

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

Н. А. Еремина, Е. Л. Соболева, И. Н. Чешева

ГЕОДЕЗИЯ

Теодолиты и нивелиры

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся по специальности
21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета)

Новосибирск
СГУГиТ
2017

УДК 528:528.4

E702

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *П. П. Мурзинцев*

кандидат технических наук, ведущий инженер АО «Сибтех-энерго» *А. В. Никонов*

Еремина, Н. А.

E702 Геодезия. Теодолиты и нивелиры [Текст] : практикум / Н. А. Еремина, Е. Л. Соболева, И. Н. Чешева. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 69 с.

ISBN 978-5-906948-73-1

Практикум подготовлен старшим преподавателем Н. А. Ереминой, доцентом, кандидатом технических наук Е. Л. Соболевой, старшим преподавателем И. Н. Чешевой на кафедре инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ.

В практикуме рассматриваются основные методики выполнения лабораторных работ с использованием теодолитов и нивелиров. Практикум посвящен разделу «Теодолиты и нивелиры» рабочей программы дисциплины «Геодезия».

Практикум по дисциплине «Геодезия» предназначен для обучающихся 1-го курса по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета), а также может быть использован обучающимися по специальности 21.05.04 Горное дело (уровень специалитета) и направлениям подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии (уровень бакалавриата), 05.03.03 Картография и геоинформатика (уровень бакалавриата).

Рекомендован к изданию кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела и Ученым советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Ответственный редактор: кандидат технических наук,
старший преподаватель СГУГиТ *Н. М. Рябова*

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528:528.4

ISBN 978-5-906948-73-1

© СГУГиТ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Теодолиты	5
Лабораторная работа № 1. Устройство технического теодолита	5
Лабораторная работа № 2. Поверка цилиндрического уровня. Нивелирование (горизонтирование) теодолита	12
Лабораторная работа № 3. Определение и исправление коллимационной ошибки	19
Лабораторная работа № 4. Измерение горизонтального угла полным приемом	24
Лабораторная работа № 5. Определение и исправление места нуля вертикального круга. Измерение угла наклона	29
Лабораторная работа № 6. Измерение расстояний нитяным дальномером	34
2. Нивелиры	38
Лабораторная работа № 7. Устройство технического нивелира	38
Лабораторная работа № 8. Исследование реек	43
Лабораторная работа № 9. Поверки и юстировка нивелира	46
Лабораторная работа № 10. Измерение превышений	54
Лабораторная работа № 11. Устройство нивелира с компенсатором	58
Лабораторная работа № 12. Поверки метрологических характеристик нивелира	60
Библиографический список	68

ВВЕДЕНИЕ

Практикум предназначен для обучающихся по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета), а также может быть использован обучающимися по специальности 21.05.04 Горное дело (уровень специалитета) и направлениям подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии (уровень бакалавриата), 05.03.03 Картография и геоинформатика (уровень бакалавриата), изучающими раздел «Теодолиты и нивелиры» дисциплины «Геодезия».

Практикум содержит основные понятия, методы и последовательность выполнения лабораторных работ с использованием геодезических приборов – теодолитов и нивелиров. Приведены варианты журналов измерения горизонтальных улов и технического нивелирования. Рассматривается порядок выполнения 12 лабораторных работ, объединенных в два раздела.

1. ТЕОДОЛИТЫ

Лабораторная работа № 1 Устройство технического теодолита

Цели и задачи работы: изучение устройства технического теодолита; обучение снятию отсчетов по шкаловому и штриховому микроскопам; ознакомление с работой закрепительных и микрометрических винтов.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты Т30, 2Т30; штатив.

Содержание отчета

1. Рисунок теодолита Т30 (2Т30) с указанием и описанием основных его частей.
2. Схематичные рисунки штрихового и шкалового микроскопов теодолитов Т30 и 2Т30 с примером взятия отсчетов.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Теодолит – геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, которым также может быть измерено расстояние от прибора до рейки.

Для теодолитов основной технической характеристикой является средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла одним полным приемом.

По точности приборы делятся на высокоточные, точные и технические.

Технические теодолиты (Т30, 2Т30) – приборы, обеспечивающие ошибку измерения угла из одного приема не более 30".

