис. 7 Продольный профиль по линии АВ

От линии условного горизонта в отмеченных точках строят перпендикуляры и на них в выбранном вертикальном масштабе откладывают отрезки, равные разности отметок точек профиля и условного горизонта. Концы отрезков соединяют прямыми, и в итоге получают изображение вертикального разреза земной поверхности в заданном направлении.

Лабораторная работа №2 Изучение теодолита

Цель и задачи работы

Изучить устройство и поверки теодолита; получить практические навыки измерения углов и расстояний с помощью теодолита.

Устройство теодолита

На рис. 1 дан схематический вертикальный разрез теодолита, где показан становой винт 1, с помощью которого прибор крепится к верхней части штатива 2 при помощи пружинящей пластины 3. Подъемные винты 4 обеспечивают установку плоскости лимба 8, представляющего собой металлическое или стеклянное кольцо с нанесенными на нее угловыми делениями, в горизонтальное положение. В подставке 5 фиксируются оси лимба 8 и алидады 9. Алидада - концентрически связанное с лимбом кольцо, несущее на себе отсчетные приспособления. Колонка 10 поддерживает ось 13 зрительной трубы 15.

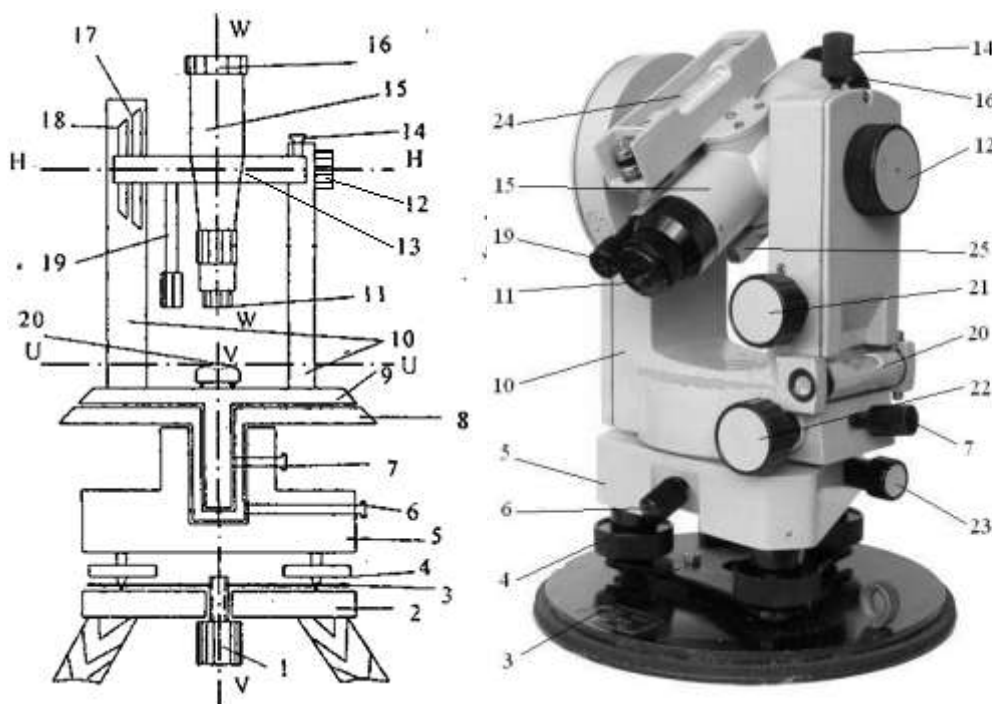


Рис. 1. Схема устройства и общий вид теодолита

1 – становой винт; 2 – головка штатива; 3 – пружинящая пластина; 4 – подъемные винты; 5 – подставка; 6 – закрепительный винт горизонтального круга; 7 – закрепительный винт алидады; 8 – лимб горизонтального круга; 9 – алидада горизонтального круга; 10 – колонка; 11 – окуляр зрительной трубы; 12 – фокусирующий винт; 13 – ось зрительной трубы; 14 – закрепительный винт зрительной трубы; 15 – зрительная труба; 16 – объектив зрительной трубы; 17 – лимб вертикального круга; 18 – алидада вертикального круга; 19 – микроскоп; 20 – цилиндрический

уровень; 21 – наводящий винт зрительной трубы; 22 – наводящий винт алидады; 23 – наводящий винт горизонтального круга; 24 – цилиндрический уровень зрительной трубы; 25 – визир.

Зрительная труба состоит из окуляра 11 объектива 16. Фокусирование зрительной трубы осуществляется вращением фокусирующего винта 12. С вертикальной осью конструктивно связаны лимб 17 и алидада 18 вертикального круга. На том же рисунке показаны ось вращения 13 зрительной трубы. При помощи ряда линз часть горизонтального и вертикального кругов передается в поле зрения отсчетного микроскопа 19 для обеспечения точной фиксации отчетов при наведении на визирные цели. Основные части теодолита снабжены закрепительными 6,7,14 винтами, действующими совместно с наводящими винтами для обеспечения точной фиксации зрительной трубы на визирные цели. Цилиндрический уровень 20 снабжен исправительными винтами.

На том же рисунке указаны основные геометрические и оптические оси теодолита: ось $V - V$ вращения теодолита, ось $U - U$ цилиндрического уровня, ось $H - H$ вращения зрительной трубы и визирная ось WW , воображаемая линия, соединяющая главную заднюю точку объектива с пересечением сетки нитей (рис. 2).

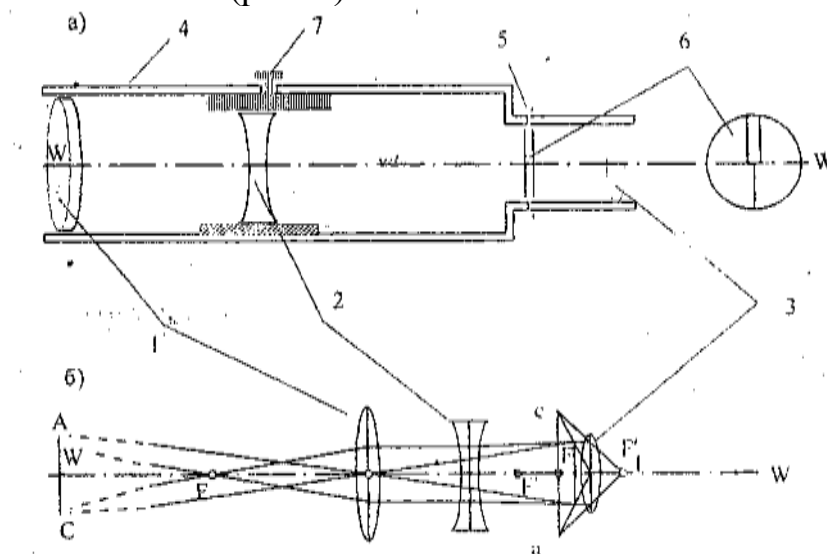


Рис. 2. Устройство зрительной трубы (а) и ход лучей в трубе с внутренним фокусированием (б)

Устройство отдельных частей теодолита

Зрительная труба - предназначена для наблюдения удаленных предметов и поэтому построена по телескопической системе, в которой при установке трубы на бесконечность задний фокус ее объектива совпадает с передним фокусом окуляра. При геодезических работах расстояния до наблюдаемых точек конечны, поэтому изображения предметов в трубе могут

занимать разные позиции, в зависимости от расстояния до наблюдаемых целей. На рис. 2 показаны: разрез зрительной трубы с внутренним фокусированием с сеткой нитей и ход лучей в оптической системе.

Оптическая система зрительной трубы состоит из объектива 1, двояковогнутой фокусирующей линзы 2 и окуляра 3. Между окуляром и двояковогнутой линзой находится стеклянная пластина с нанесенной на ней сеткой нитей 6 с исправительными винтами 5. При помощи фокусирующего винта 7 можно изменять расстояние между объективом и двояковогнутой линзой, чем достигается резкое изображение наблюдаемой цели. Действие оптической системы зрительной трубы показано на рис. 2 б.

Уровни - предназначены для установки осей и плоскостей геодезических приборов в горизонтальное или отвесное положение. Различают два типа уровней, – более точные – цилиндрические и менее точные – круглые (шаровые).

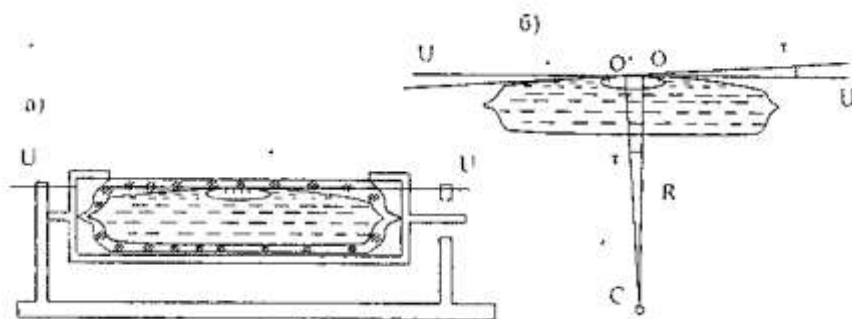


Рис. 3. Устройство цилиндрического уровня (а) и цена деления τ (б)

Цилиндрический уровень (рис. 3) представляет собой стеклянную ампулу тороидальной формы, заключенную в металлическую оправу. Внутренняя поверхность ампулы отшлифована по дуге окружности радиуса R . Ампула заполнена спиртом или эфиром. Остающееся свободное пространство ампулы, содержащее пары жидкости называется пузырьком уровня - он стремится занять в ней наивысшее положение.

На наружной поверхности ампулы нанесены через 2 мм деления. Средняя точка шкалы называется нуль – пунктом: а осью цилиндрического уровня является касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль – пункте. Ценой деления уровня служит центральный угол τ , опирающийся на одно деление уровня. В технических теодолитах τ составляет 30 – 60', в нивелирах 5 – 30'.

Если пузырек уровня находится в нуль – пункте, то его ось занимает горизонтальное положение; Наклон ν оси уровня относительно горизонта определяют по величине смещения пузырька относительно нуль – пункта, так что $\nu = n \cdot \tau$, где n – число делений уровня, на которое сместился пузырек.

Круглые уровни с ценой деления в несколько минут предназначены для предварительной установки прибора в рабочее положение. Внутренняя

поверхность ампулы такого уровня отшлифована под сферу некоторого радиуса. Деления на внешней стороне ампулы имеют вид концентрических окружностей, центр которых служит нуль - пунктом. Осью круглого уровня служит радиус сферы, опущенный из нуль – пункта.

Горизонтальный круг теодолита состоит из двух частей – лимба и алидады. В современных теодолитах лимб представляет собой стеклянное кольцо, на которое нанесены градусные деления или кодовые дорожки (в электронных теодолитах). Счет делений идет по ходу часовой стрелки. На алидаде, концентрически связанной с лимбом установлены отсчетные приспособления. Сверху алидада закрыта кожухом, на котором крепятся подставки зрительной трубы. Во время измерения горизонтальных углов лимб должен оставаться неподвижным, верительная труба вместе с алидадой устанавливается в заданном направлении.

Отсчетные приспособления. Отсчетом называют угол, отсчитанный от нулевого деления лимба до указателя (нулевого штриха) отсчетного приспособления.

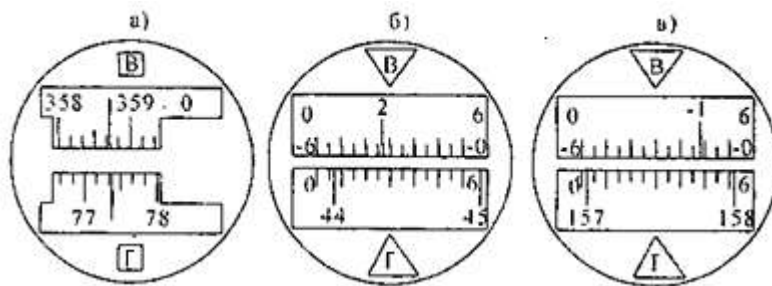


Рис. 4. Штриховой и шкаловой (а) микроскопы теодолита (б), (в)

В современных теодолитах используемых в оперативной практике такими приспособлениями служат штриховой или шкаловой микроскопы (рис.4)

В штриховом микроскопе отсчет берут «на глаз» по штриху указателю. На рис. 4а отсчет по вертикальному кругу равен $358^{\circ}42'$; по горизонтальному кругу отсчет $77^{\circ}22'$. В поле зрения шкалового микроскопа видны градусные деления лимба и шкала, состоящая из более мелких делений, занимающая одно деление лимба. Здесь отсчет состоит из целого числа градусов, прошедших до нуля шкалы, к которому добавляется отсчет по шкале (на рис.4б отсчет по вертикальному кругу равен $+2^{\circ}27'$; по горизонтальному кругу отсчет $44^{\circ}07'$). На рис 4в по вертикальному кругу демонстрируется отрицательный отсчет – $1^{\circ}12'$;

Установка теодолита

Установка теодолита включает в себя следующие операции:

- установка теодолита по уровню на алидаде горизонтального круга;
- установка зрительной трубы по глазу;

- приблизительное наведение трубы на наблюдаемую точку;
- установка трубы по предмету;
- точное наведение пересечения сетки нитей трубы на визирную цель;
- взятие отсчёта по горизонтальному или вертикальному кругам теодолита.

Теодолит устанавливается и крепится на штативе или столике станковым винтом. Для установки лимба в горизонтальное положение используют цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга. Алидаду теодолита поворачивают так, чтобы ампула цилиндрического уровня стала примерно параллельно линии, соединяющей два подъёмных винта, и, вращая эти винты в противоположные стороны, приводят пузырёк уровня на середину. После этого поворачивают алидаду на 90° и третьим винтом также приводят пузырёк уровня в нуль-пункт. Для установки зрительной трубы по глазу её направляют на светлый фон и, глядя в трубу, вращают диоптрийное кольцо окуляра, добиваясь чёткого изображения сетки нитей.

Приближённое наведение зрительной трубы на наблюдаемую точку выполняют так: ослабив закрепительные винты алидады и трубы, направляют её, как бы прицеливаясь, по перекрестью визира на выбранную цель и затягивают закрепительные винты.

Перед точным наведением вращением фокусирующего винта достигают точного изображения наблюдаемой точки и точное наведение перекрестия нитей на наблюдаемую точку выполняют наводящими винтами алидады и трубы: эти винты не будут работать, если не затянуть закрепительные винты.

Если наблюдается вежа, то перекрестие нитей наводится на самый низ вежи (у земли), а при наблюдении пирамиды – на визирный цилиндр, или то же самое при наведении на специальную визирную марку, установленную над точкой.

Отсчёты по вертикальному и горизонтальному кругу берут по шкаловому или штриховому микроскопам (рис.4) через параллельную визирную трубку, отсчитывая градусы и минуты дуги лимба до нулевого штриха отсчётного приспособления.

Поверки теодолита

Согласно принципиальной схеме теодолита между его осями должны соблюдаться определенные геометрические соотношения, которые подлежат проверке и, при необходимости, исправлению, для чего теодолит обеспечивается исправительными винтами, позволяющими изменять положение выверяемых осей.

В теодолите должны совмещаться три основных условия:

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита. Цель проверки:

поставить уровень так, чтобы с его помощью можно было устанавливать алидаду в горизонтальное положение.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси ее вращения. Это условие ставится для того, чтобы визирная ось при вращении вокруг горизонтальной оси описывала бы проектирующую коллимационную плоскость, а не коническую поверхность. Угол «С», на который отклоняется визирная ось от перпендикуляра к оси вращения, называют коллимационной ошибкой.

3. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита. Цель проверки: добиться того, чтобы коллимационная плоскость была перпендикулярна плоскости горизонтального круга.

Первая проверка – ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

После предварительной установки теодолита тремя подъёмными винтами, алидаду уровня располагают так, чтобы она стала параллельна линии, соединяющей два подъёмные винта и, действуя ими, приводят пузырёк уровня в нуль – пункт. В результате этих действий ось уровня займёт горизонтальное положение $L' - L'$ (рис.5), но она может быть не перпендикулярна к оси вращения, угол $\beta \neq 90^\circ$.

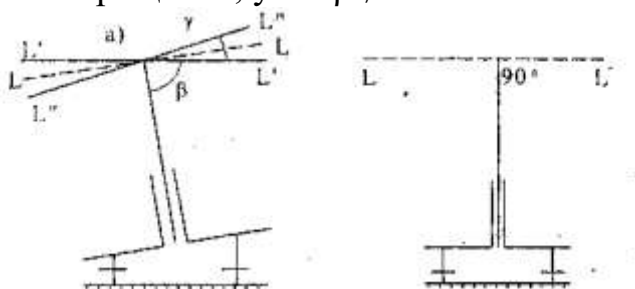


Рис. 5. Геометрическая схема первой проверки

В целях проверки поворачивают алидаду на 180° , и если пузырёк отклоняется от середины, то ось уровня после поворота наклонена относительно горизонта на угол γ и занимает положение $L'' - L''$.

Так как, $2\beta + \gamma = 180^\circ$, то $\beta = 90^\circ - \gamma/2$.

Чтобы угол β стал прямым нужно исправительным винтом уровня сдвинуть пузырёк в сторону середины на половину дуги отклонения, чтобы ось уровня заняла положение $L - L$. После этого подъёмным винтом приводят пузырёк уровня в нуль – пункт. Для контроля проверка повторяется.

Чтобы привести теодолит в рабочее положение алидаду поворачивают на 90° и третьим подъёмным винтом также приводят пузырёк уровня на середину.

Для окончательного утверждения, что проверяемое условие выполнено, поворачивают горизонтальный круг в произвольном направлении. И если

пузырёк остаётся на середине ампулы или отклоняется от неё не более чем на одно деление, значит условие выполнено.

Вторая поверка - визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси её вращения.

Поверку выполняют путём двукратного наведения зрительной трубы на удалённую точку местности, расположенную примерно на уровне трубы, с взятием отсчётов по горизонтальному кругу. Пусть первое наведение велось при положении вертикального круга слева от трубы (КЛ), а второе, после перевода трубы через зенит и поворота алидады на 180° , при круге право (КП) (рис.6).

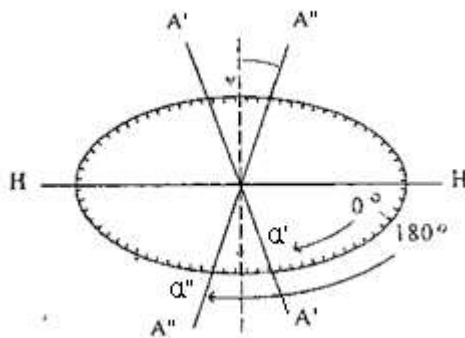


Рис. 6. Коллимационная ошибка С

На рисунке Н – Н – ось вращения трубы; А' – А' и А'' – А'' – положения визирной оси при КЛ и КП; а' и а'' – отсчёты по горизонтальному кругу; «С» – коллимационная ошибка – отклонение визирной оси от перпендикуляра к оси вращения трубы.

Как следует из рисунка, коллимационная ошибка вычисляется по формуле

$$C = (a'' - a' \pm 180^\circ) / 2.$$

Если окажется, что величина ошибки С превышает двойную точность отсчёта, эту ошибку нужно исправить: С этой целью наводящим винтом алидады устанавливают отсчёт a_0 , свободный от влияния этой ошибки.

$$a_0 = (a'' + a' \pm 180^\circ) / 2,$$

Теперь, наблюдая в зрительную трубу можно заметить, что перекрестие нитей сошло с наблюдаемой точки. Для исправления снимают с окулярного патрубка трубы колпачок. Ослабляют вертикально расположенные винты сетки и вращением горизонтальных исправительных винтов (один вывинчивать, другой – ввинчивать) перемещают сетку до совпадения перекрестия нитей с наблюдаемой точкой. После исправления винты закручивают.

Пример:

$$a' = 119^\circ 37'; a'' = 299^\circ 32'.$$

$$C = (299^\circ 32' - 119^\circ 37' - 180^\circ) / 2 = -2' 30''$$

$$a_0 = (299^\circ 32' + 119^\circ 37' - 180^\circ) / 2 = 119^\circ 34' 30''.$$

Третья поверка – ось вращения трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

Поверка может быть выполнена двумя способами:

1) путём наблюдения большой нити отвеса на всём её протяжении, – при наклоне зрительной трубы перекрестие нитей не должно уклоняться от нити отвеса;

2) проектированием коллимационной плоскости трубы на некоторую картинную плоскость (стену). Для выполнения поверки этим способом теодолит устанавливают в 10 – 15 м от стены здания и зрительную трубу наводят на некоторую точку, высоко расположенную на здании. Закрепляют горизонтальный круг и трубу плавно опускают до горизонтального положения и на стене здания отмечают точку A_1 в которую направлено перекрестие сетки нитей. Затем, ту же операцию выполняют после поворота трубы через зенит, получая вторую точку A_2 . Если изображение отрезка A_1A_2 не выходит за пределы биссектора, то теодолит исправен. В современных модификациях теодолитов это условие гарантируется изготовителем. Если нарушение выявлено, то исправление ведется в мастерской.

Среднее из отсчётов по горизонтальному кругу при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ) свободно от влияния двух последних инструментальных ошибок.

Кроме перечисленных проверок нужно установить вертикальную нить сетки параллельно нити отвеса, наблюдая нить отвеса. Исправление достигается поворотом всей сетки при ослабленных крепёжных винтах.

Измерение горизонтального угла способом полуприемов

Для измерения горизонтального угла в полевых условиях теодолит устанавливается над вершиной угла «В» по отвесу с технической точностью (до 5 мм) и, по уровню плоскость лимба приводится в горизонтальное положение.