Точные теодолиты – теодолиты типов Т5, Т10, иногда Т2, ошибка измерения угла соответственно не более 5, 10 или 2".

Высокоточные теодолиты – теодолиты типов Т05 и Т1, ошибка измерения угла соответственно составляет 0,5 и 1".

При модификации прибора почти всегда изменяются некоторые технические параметры приборов. Их изменение отражается путем добавления в маркировку приборов соответствующих букв/цифр.

Например, если в маркировке добавлена буква П – это значит, что у теодолита прямое изображение (4Т30П); К – при вертикальном круге стоит компенсатор (3Т5КП); А – инструмент может быть использован для астрономических наблюдений (3Т2АК).

Некоторые технические параметры теодолитов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические параметры теодолитов

Теодолит	Увеличение зрительной трубы	Ошибка измерения угла	Масса прибора
Т05	40 [×]	0,5"	20 кг
Т5	30 [×]	5"	3–4 кг
Т30	25 [×]	30"	2–3 кг

Основные части теодолита Т30 представлены на рис. 1.

Горизонтальный круг (ГК) состоит из лимба и алидады. Лимб – стеклянный круг, оцифрованный от 0 до 360°, предназначен для измерения горизонтальных углов.

Алидада – подвижная часть ГК теодолита, несущая систему отсчитывания по лимбу.

Вертикальный круг (ВК) теодолита предназначен для измерения углов наклона и зенитных расстояний.

Зрительная труба предназначена для визирования на наблюдаемые предметы, вращается на подставках алидадной части инструмента. Фокусирование осуществляется перемещением окулярного колена, состоящего из сетки нитей и окуляра.

Сетка нитей – взаимно перпендикулярные штрихи, нанесенные на стеклянную пластинку. Точка пересечения основных штрихов сетки нитей называется перекрестием.