Над наблюдаемыми точками или позади них устанавливают визирные цели: вехи или марки (на рисунке 7 установлены вехи).

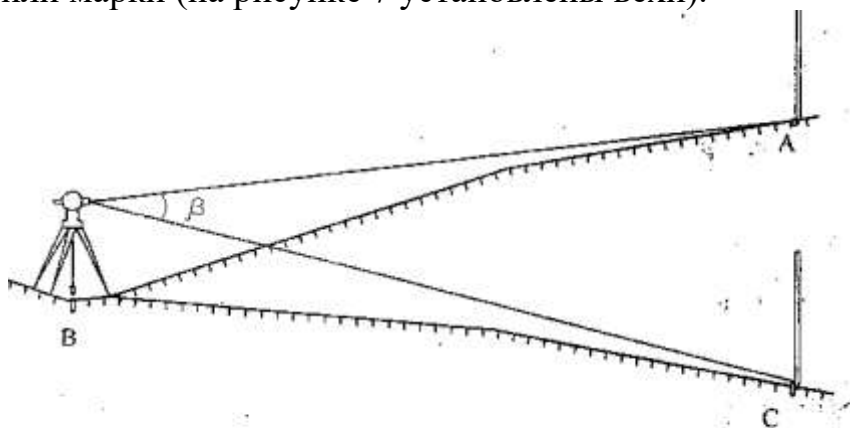


Рис.7. Схема измерения горизонтального угла

Порядок измерения горизонтального угла рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1) находясь на вершине измеряемого угла, зрительную трубу при закреплённом лимбе, наводят на левую точку «А» и берут отсчёт по горизонтальному кругу (I наведение). Для больше надёжности измерений делают контрольное наблюдение и вновь берут отсчёт (II наведение). Полученные результаты записывают в журнал измерения горизонтальных углов и вычисляют средний отсчет по направлению на точку «А».

2) вращением алидады по часовой стрелке зрительную трубу наводят на правую точку «С» и берут отсчеты по горизонтальному кругу и записывают их в журнал, в строку отведенную для этого направления.

3) измеряемый угол «ABC» вычисляется как разность средних отсчётов по горизонтальному кругу

$$\beta_{ABC} = C_{\text{ср.}} - A_{\text{ср.}} \text{ (если } C_{\text{ср.}} < A_{\text{ср.}}, \text{ то к отсчёту } C_{\text{ср.}}, \text{ прибавляют } 360^\circ).$$

Эти операции составляют один полуприём. Для исключения остаточного влияния инструментальных погрешностей и повышения точности измерений, все перечисленные операции повторяют при другом положении зрительной трубы поворотом её через зенит. Выполнять второй полуприём желательно при другой установке лимба. Временно ослабляют закрепительный винт лимба и поворачивают теодолит на $90^\circ \pm 5-10'$ в любую сторону. Если значение углов «C₁» и «C₂» в полуприемах отличаются в пределах двойной точности отсчёта, вычисляется среднее значение угла (табл.1).

Таблица 1 Журнал измерения горизонтальных углов

Вершина угла	Направление	Отсчет			Углы	
		I	II	Среднее	Полуприем	Среднее
1 полуприем – КП						
В	A	45°15'	16'	45°15'30"	105°50'00"	105°50'00"
	C	151°05'	06'	151°05'30"		
2 полуприем – КЛ						
В	A	341°12'	12'	341°12'00"	105°50'00"	
	C	87°02'	02'	87° 02'00"		

Измерение вертикального угла

Вертикальным углом называют угол наклона визирной линии относительно плоскости горизонта (рис. 8). Для измерения этих углов теодолит снабжён вертикальным кругом, также состоящим из лимба и алидады. Лимб тесно связан со зрительной трубой, а алидада устанавливается в рабочее положение по уровню или с помощью маятникового компенсатора.

Измеряемый угол наклона имеет знак «+» если визирная ось направлена выше плоскости горизонта или знак «-», если она направлена ниже. Значения углов меняются в пределах от 0° до 90° .

Из-за инструментальных погрешностей сборки прибора фактический угол наклона равен не отсчету, взятому при наклонном положении визирной оси, а разности двух отсчётов: отсчета (КП или КЛ) при наклонном положении трубы и заранее вычисленного отсчёта, соответствующего её горизонтальному положению. Такой отсчёт называют местом нуля (МО) вертикального круга.

Местом нуля называют отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси, когда пузырёк уровня на алидаде находится в нуль – пункте (или, – для теодолитов с компенсаторами, при горизонтальном положении линии отсчётных индексов).

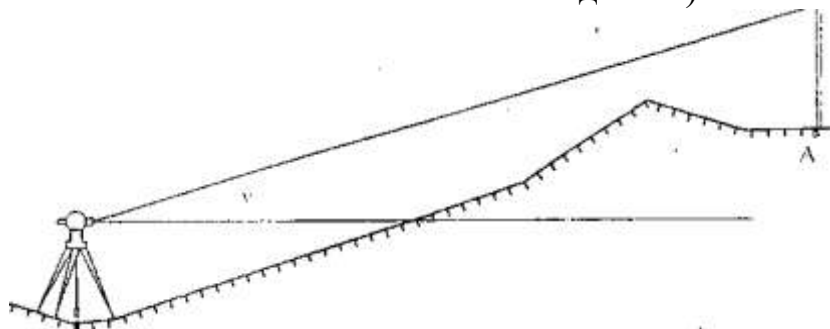


Рис. 8. Измерение вертикального угла

Для определения места нуля необходимо, после установки теодолита в рабочее положение по уровню, дважды направить зрительную трубу на точку при круге лево и круге право и взять отсчёты КЛ и КП. У теодолитов с уровнями при алидаде вертикального круга (Т5, 2Т5 и др.) перед отсчётами пузырёк этого уровня приводится в нуль – пункт установочным винтом алидады. Для разных конструкций вертикальных кругов формулы для вычисления его и углов наклона v неодинаковы. Например, для теодолитов технической точности (типа 2Т-30) с плюсовой и минусовой оцифровкой деления эти формулы таковы:

$$МО = (КП + КЛ)/2; v = КЛ - МО = МО - КП = (КЛ - КП)/2.$$

Например.

$$КЛ = 4^\circ 15', КП = -4^\circ 21'; МО = -0^\circ 03';$$

$$v = 4^\circ 15' - (-0^\circ 03') = -0^\circ 03' - (-4^\circ 21') = (4^\circ 15' - (-4^\circ 21'))/2 = 4^\circ 18';$$

Для теодолитов с круговой оцифровкой делений лимба (Т2, Т5):

$$MO = (KP + KL)/2; v = KP - MO = MO - KL = (KL - KP)/2.$$

При вычислении по этим формулам, ко всем отсчётам, меньшим 90° прибавляют 360° или 180° , имея ввиду, что МО здесь уже не может быть отрицательным числом, а углы наклона варьируются в пределах от 0° до $\pm 90^\circ$.

Пример:

$$KP = 342^\circ 07'; KL = 17^\circ 45'$$

$$MO = (342^\circ 07' + 17^\circ 45' + 360^\circ) = 359^\circ 56' \text{ или } - 0^\circ 04'.$$

$$v = 342^\circ 07' - 359^\circ 56' = 359^\circ 56' - (17^\circ 45' + 360^\circ) = - 17^\circ 49'.$$

Формулы для вычисления углов наклона можно получить в техническом паспорте теодолита.

Измерение вертикальных углов можно делать при любом значении МО (табл.2). Важно, чтобы оно осталось неизменным в ходе измерений. Однако, для удобства вычислений полезно привести МО к нулевому значению. С этой целью, получив из наблюдений МО и вычислив угол наклона, устанавливают на вертикальном круге отсчёт равный этому углу наклона. Так для первого примера он будет равен: $KL = + 4^\circ 18'$. Для второго примера: $KL = 17^\circ 49'$ или $KP = 342^\circ 11''$. Теперь, наблюдая в трубу, можно увидеть, что средняя горизонтальная нить сошла с наблюдаемой точки и ее совмещают с ней вертикальными исправительными винтами сетки нитей (вывинчивая один из винтов и ввинчивая второй).

Результаты измерения вертикального угла заносят в таблицу 2.

Таблица 2 Измерение вертикальных углов

Станция	Наблюдаемые точки	Отсчет		МО	Угол наклона
		КЛ	КП		
В	А	+ $4^\circ 15'00''$	- $4^\circ 21'00''$	- $0^\circ 03'00''$	+ $4^\circ 18'00''$
	С	- $7^\circ 25'00''$	+ $7^\circ 18'00''$	- $0^\circ 03'50''$	- $7^\circ 21'50''$

Определение расстояния нитяным дальномером

Для измерения расстояния нитяным дальномером зрительную трубу теодолита направляют на отвесно стоящую рейку на конце линии и снимают отсчёты в миллиметрах по дальномерным нитям зрительной трубы (рис. 9). На рейках подписаны дециметры, а каждая чёрная или белая шашка равна 10 мм.

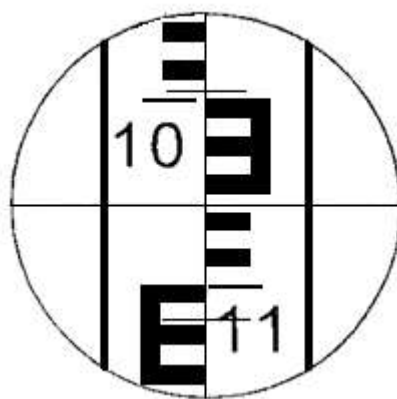


Рис.9. Отсчёты по дальномерным нитям

На рисунке отсчет по верхней нити равен 0996 мм, а по нижней нити 1118 мм. Разности этих отсчётов

$$l = 1118 - 0996 = 122 \text{ мм.}$$

Умножив эту разность на коэффициент дальномера $K = 100$ получают расстояние до рейки:

$$D = k \cdot l = 100 \cdot 122 = 12200 \text{ мм} = 12,20 \text{ м.}$$

На лабораторной работе нужно это расстояние определить дважды – по чёрной и красной стороне рейки. Расхождение в результатах в лабораторных условиях не должно превышать 0,2 м (табл.3).

Таблица 3 Измерение расстояния нитяным дальномером

Линия	Отсчет по нити		Разность отсчетов	Расстояние, м	Среднее расстояние, м
	верхней	нижней			
ВА	996	1118	122	12.20	12,15
	5696	5817	121	12.10	

Лабораторная работа №3 Изучение нивелира

Цель и задачи работы

Изучить устройство и поверки нивелира; получить практические навыки измерения превышений и высот точек с помощью нивелира.

Устройство нивелира

В настоящее время на производстве используют в основном два вида нивелиров - нивелиры с компенсаторами маятникового типа или жидкостными компенсаторами, которые должны автоматически удерживать визирную ось в горизонтальном положении (при наклоне трубы в пределах 5 – 20') (рис. 10) и нивелиры с уровнем при трубе (рис.11). Устройство нивелира представлено на рис. 11а.



Рис. 10. Нивелир с компенсатором углов наклона С4-10

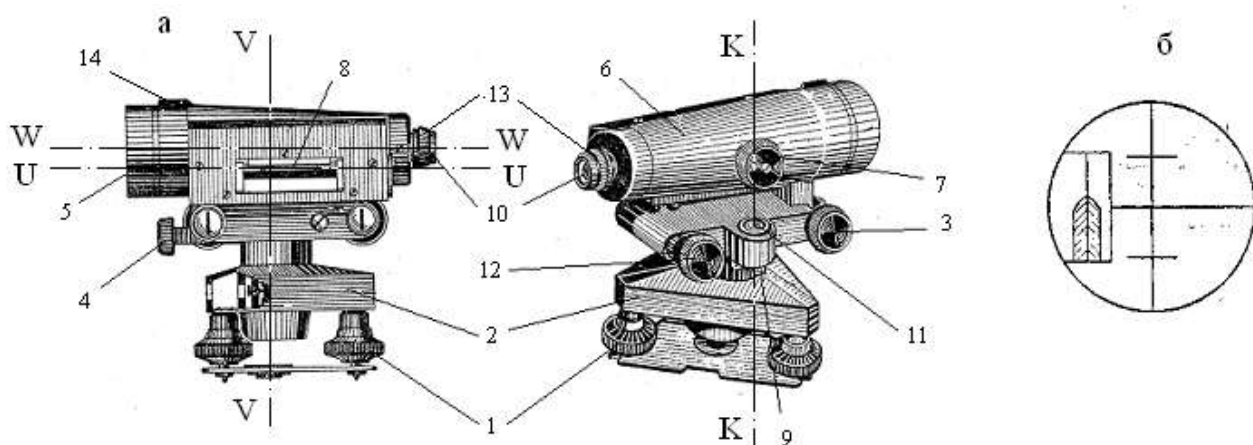


Рис. 11. Нивелир Н – 3: а – устройство нивелира, б – поле зрения нивелира
1 – подъемные винты; 2 – подставка; 3 – наводящий винт зрительной трубы; 4 – закрепительный винт зрительной трубы; 5 – объектив; 6 – зрительная труба; 7 – фокусирующий винт; 8 – цилиндрический уровень; 9 –

исправительные винты; 10 – окуляр; 11 – круглый уровень; 12 – элевационный винт; 13 – диоптрийное кольцо окуляра; 14 – мушка.

С помощью станового винта нивелир крепится к штативу. На подставке 2 имеются подъемные винты 1, которыми осуществляется предварительная установка прибора по круглому уровню 11. Зрительная труба 6 состоит из объектива 5 и окуляра 10, а также снабжена фокусирующим винтом 7 для фокусировки изображения. Для наводки на рейку используют закрепительный 4 и наводящий 3 винты. Точная установка по цилиндрическому уровню 8 осуществляется элевационным винтом 12, позволяющим наклонять зрительную трубу вместе с уровнем на небольшой угол.

Цилиндрический и круглый уровни снабжены исправительными винтами 9. Перед каждым отсчетом по рейке элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня приводится в нуль – пункт. Особенностью конструкции данного нивелира является наличие в зрительной трубе системы линз, с помощью которых изображения концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы. Пузырек находится в нуль – пункте тогда, когда его концы совпадают друг с другом, находятся в контакте (рис. 11б)

Примером такого нивелира является широко распространенный на производстве нивелир Н – 3 – глухой нивелир с элевационным винтом.

У нивелира с уровнем должны соблюдаться следующие геометрические условия:

1. Ось круглого уровня К – К на подставке прибора должна быть параллельна оси V – V вращения нивелира.

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

3. Ось цилиндрического уровня U – U должна быть параллельна визирной оси W – W зрительной трубы (главное условие).

У нивелиров с компенсаторами (С4–10) первые две проверки аналогичны, а третье условие заключается в том, что визирная ось трубы в рабочем положении должна быть горизонтальна.

Установка нивелира в рабочее положение

Установка нивелира включает в себя следующие операции:

- установка нивелира по круглому уровню;
- установка зрительной трубы по глазу;
- приблизительное наведение трубы на рейку;
- установка трубы по предмету;
- точное наведение пересечения сетки нитей на рейку;
- взятие отсчёта по рейке.

Нивелир устанавливается и крепится на штативе или столике станковым винтом. Для предварительной установки нивелира в рабочее положение используют круглый уровень, приводя тремя подъемными винтами пузырек уровня в нуль – пункт.

Приближённое наведение зрительной трубы на рейку выполняется при помощи мушки 14 (рис. 11а), и после этого закручивают закрепительный винт. Точное наведение вертикальной нити на ось симметрии рейки выполняется наводящим винтом.

Установка зрительной трубы по глазу выполняется также как и в теодолите: её направляют на светлый фон, и, глядя в трубу, вращают диоптрийное кольцо окуляра 13 (рис. 11а), добиваясь чёткого изображения с нитей. Затем вращением фокусирующего винта достигают точного изображения рейки.

Действуя элевационным винтом, приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль пункт, контролируя это действие оптическим контактом (рис. 11б).

Отсчет по рейке берется по средней нити, на рис. 12 отсчет равен 1056, если измеряется расстояние, то отсчитывают по дальномерным нитям, но только при оптическом контакте концов пузырька цилиндрического уровня.

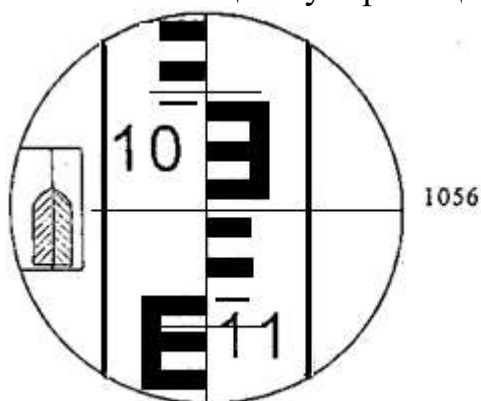


Рис. 12. Поле зрение трубы нивелира и взятие отчета

Поверки нивелира

Поверки нивелира выполняются с целью проверки соблюдения геометрических условий, необходимых для штатной работы прибора.

Первая проверка - ось круглого уровня при подставке прибора должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Поверку выполняют так: тремя подъёмными винтами приводят пузырек круглого уровня в нуль – пункт. Поворачивают прибор на 180°. Если пузырёк уровня отклоняется от середины, то исправительными винтами уровня перемещают пузырёк в сторону середины на половину дуги отклонения, а подъёмным винтом приводят его в нуль-пункт.

Для контроля поверку повторяют.

Вторая поверка - Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира.

Зрительную трубу нивелира наводят на рейку и берут отсчёт по левому краю нити. Затем наводящим винтом перемещают трубу по азимуту и снимают отсчёт по правому концу нити. Если эти отсчёты отличаются друг от друга не более чем на 1 мм, то нивелир считается исправным. В противном случае сетку нужно развернуть. Для этого ослабляют крепежные винты обоймы сетки и поворачиваются.

Третья поверка - Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы

Эта поверка называется главным условием для работы нивелира, так как без выполнения параллельности названных осей выполнение нивелирования невозможно.

Поверка в полевых условиях выполняется двойным нивелированием вперёд. Для этого на сравнительно ровной местности закрепляют кольями две точки на расстоянии 50 – 70 м друг от друга (рис. 13)

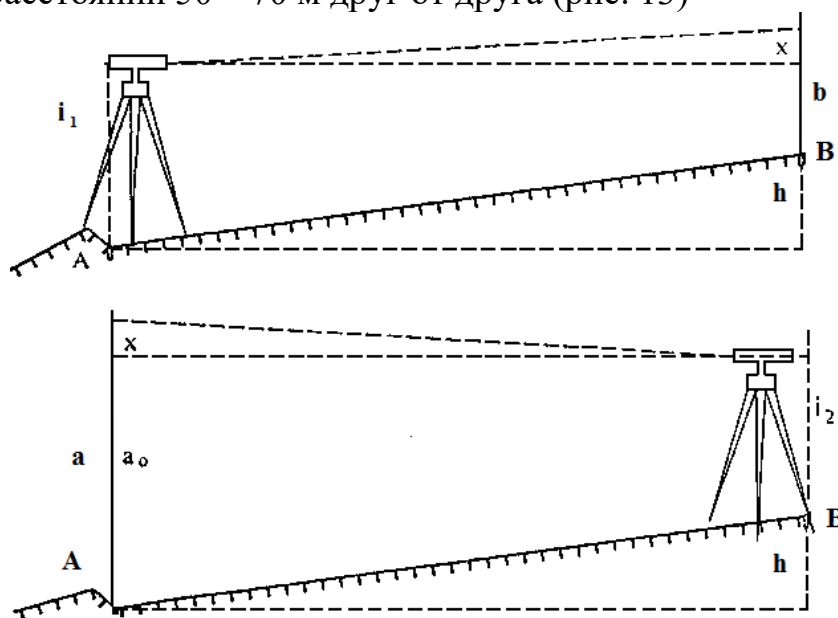


Рис. 13. Схема нивелирования при поверке главного условия

В точке «А» устанавливается нивелир, а над точкой «В» ставится рейка. После приведения прибора в рабочее положение по круглому уровню измеряют его высоту i_1 над точкой «А» с точностью до миллиметра.

Направляют трубу на рейку, и после совмещения элевационным винтом концов пузырька уровня берут отсчёт « b » по чёрной стороне рейки.

С учетом ошибки x , возникающей из-за непараллельности осей, превышение будет равно

$$h = i_1 - (b - x)$$

Поменяем нивелир и рейку местами и выполним второе нивелирование отрезка АВ. Превышения h в этом случае вычисляется по формуле

$$h = (a - x) - i_2$$

Приравнивая эти превышения, получим, что

$i_1 - b + x = a - x - i_2$, откуда $2x = -i_1 + b + a - i_2$ и, наконец,

$$x = \frac{a + b}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}$$

Если величина x окажется выше 4 мм, то положение цилиндрического уровня нужно исправить.

Пример: $i_1 = 1148$ мм, $b = 674$ мм, $i_2 = 1073$ мм, $a = 1601$ мм

$$x = (1601 + 674)/2 - (1148 + 1073)/2 = 1137,5 - 1110,5 = 27 \text{ мм.}$$

После вычисления правильного отсчета $a_0 = a - x = 1601 - 27 = 1574$ мм, не снимая нивелира со второй станции, элевационным винтом среднюю нить сетки нитей устанавливают на этот отсчёт по рейке, а пузырёк уровня возвращают в нуль-пункт исправительными вертикальными винтами уровня, открыв заслонку этого уровня у окулярной части трубы.

У нивелиров с компенсаторами (например, у нивелира С4–10), первые две поверки аналогичны, а третье условие заключается в том, что визирная ось трубы в рабочем положении должна быть горизонтальной. Поверка выполняется также двойным нивелированием, но исправление делается по-другому: на второй стадии исправленный отсчёт a_0 устанавливается с помощью вертикальных исправительных винтов сетки нитей.