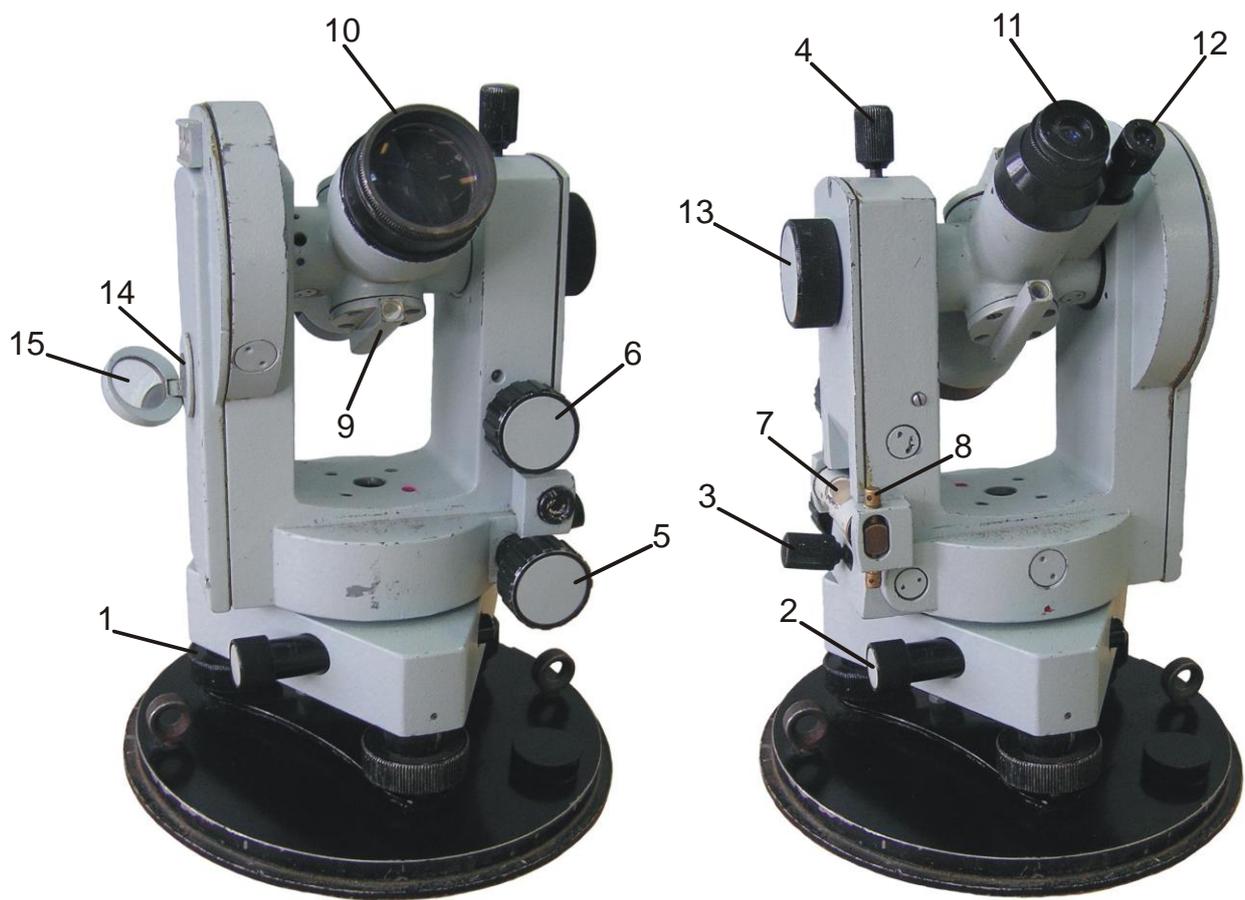


Рис. 1. Внешний вид теодолита Т30:

1 – подъемный винт; 2 – наводящий винт лимба; 3 – закрепительный винт алидады; 4 – закрепительный винт зрительной трубы; 5 – наводящий винт алидады; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – цилиндрический уровень; 8 – исправительный (юстировочный) винт цилиндрического уровня; 9 – визир; 10 – объектив зрительной трубы; 11 – окуляр зрительной трубы; 12 – окуляр отчетного микроскопа; 13 – фокусирующий винт (кремальера); 14 – окно; 15 – осветительное зеркало

Биссектор – две вертикальные, параллельные между собой линии сетки нитей, предназначенные для более точного наведения на наблюдаемые цели.

Объектив является оптическим узлом зрительной трубы, обращенным к предмету и строящим действительное его изображение.

Окуляр расположен непосредственно перед глазом наблюдателя и предназначен для рассматривания изображения.

Установка зрительной трубы по глазу наблюдателя производится перемещением окулярного кольца до получения четкой видимости штрихов сетки нитей.

Установка зрительной трубы по предмету осуществляется перемещением фокусирующей линзы с помощью кремальберного винта для отчетливого изображения визирной цели.

В конструкции теодолита предусмотрены подъемные, закрепительные, микрометрические (наводящие), юстировочные (исправительные) винты.

Цилиндрический уровень предназначен для приведения осей инструмента в горизонтальное или вертикальное положение.

Система осей теодолита обеспечивает вращение алидадной части вокруг вертикальной оси.

Трегер – подставка с тремя подъемными винтами.

Штатив – приспособление в виде треноги, для крепления теодолита в процессе работы. Он укомплектован нитяным отвесом и станковым винтом.

Отсчетом по лимбу угломерного круга называется угловая величина дуги, расположенная между нулевым штрихом лимба и отсчетным индексом алидады.

Для удобства взятия отсчетов по горизонтальному кругу используются специальные отсчетные устройства – оптические микрометры, шкаловый и штриховый микроскопы.

При выполнении отсчитывания по шкале любого отсчетного устройства определяется положение отсчетного индекса относительно начала этой шкалы.

Полный отсчет по шкале выражается формулой

$$S = N + n\lambda + n_1\lambda_1,$$

где N – число оцифрованных делений, которые укладываются между нулевым штрихом шкалы и индексом отсчетного устройства;

n – число делений шкалы, заключенных между младшим оцифрованным штрихом этой шкалы и отсчетным индексом;

λ – цена деления шкалы;

n_1 – дробная часть деления шкалы, которая может быть измерена отсчетным устройством;

λ_1 – цена деления дополнительной шкалы отсчетного устройства.