Геометрическое нивелирование из середины

В геодезической практике используется два вида геометрического нивелирования: нивелирование из середины и нивелирование вперед. Вторым видом нивелирования используется при выполнении поверок и в стесненных условиях строительства. Пример такого нивелирования рассмотрен нами при выполнении поверки главного условия.

$$h = i_1 - (b - x) = 1148 - 674 + 27 = 501 \text{ мм или } h = a_0 - i_2 = 1574 - 1073 = 501 \text{ мм.}$$

Как можно заметить, этот вид нивелирования весьма чувствителен к ошибке, вызванной непараллельностью осей уровня и визирования.

При точном соблюдении равенства расстояний от нивелира до рейки нивелирование из середины позволяет исключать остаточные погрешности, возникающие при непараллельности осей.

В этом методе нивелирования прибор располагается между искомыми точками, на которые ставятся рейки (рис. 14)



Рис. 14. Схема геометрического нивелирования из середины

После установки нивелира в рабочее положение берутся отсчеты по чёрной стороне реек, установленных в искомых точках: «a» по задней и «b» по передней. Перед отсчётом элевационным винтом совмещают концы пузырька цилиндрического уровня. Отсчеты заносят в журнал нивелирования (табл. 4). Превышение вычисляется по формуле:

$$h = a - b$$

Для контроля выполняется нивелирование по красным сторонам реек. В журнале эти отсчеты записываются второй нижней строкой. Полученные значения превышений не должны отличаться друг от друга более чем на 4 мм. Среднее значение округляют с точностью до целых миллиметров.

Таблица 4

Журнал технического нивелирования

№ станции	№ точек	Отсчет по задней рейке	Отсчет по передней рейке	Превышение	Среднее превышение
	A	1546		-1210	-1212
1		6329			
	B		2756	-1213	
			7542		

Определение высот точек при помощи горизонта инструмента

В строительной практике широко используется нивелирование с целью определения высот точек при помощи горизонта инструмента. Такая схема определения высот взята из вертикальной съемки, нивелирования по

квадратам (рис.15). Приведем пример определения высот для контроля при зачистке дна котлована.

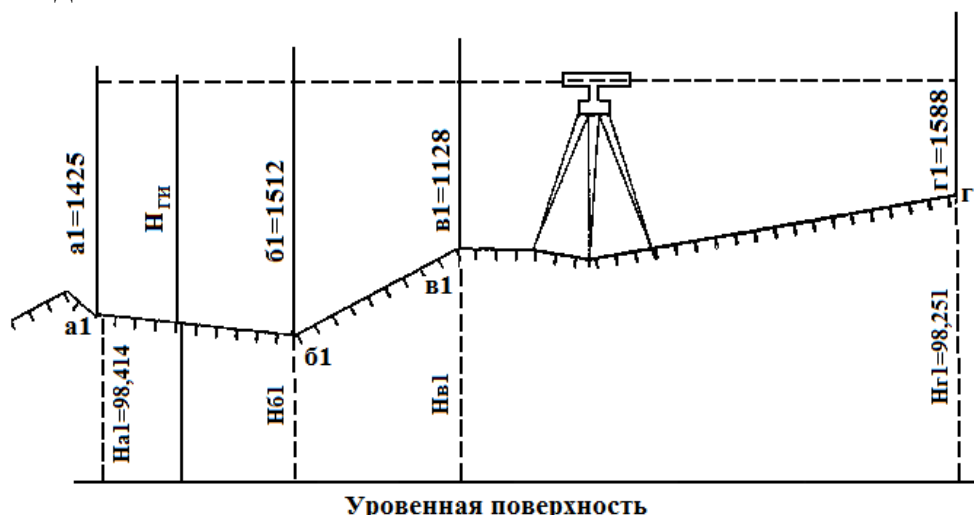


Рис. 15. Определение высот точек

Нивелир устанавливается посередине проверяемой области и приводится в рабочее положение по круглому уровню. Зрительная труба настраивается по глазу и предмету. На временном репере устанавливается рейка, и по ней берется отсчет «а» с предварительной установкой цилиндрического уровня с помощью элевационного винта. Этот отсчет на репере контролируется по черной стороне. Запись можно вести в специальном журнале (табл. 5).

Высота временного репера $H_{a1} = 98.414$ м. Отсчеты, взятые по красной и черной сторонам реек 6208 мм и 1425 мм, дают контроль 4783, равный разности шкал. Горизонт нивелира равен

$$H_{ги} = H_{a1} + a = 98,414 + 1,425 = 99,839 \text{ м}$$

Рейка устанавливается в точках пересечения продольных осей А, Б, В, Г и поперечной оси 1, а так же в промежутке между этими точками и по ней берутся отсчеты только по черной стороне рейки. Высоты вычисляются по формуле

$$H_{A1} = H_{ги} - c = 126,913 - 1,275 = 125,638 \text{ м}$$

Полученная высота в точке A_1 сравнивается с проектной отметкой дна котлована $H_{np} = 98,450$ и получается рабочая отметка.

$$h_{A1} = 98,450 - 98,414 = +0,036 \text{ м} = +3.6 \text{ см.}$$

Это означает подсыпку земли в данной точке приблизительно 4 см.

Таблица 5 Результаты нивелирного контроля зачистки дна котлована

Номер станции	Номера точек	Отсчеты по рейке		Горизонт нивелира	Высота	Рабочая отметка
		Черная	Красная			
1	Вр. реп.	1425	6208	99,839	98,414	+3,6
	Контроль: $6208 - 1425 = 4783$					
		1452			98,387	+6,3
	Б1	1512			98,327	+ 12,3
		1325			98,514	-6,4
	В1	1128			98,711	-26,1
		1259			98,580	-1,3
	Г1	1588			98,251	+ 19,9

В лабораторных условиях можно выполнить проверку высотных отметок пола в учебной лаборатории.

Вынос точки с проектной высотой

Пример выноса точки на проектную высоту $H_{пр}$ (рис 16). Для решения этой задачи нивелир ставится между исходным репером $H_{рп}$ и заданной точкой «В» с проектной высотой $H_{пр}$.

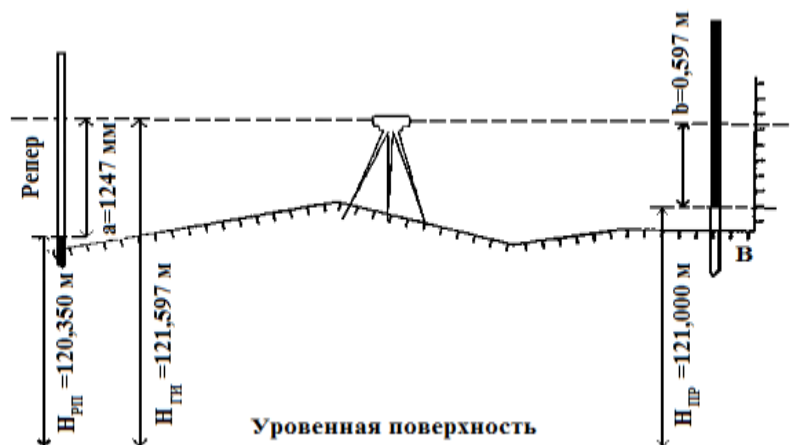


Рис. 16. Вынос точки с проектной высотой

Взяв отсчет по черной стороне рейки, стоящей на репере, и вычислив горизонт прибора

$$H_{гн} = H_{рп} + a,$$

находят проектный отсчет «b», при котором рейка встанет на проектную высоту

$$b = H_{\text{ГИ}} - H_{\text{РП}}.$$

Пример. $H_{\text{РП}} = 120,350$ м; $a = 1247$ мм; $H_{\text{Пр}} = 121,000$ м:
 $H_{\text{ГИ}} = 120.350 + 1.247 = 121.597$ м.
 $b = 121,597 - 121,000 = 0,597$ м.

Двигая рейку по стене вверх или вниз, останавливают среднюю нить сетки нитей на счете $b = 0,597$ м и по пятке рейки проводят черту, а в полевых условиях на этой высоте закрепляют колышек.

Лабораторная работа №3. Вертикальная планировка

Цель и задачи работы

Получить навыки проектирования наклонной площадки; научиться вычислять проектные, рабочие отметки, строить линию нулевых работ, вычислять объемы земляных работ

Исходные данные

Исходной информацией для вертикальной планировки является план нивелирования участка местности по квадратам со стороной 20 м (рисунок 1).

Проектируется наклонная поверхность со следующими исходными данными: Проектная высота вершины Г5 равна 100,90 м. Уклон в направлении Г5-Г1 равен $-0,015 = -15\text{‰}$. Проектная высота А5 равна 99,20, а уклон в направлении А5-А1 равен $-0,011 = -11\text{‰}$.

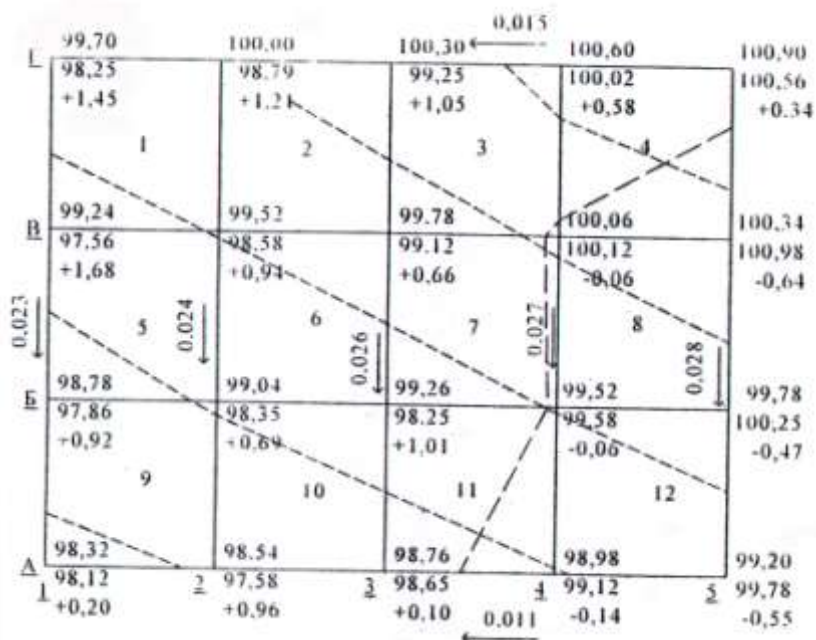


Рисунок 1 Вертикальная планировка участка

Определение проектных высот, рабочих отметок и линии нулевых работ

Проектные уклоны по створам 1, 2, 3, 4, 5 отличаются друг от друга и рассчитываются в каждом случае отдельно на основе уклонов базисных створов Г и А. Так, для первого створа вычисляем проектный уклон

$$i_{\text{пр}} = (H_{\text{Г1}} - H_{\text{А1}}) / D = (99,70 - 98,32) / 60 = 0,023 = 23\text{‰}.$$

Проектные высоты рассчитываются стандартным способом, например, для вершины В1 начальная проектная высота равна проектной высоте вершины Г1 ($H_{\text{пр}}^0 = 99,70$ м). Расстояние между расчетными вершинами равно 20 м, а проектный уклон первого створа равен 0,023 или 23‰.