Штриховой микроскоп теодолита (Т30) представлен на рис. 2. Он представляет собой отсчетное устройство, в котором величины интервалов N и $n\lambda$ подсчитываются непосредственно по шкале, а величина интервала $n_1\lambda_1$ оценивается отсчетным индексом до десятых долей деления.

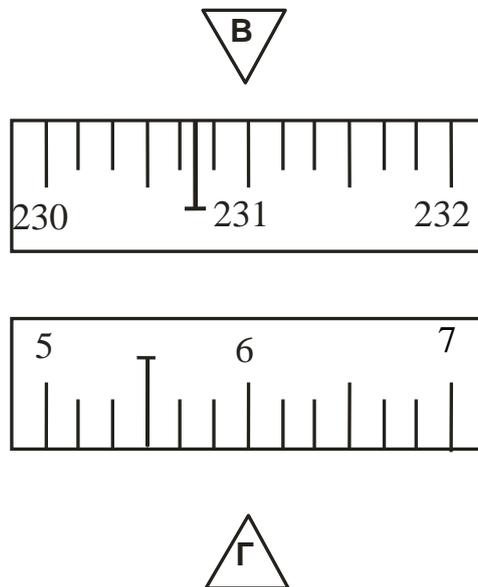


Рис. 2. Штриховой микроскоп теодолита Т30

В окуляре отсчетного микроскопа видны изображения штрихов ГК и ВК и отсчетные индексы Γ и \perp .

Отсчет по микроскопу производится по неподвижному индексу.

Лимбы ГК и ВК оцифрованы через 1° и каждое градусное деление поделено на 6 равных частей с ценой деления, равной $10'$. Расчет цены деления лимба можно выполнить по формуле

$$\lambda = \frac{1}{n} = \frac{60'}{6} = 10', \quad (1)$$

где n – количество делений, на которое разбит 1° лимба.

Точность взятия отсчетов по лимбу рассчитывается по формуле

$$t = 0,1 \cdot \lambda = 1'. \quad (2)$$

Из рис. 2 видно, что отсчет по ГК составляет $5^\circ 30'$, а по ВК – $230^\circ 44'$.

Шкаловый микроскоп теодолита 2Т30 представлен на рис. 3.

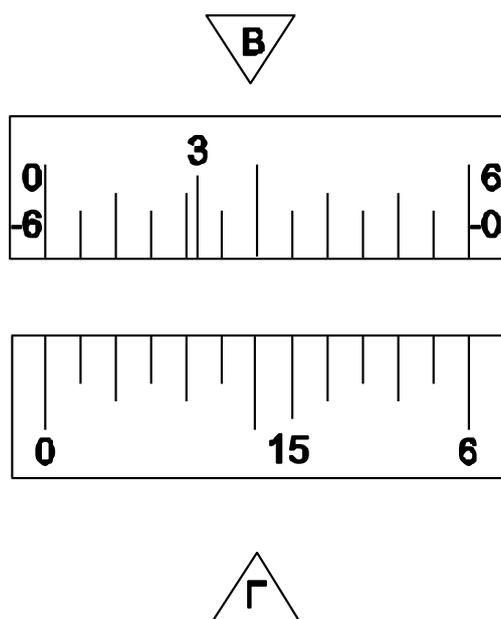


Рис. 3. Шкаловый микроскоп теодолита 2Т30, общий вид

В окуляре отсчетного микроскопа видны ГК и ВК и шкала для взятия отсчетов по лимбу, размер которой составляет 1° , т. е. $60'$. Шкала разделена на 12 частей, следовательно, цена деления шкалы составляет

$$\lambda = \frac{1}{n} = \frac{60'}{12} = 5', \quad (3)$$

а точность взятия отсчета можно вычислить по формуле

$$t = 0,1 \cdot \lambda = 0,5'. \quad (4)$$

Отсчетным индексом в этом случае является оцифрованный градусный штрих шкалы лимба, который попадает на шкалу при повороте теодолита.

Из рис. 3 видно, что отсчет по ГК составляет $15^\circ 35'$.

Вертикальный круг имеет двойную оцифровку шкалы в противоположных направлениях – положительную и отрицательную. Знак угла определяется по оцифровке штриха градусного деления. Вертикальный круг теодолита 2Т30 разделен на 4 сектора (рис. 4).