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{пр}}^0 + i_{\text{пр}} \cdot D = 99,70 - 0,023 \cdot 20 = 99,24 \text{ м}$$

Рабочие отметки вычисляются как разность проектных и фактических высот для каждой вершины квадрата.

$$h_{\Gamma 1} = H_{\text{пр}} - H_{\text{факт}} = 99,70 - 98,25 = +1,45 \text{ м.}$$

$$h_{\text{Б1}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{факт}} = 99,24 - 97,56 = +1,68 \text{ м.}$$

$$h_{\text{Б1}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{факт}} = 98,78 - 97,86 = +0,92 \text{ м.}$$

$$h_{\text{А1}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{факт}} = 98,32 - 98,12 = +0,20 \text{ м.}$$

В нашем примере приведен пример вертикальной планировки с переходом от линии (Г1-Г5) с одним уклоном на противоположную параллельную линию (А1-А5) с другим уклоном. Возможен более простой вариант проектирования наклонной плоскости с постоянным значением проектного уклона в одном направлении.

Для проектирования горизонтальной площадки в определенных границах может применяться формула расчета проектной высоты, соответствующая балансу земляных работ:

$$H_{\text{пр}} = (\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 3\Sigma H_3 + 4\Sigma H_4)/4n,$$

где H_1, H_2, H_3, H_4 , – отметки точек, принадлежащих соответственно одному, двум, трем или четырем квадратам, n – общее число квадратов. Положение точек нулевых работ вычисляется по формулам

$$d_1 = |h_1| \cdot d / (|h_1| + |h_2|),$$

$$d_1 = |h_2| \cdot d / (|h_1| + |h_2|),$$

$$d = d_1 + d_2,$$

где d_1 и d_2 – расстояния определяющие положение точки нулевых работ на отрезке d ;

h_1, h_2 – рабочие отметки, которые используются в данных формулах по абсолютной величине. Третья формула используется в качестве контроля.

Линия нулевых работ разграничивает участки выемки и насыпи и позволяет определить объемы земляных работ (рис.1). Кроме линии нулевых работ на рисунке показаны проектные горизонталы.

Расчет объемов земляных работ

Расчет объемов земляных работ оформлен в таблице 1.

Таблица 1 Вычисление объемов земляных работ

№ квад- рата	Выемка -			Насыпь +		
	S	$h_{\text{ср}}$	$V(\text{м}^3)$	S	$h_{\text{ср}}$	$V(\text{м}^3)$
1				400	1,32	528
2				400	1,08	433
3	1,6	-0,02	-0	398,4	0,57	227
4	149,4	-0,18	-27	250,6	0,23	58
5				400	1,06	424
6				400	0,83	332
7	28	-0,03	-1	372,1	0,42	156

8	400	-0,31	-123			
9				400	0,69	276
10				400	0,69	276
11	123,2	-0,05	-6	276,8	0,28	78
12	400	-0,30	-120			
			-277			2788

Объем насыпи или выемки определяется отдельно для каждой фигуры по формуле

$$V_i = P_i \cdot h_{\text{ср}},$$

где P_i - площадь частной фигуры, а $h_{\text{ср}}$ - ее средняя рабочая отметка.

Затем частные объемы суммируются, как это приведено в таблице 1, для определения объемов выемок и насыпей для всего участка вертикальной планировки.

Лабораторная работа № 5 Построение разбивочного чертежа

Цель и задачи работы

Получить навыки в подготовке данных для построения разбивочного чертежа; научиться оформлять разбивочный чертеж.

Задание

Подготовить разбивочный чертеж для жилого дома 12х24м по основным осям, разместив его между двумя жилыми зданиями посередине. Заданы координаты углов капитальных зданий и двух пунктов полигонометрии, они (координаты) приведены на рисунке 1.

Определение координат проектируемого здания

Используя координаты углов капитальных зданий т1 и т2, решим обратную геодезическую задачу (таблица 1) для определения расстояния между точками 1 и 2 и дирекционного угла линии 12.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}; \quad d_{12} = \frac{(X_2 - X_1)}{\cos \alpha_{12}} = \frac{(Y_2 - Y_1)}{\sin \alpha_{12}} \quad \text{или} \quad d_{12} = \sqrt{(\Delta Y_{12}^2 + \Delta X_{12}^2)} \quad (1)$$

Таблица 1 Обратная геодезическая задача

Точки	X	Y	ΔX и ΔY	Tg α_{12}	α_{12}	D ₁₂
1	1307.21	2625.74	-27.57	0.45167	204°18'26"	66.98
2	1246.17	2598.17	-61.04			

По условию задачи от расстояния между точкам вычитаем размер здания и делим пополам, таким образом получим расстояние от точки 1 до точки Г1 проектируемого здания. $D_{1-Г1} = (66.98 - 12,00) / 2 = 27,49$. Дирекционный угол направления 1-Г1 равен $\alpha_{1-Г1} = 204°18'26''$.

Вычислим координаты угловых точек проектируемого здания решая прямые геодезические задачи по направлениям 2-Г1; Г1-А1; А1-А7; А7-Г7.

Таблица 2 Вычисление координат проектируемого здания

Элементы формул	2Г1	Г1-А1	А1-А7	А7-Г7
	1-2	1-2	1-2	1-2
α_{12}	204°18'26	204°18'26	114°18'26	24°18'26"
D ₁₂	27,49	12,00	24,00	12,00
X ₁	1307,21	1282.16	1271,22	1261,34
$\Delta X_{12} = D_{12} \cdot \cos \alpha_{12}$	-25,05	-10.94	-9,88	10,94
$\Delta X_2 = X_1 + \Delta X_{12}$	1282,16	1271,22	1261,34	1272,28
Y ₁	2625,74	2614.42	2609,48	2631,36
$\Delta Y_{12} = D_{12} \cdot \sin \alpha_{12}$	-11,32	-4,94	21,87	4,94

$\Delta Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{12}$	2614,42	2609,48	2631,36	2633,30
------------------------------------	---------	---------	---------	---------

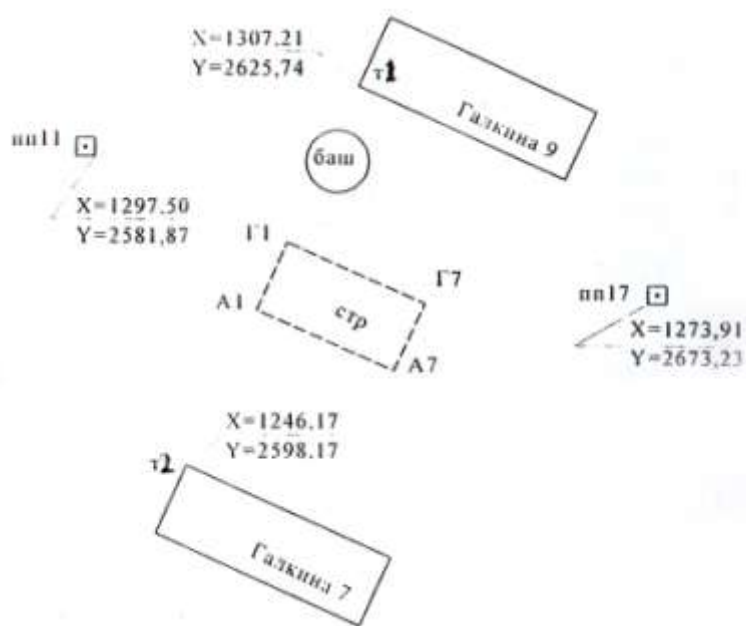


Рисунок 1 - Схема расположения зданий

Схема связи между исходными и проектными точками

Схема связи основана на том, что между исходными точками т1 и т2 отсутствует прямая видимость и разбивку следует производить от пунктов полигонометрии. Точки т1 и т2 можно использовать для контрольных промеров t (рисунок 1.2).

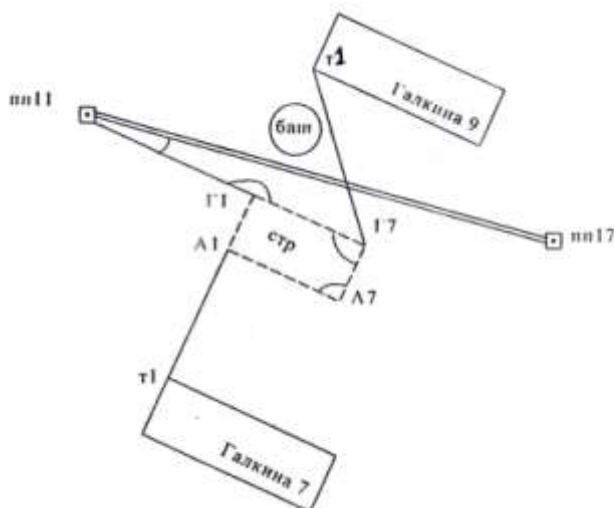


Рисунок 2 - Схема связей между исходными и проектными точками

Точка Г1 выносится полярной засечкой, в точке пп11 строится горизонтальный угол и в построенном направлении откладывается расстояние

пп11-Г1. Затем в полученной на местности точке Г1 полярным способом выносится точка Г7, за ней таким же способом точки А7 и А1. Разбивка проверяется контрольными промерами Г7-т1 и А1-т2.

Решение обратных геодезических задач и определение угловых элементов разбивочного чертежа

Для составления разбивочного чертежа нужно решить обратные геодезические задачи: пп11 - пп17; пп11 - Г1; А1 -т1. Это необходимо для определения длин линий и дирекционных углов как данных для составления разбивочного чертежа.

Решение обратных геодезических задач выполняется по формулам (1).

Таблица 3 Обратные геодезические задачи

Элементы формул	пп 11–пп 17	пп 11 – Г1	Г7- – т2	А1 – т1
	1-2	1-2	1-2	1-2
X_2	1273.91	1282.16	1307.21	1246.17
X_1	1297.50	1297.5	1272.28	1271.22
$\Delta X_{12} = X_2 - X_1$	-23.59	-15.34	34.93	-25.05
Y_2	2673.23	2614.42	2625.74	2598.17
Y_1	2581.87	2581.87	2633.3	2609.48
$\Delta Y_{12} = Y_2 - Y_1$	91.36	32.55	-7.56	-11.31
$\text{tg } \alpha_{12} = \Delta Y_{12} / \Delta X_{12}$	-3.87283	-1.42613	-0.21643	0.451497
r_{12}	85°31'19"	74°46'00"	12°12'44"	24°17'56"
α_{12}	104°28'41"	115°14'00"	347°47'16"	204°17'56"
$\cos \alpha_{12}$	- 0.25001	- 0.4263 1	0.97737	0.91141
$D_{12} = \Delta X_{12} / \cos \alpha_{12}$	94.36	35.98	35.74	27.48
$\sin \alpha_{12}$	0.96824	0.904579	-0.21154	0.411499
$D_{12} = \Delta Y_{12} / \sin \alpha_{12}$	94.36	35.98	35.74	27.48

Расстояния, необходимые для выноса точек проектируемого здания, берутся прямо из таблицы, а горизонтальные углы вычисляются по разностям дирекционных углов.