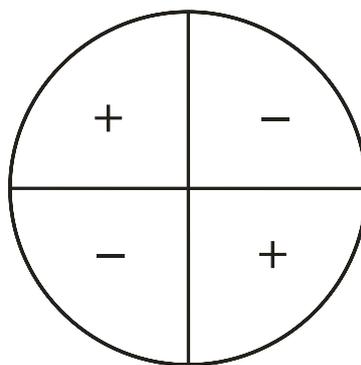


Рис. 4. Секторы вертикального круга теодолита 2Т30

Диаметрально противоположные секторы имеют одинаковые знаки «+» или «-» (рис. 4). В зависимости от того, какой сектор участвует в измерениях, используется положительная или отрицательная шкала. Если в пределы шкалы попадает положительно оцифрованный штрих лимба, то отсчет ведется от «+» (положительного) нуля, т. е. слева направо, а если отрицательно оцифрованный штрих, то от «-» (отрицательного) нуля, т. е. справа налево.

Из рис. 3 видно, что отсчет ВК по положительной шкале составляет $3^{\circ}22'$, а по отрицательной шкале (рис. 5) отсчет равен $-5^{\circ}27'$.

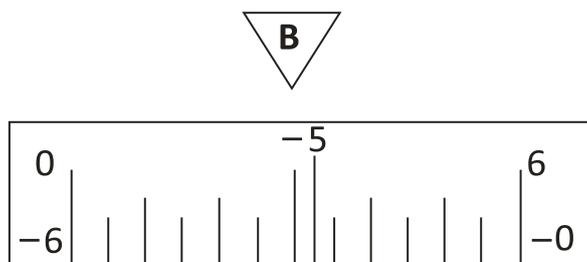


Рис. 5. Шкала вертикального круга теодолита 2Т30

Рабочее задание

1. Используя рис. 1 и выданный теодолит, ознакомьтесь с устройством технического теодолита, его основными узлами. Изучить и опробовать практически работу закрепительных и микрометрических винтов при ГК и ВК теодолита.

2. Ознакомиться с устройством и работой шкалового и штрихового микроскопов теодолитов Т30 и 2Т30, научиться брать отсчеты по ГК и ВК теодолитов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «теодолит».
2. Составьте перечень винтов теодолита.
3. Дайте определение понятия «лимб».
4. Дайте определение понятия «алидада».
5. Каково назначение цилиндрического уровня теодолита?
6. Каково назначение оптического микрометра?
7. Проведите расчет цены деления шкалы микроскопа.
8. Как установить теодолит в рабочее положение?
9. Как установить зрительную трубу по глазу и по предмету?
10. Дайте определение визирной оси зрительной трубы.

Лабораторная работа № 2

Поверка цилиндрического уровня.

Нивелирование (горизонтирование) теодолита

Цели и задачи работы: освоить методику выполнения поверки и исправления цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга; освоить нивелирование (горизонтирование) теодолита; изучить взаимное расположение основных осей теодолита.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты Т30, 2Т30; штатив; становой винт; шпилька для юстировки уровня.

Содержание отчета

1. Схематичный рисунок взаимного расположения основных осей теодолита.
2. Описание методики выполнения поверки и исправления цилиндрического уровня.

3. Описание порядка выполнения горизонтирования теодолита.
4. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Рассмотрим устройство цилиндрического уровня (рис. 6).

Стеклянная ампула уровня заполняется эфиром. Воздушный пузырек, оставляемый в ампуле, всегда занимает наивысшее положение. Центр дуги внутренней шлифовки ампулы уровня называется нуль-пунктом. Точность уровня характеризуется ценой его деления. Обычно шкала уровня делится через два миллиметра штрихами. И угол, на который наклонится ось уровня при перемещении пузырька на одно деление, является ценой деления уровня.