Вычисление угла пп 17– пп 11 – Г1:

$$\alpha_{11-17} = 104^\circ 28' 41", \alpha_{11-Г1} = 115^\circ 14' 00".$$

Искомый угол будет равен

$$\beta_{пп11} = 115^\circ 14' 00" - 104^\circ 28' 41" = 10^\circ 45' 19".$$

Вычисление угла пп 11– Г1 – Г7:

$$\alpha_{11-Г1} = 115^\circ 14' 00", \alpha_{Г1-Г7} = 14^\circ 18' 26", \alpha_{Г7-Г1} = 294^\circ 18' 26"$$

Искомый угол будет равен

$$\beta = 294^{\circ}18'26'' - 115^{\circ}14'00'' = 179^{\circ}04'26''.$$

Полученные данные оформляются на разбивочном чертеже.

Оформление разбивочного чертежа

Разбивочный чертеж содержит геометрическую схему связей и необходимые для выноса осей проектируемого здания угловые и линейные связи, которые получаю при подготовке данных (решение прямых и обратных задач).

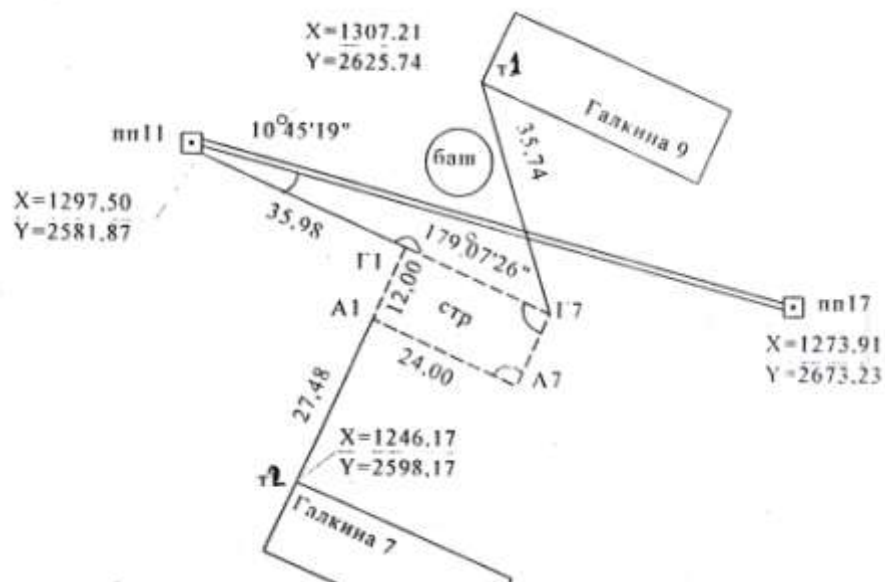


Рисунок 3 Разбивочный чертеж

Лабораторная работа № 6 Продольный профиль трассы

Цель и задачи работы

Изучить методику обработки результатов нивелирования, порядок построения продольного профиля по результатам нивелирования; получить навыки проектирования по продольному профилю.

Исходные данные

Исходной информацией для выполнения работы служит журнал нивелирования (таблица 1) по оси трассы проектируемой автомобильной дороги и пикетажный журнал, показанный на рисунке 1. Из технических условий требуется соблюдение минимальных радиусов круговых кривых - 500 м, продольный уклон не более 20‰. Начальная проектная высота $H_{пк0} = 96,50$ м, конечная $H = 102,30$ м.

Таблица 1. Журнал нивелирования

№	Пикеты	Отсчеты			h ,	$h_{ср}$,	V_h ,	$H_{испр}$,	$H_{пн}$,	H , м
		Задн.	Перед	Пром.	мм	мм	мм	мм	м	
1	Рп 117-	614	1724		-1110	-1111	1	-1110		97,548
	-пк17	5400	6512		-1112					96,438
2	пк17-	738	2718		-1980	-1978	1	-1977	97,176	96,438
	-пк19	5524	7500		-1976				97,179	94,461
	17+34			1065					97,178	96,113
	17+81,1			912						96,266
	17+85,1			889						96,289
	пк18			2365						94,813
3	пк 19-	1012	2495		-1483	-1483	1	-1482	95,473	94,461
	-пк21	5800	7283		-1483				95,474	92,979
	19+60			420					95,474	95,054
	пк20			1826						93,648

4	пк21-	2010	2215		-205	-204	1	-203	94,989	92,979
	-пк23	6798	7001		-203				94,991	92,776
	21+25			1025					94,990	93,965
	пк22			2236						92,754
5	пк23-	2895	215		2680	2679	1	2680	95,671	92,776
	-пк25	7679	5001		2678				95,671	95,456
	23+25			2546					95,671	93,125
	пк24			1023						94,648
6	пк24-	2569	724		1845	1844	0	1844		95,456
	-Рп321	7355	5512		1843					97,300
	Сумма	48394	48900		-506	-253		-248		
$\Sigma_{\text{задн}} - \Sigma_{\text{передн}} = 48394 - 48900 = -506$										
$(\Sigma_{\text{задн}} - \Sigma_{\text{передн}})/2 = (48394 - 48900)/2 = -253$										
$f = \Sigma_{\text{пр}} - \Sigma_{\text{теор}} = -253 - (97,300 - 97,548) = -253 - (-248) = -5 \text{ мм}$										
$f_{\text{доп}} = (50 \sqrt{L} \text{ км}) \text{ мм} = 50 \sqrt{1} = 50 \text{ мм. } (L = 1 \text{ км})$										

Обработка журнала нивелирования

Теоретические положения

Получив задание, студент обрабатывает журнал технического нивелирования. На каждой станции по разностям отсчетов на заднюю и переднюю рейку вычисляется превышение между связующими точками и среднее превышение (до 1 мм). Постраничный контроль вычислений состоит в том, что на каждой странице журнала выписываются внизу под соответствующими графами сумма отсчетов по задней и передней рейкам и алгебраическая сумма превышений. При этом должны точно соблюдаться условия:

$$\sum a_s - \sum b_n = \sum h_i \quad (1)$$

$$\frac{\sum h}{2} = \sum h_{cp}$$

(в пределах ошибки округления).

Если постраничный контроль подтверждает правильность вычислений, то определяется невязка нивелирного хода, проложенного между двумя реперами, отметки которых известны.

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_k - H_n) \quad (2)$$

где H_k – отметка конечного репера;

H_n – отметка начального репера.

Допустимость невязки определяется по формуле

$$f_{h(доп)} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} \quad (3)$$

где L – длина хода, км.

Если невязка окажется менее допустимой, то ее распределяют с обратным знаком поровну между всеми измеренными превышениями, так что поправка к каждому среднему превышению при общем числе станций n

$$\Delta h = -\frac{f_h}{n} \quad (4)$$

Величину поправки округляют до целых миллиметров. Сумма всех введенных поправок должна быть равна невязке, взятой с обратным знаком:

$$\sum \Delta h = -f_h \quad (5)$$

Если число миллиметров невязки окажется меньше числа станций, то распределение невязки производится по 1 мм на часть станций, но равномерно по всему ходу.

Поправки подписываются сверху над вычисленными средними превышениями.

Распределив невязку, вычисляют отметки связующих точек хода. Отметка начального репера при этом задается, а отметки остальных точек хода вычисляют последовательно по исправленным превышениям так, что

$$H_{n+1} = H_n + h_{(n,n+1)испр}. \quad (6)$$

Правильности вычисления отметок связующих точек контролируется заданной отметкой конечной точки хода. Отметки промежуточных точек и точек поперечников вычисляются через горизонты инструмента на станциях.

Горизонтом инструмента (ГИ) на станции называется высота визирного луча нивелира над уровенной поверхностью. Горизонт инструмента равен отметке связующей точки плюс отсчет по черной стороне рейки, сделанной на этой точке. Вычитая из горизонта инструмента на станции отсчет по чёрной стороне рейки, установленной на промежуточной точке, находят ее отметку.

Порядок выполнения работы

Превышение на станции вычисляются по формуле $h = a - b$, где a - отсчет по задней рейке, b - по передней. Так как нивелирование выполняется по черной и красной сторонам реек, то получается два превышения h_1 и h_2 , из которых вычисляется среднее при соблюдении допуска, который для технического нивелирования составляет 5 мм.

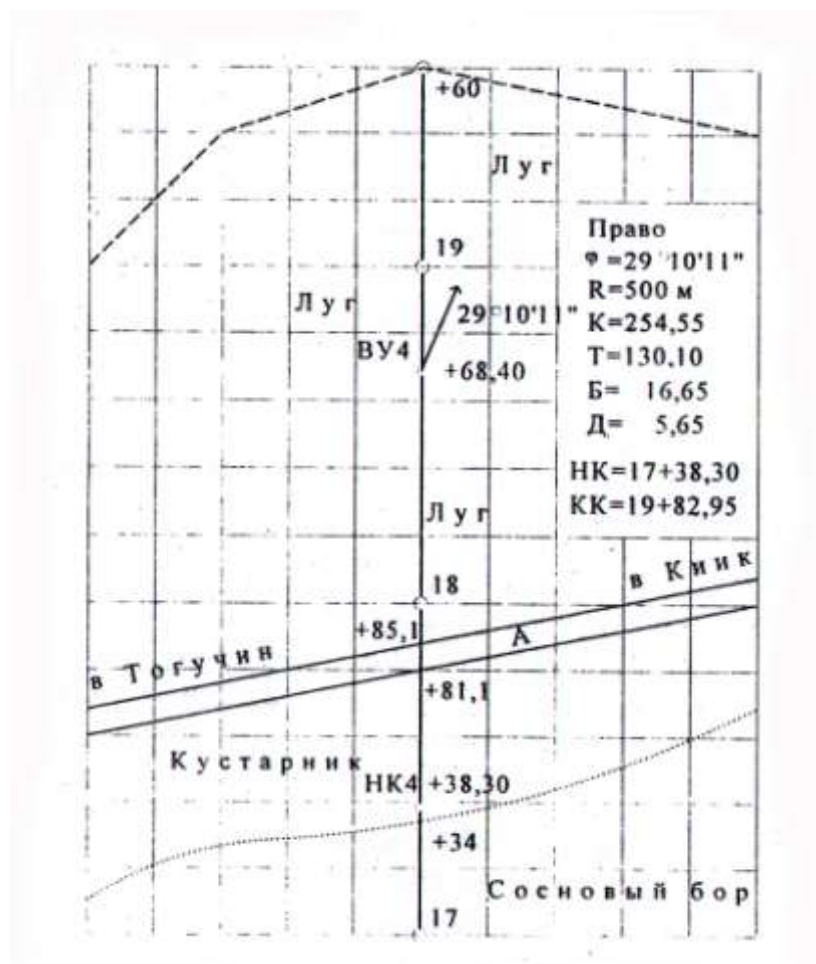


Рисунок 1 Пикетажный журнал

После выполнения измерений на странице выполняется постраничный контроль для связующих точек. Для этого вычисляется сумма задних и сумма передних отсчетов на странице $\Sigma_{\text{задн}} = 48394$ и $\Sigma_{\text{передн}} = 48900$. По правилам вычислений $\Sigma_{\text{задн}} - \Sigma_{\text{передн}} = 48394 - 48900 = -506$ мм, должна идеально совпадать с суммой превышений 506 мм. При делении эти разности на два получаем сумму средних превышений, которая может отличаться на 1-2 мм из-за ошибок округления.