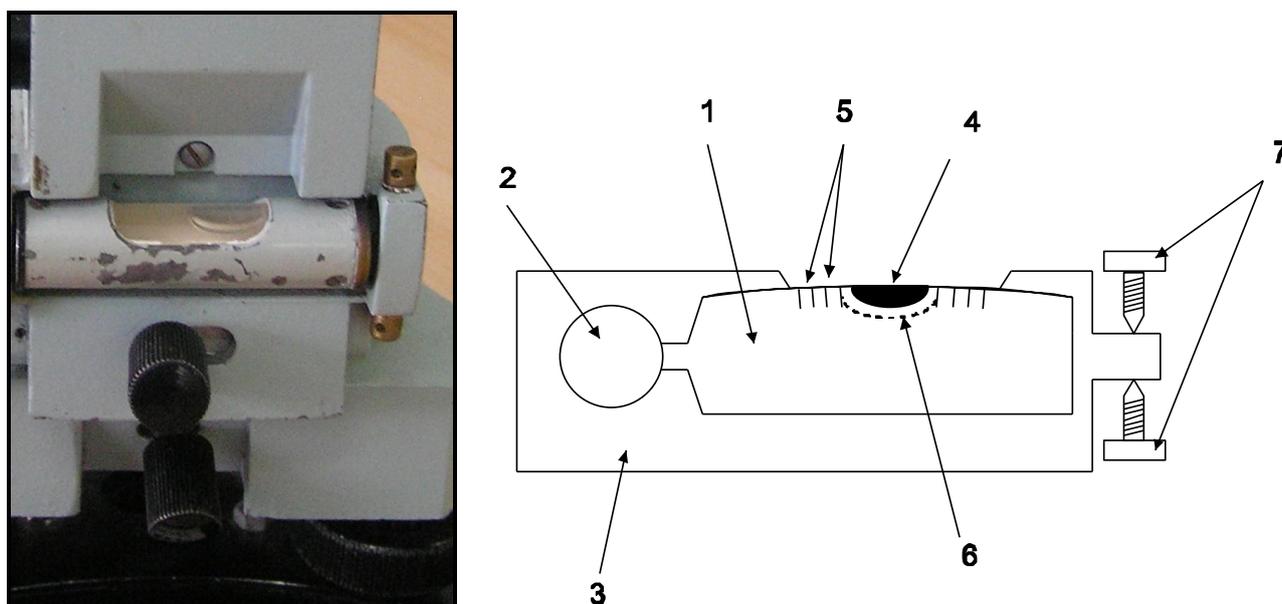


Рис. 6. Общий вид и устройство цилиндрического уровня:

1 – стеклянная ампула; 2 – сферическая головка уровня; 3 – металлическая оправа; 4 – пузырек; 5 – шкала; 6 – нуль-пункт; 7 – исправительные винты

Основные оси теодолита

Взаимное расположение основных осей теодолита представлено на рис. 7.

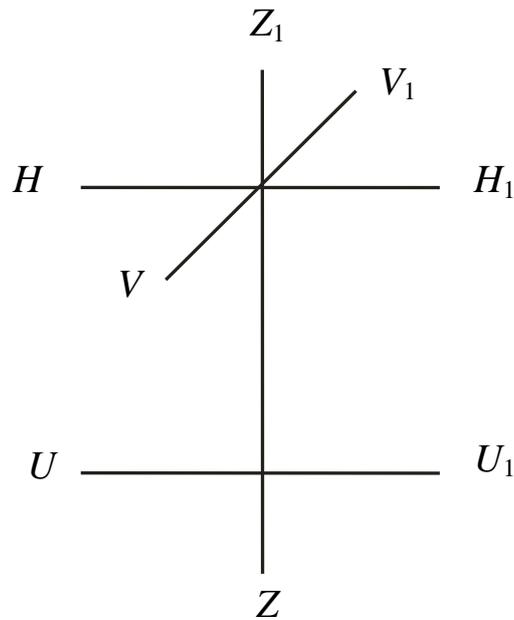


Рис. 7. Основные оси теодолита:

ZZ_1 – ось вращения теодолита (вертикальная); HH_1 – ось вращения зрительной трубы; UU_1 – ось цилиндрического уровня; VV_1 – визирная ось зрительной трубы

Для обеспечения правильности измерения горизонтальных и вертикальных углов (углов наклона) взаимное расположение осей теодолита должно удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ось ZZ_1 должна быть перпендикулярна оси UU_1 ;
- 2) ось ZZ_1 должна быть