Уравнивание превышений выполняется следующим образом:

- 1) вычисляется сумма измеренных превышений, в нашем журнале она равна сумме средних превышений – $\Sigma h_{\text{изм}} = \Sigma h_{\text{ср}} = -253$ мм;

- 2) вычисляется теоретическая сумма превышений, в нашем примере она равна разности конечных высот хода $h_{\text{теор}} = H_{\text{пп321}} - H_{\text{пп}} = 97,300 - 97,548 = -248 \text{ мм}$;
- 3) невязка f является разностью между практическими и теоретическими суммами $f = \sum h_{\text{изм}} - \sum h_{\text{теор}} = -253 - (-248) = -5 \text{ мм}$;
- 4) невязка сравнивается с допустимым значением, которое в техническом нивелировании может быть получено по формуле $f_{\text{доп}} = 50\sqrt{L} \text{ км} = 50\sqrt{1} \text{ мм} = 50 \text{ мм}$;
- 5) если невязка f меньше допуска ($5 \text{ мм} < 50 \text{ мм}$), то она распределяется с обратным знаком между измеренными превышениями;
- 6) так как в нашем случае нивелируемые отрезки трассы равны 200 м, а невязка имеет незначительную величину 5 мм на шесть станций технического нивелирования, то ее можно распределить поровну, поправки будут равны 1 мм, а в последнюю станцию она равна нулю;
- 7) исправленные превышения равны $h_{\text{испр}} = h_{\text{ср}} + v_h$;
- 8) высоты последовательно получают по формуле $H_i = H_{i-1} + h_{\text{испр}}$;
 $(H_{\text{пк17}} = H_{\text{пп117}} + h_{\text{испр}} = 97,548 - 1,110 = 96,438)$;
- 9) горизонт инструмента на второй станции нивелирования равен $H_{\text{ги}} = H_{\text{пк17}} + a = 96,438 + 0,738 = 97,176 \text{ м}$, формула для контроля вычислений $H_{\text{ги}} = H_{\text{пк17}} + b = 94,461 + 2,718 = 97,179 \text{ м}$; на первой станции горизонт инструмента вычислять не нужно, так как нет промежуточных точек;
- 10) высоты промежуточных рассчитываются по средним значениям горизонтов инструмента (подчеркнуты в таблице),
 $H_{\text{пк17+34}} = 97,178 - 1,065 = 96,113 \text{ м}$.

Построение продольного профиля и проектирование трассы

Данные нивелирования используются для составления продольного профиля (рис. 2).

Сетка продольного профиля состоит из следующих граф: «план прямых и кривых», «пикеты», «расстояния», «фактические высоты», «проектные высоты», «уклоны-расстояния», «план трассы».

Заполнение сетки профиля начинают с граф «расстояния» и «фактические высоты», данные берутся из журнала нивелирования. Например, первая точка - начало участка трассы пк17, его фактическая высота - 96,44 м, следующая точка пк17+34 - 96,11 м. По расстояниям и высотам строят продольный профиль по оси трассы. Для этого выбирают условный горизонт на 5-10 метров ниже меньшей фактической высоты, в нашем примере 87,00 м. Для каждой точки, имеющей фактическую высоту

откладывают перпендикуляр от линии условного горизонта и, соединяя верхние концы перпендикуляров, получают продольный профиль поверхности земли по оси трассы. Одновременно заполняется графа «пикеты».

В графе «расстояния» сумма расстояний между смежными пикетами должна равняться 100 м. Так между пикетами 17 и 18 сумма расстояний $34+47+4+15=100$ м. Если между пикетами отсутствуют плюсовые точки, то графа «расстояния» не заполняется.

Проектирование трассы начинают с фиксации первой проектной точки, в нашем примере это $H_{пр17} = 96,50$ м, задана проектом. Затем исследуется ближайший участок. В нашем примере это пересечение с автомобильной дорогой, высоты пересечения должны стать проектными для нашей трассы. На первом участке между точками $H_{пр17+8,1} = 96,27$ м и $H_{пр17} = 96,50$ м, вычисляется уклон $i = (96,27 - 96,50) / 81,1 = 0,0028 = 0,003$, который в промиллях выписывается в графу «уклоны-расстояния» вместе с расстоянием, на которое он рассчитан.

Все проектные высоты на этом участке вычисляются по данному проектному уклону.

Затем проектная линия проводится, исходя из практического требования - минимума объемов земляных работ. Определяется графически проектная отметка конечной точки этой линии и делается расчет проектного уклона, по которому рассчитываются проектные высоты.

С учетом проектных высот проводится трасса автомобильной дороги и вычисляются рабочие отметки как разность проектных и фактических высот, которые в случае насыпи выписываются выше проектной линии, при выемке - ниже.

Графа «план трассы» заполняется из данных пикетажного журнала, по середине этой графы проводится линия, означающая ось трассы. В графе «план прямых и кривых» проводится линия с условным обозначением кривых, которые проводятся выше оси трассы, если трасса поворачивает вправо и ниже осп, если трасса поворачивает влево. В этой графе выписывают все данные прямых участков: длина и румб (длина 38,30 и румб сз:35°1Г). Для кривых выписываются величина угла поворота, значение радиуса круговой кривой, тангенса, длины, биссектрисы и домера. Выписываются также пикеты начала и конца круговой кривой.

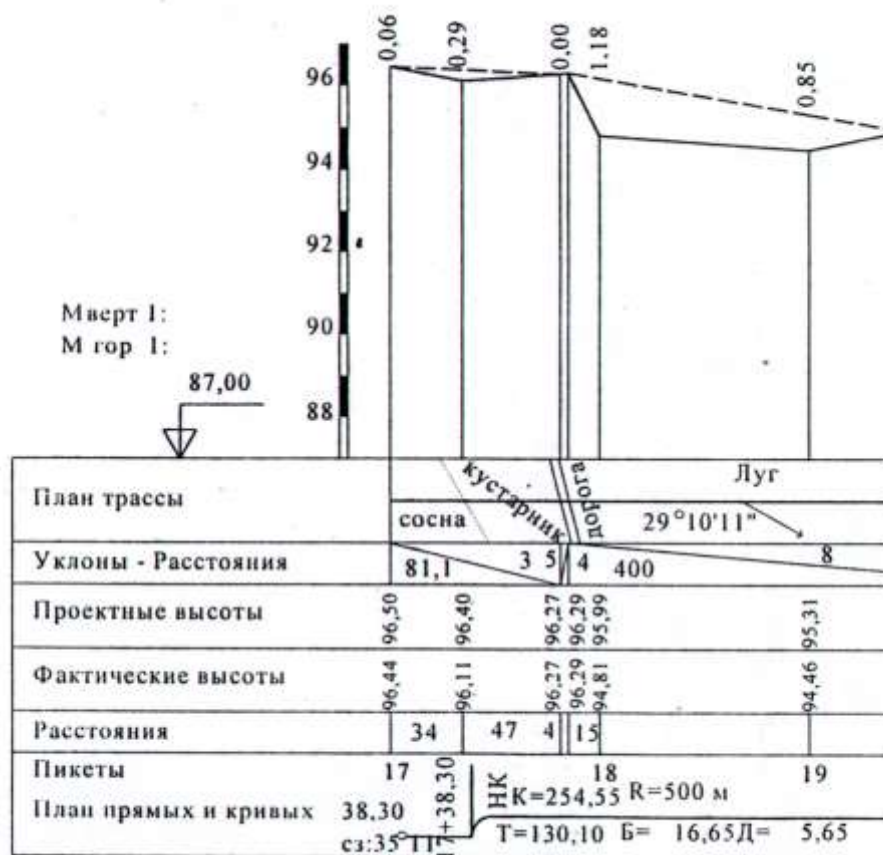


Рисунок 2 - Продольный профиль трассы автомобильной дороги

Положение точек нулевых работ вычисляется по формулам

$$d_1 = |h_1| \cdot d / (|h_1| + |h_2|),$$

$$d_2 = |h_2| \cdot d / (|h_1| + |h_2|),$$

$$d = d_1 + d_2,$$

где d_1 и d_2 - расстояния определяющие положение точки нулевых работ на отрезке d ;

h_1 , h_2 - рабочие отметки, которые используются в данных формулах по абсолютной величине. Третья формула используется в качестве контроля.

Продольный профиль сопровождается на косогоорах поперечниками, и оформляется в цветах: проектные данные - красным цветом, точки нулевых работ - синим, а все остальное - черным цветом.

Библиографический список

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин [и др.] ; под ред. Д. Ш. Михелева .— 8-е изд., стер.— М.: Академия, 2008 .— 480 с.
2. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Г. А. Федотов .— 4-е изд., стер. — М.: Высш.шк., 2007 .— 463 с.
3. Лекции по инженерной геодезии (с фрагментами методического комплекса). Учебное пособие/ В.П. Абрамов; под редакцией О.С. Разумова; ТулГУ. - Тула, 2005. – 246 с.
4. Основы геодезии для архитектурно-планировочных работ: Учеб. пособие/ О.С. Разумов, Е.А. Устинова, Тул. гос. ун-т: Тула, 2001.-116 с.
5. Чекалин, С. И. Основы картографии, топографии и инженерной геодезии : учебное пособие для вузов / С. И. Чекалин. — Москва : Академический Проект, Гаудеамус, 2016. — 320 с. — ISBN 978-5-8291-1333-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/60031.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей
6. Инженерная геодезия : учебное пособие / Э. Ф. Кочетова, И. И. Акрицкая, Л. Р. Тюльникова, А. Б. Гордеев ; под редакцией Э. Ф. Кочетова. — 2-е изд. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 159 с. — ISBN 978-5-528-00236-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/80896.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей
7. Инженерная геодезия : учебное пособие / составители П. К. Дуюнов, О. Н. Поздышева. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. — 104 с. — ISBN 978-5-9585-0687-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/62898.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей
8. Инженерная геодезия : учебник / М. Г. Мустафин, В. А. Коугия, Ю. Н. Корнилов [и др.] ; под редакцией М. Г. Мустафин. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2016. — 337 с. — ISBN 978-5-94211-762-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/71694.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей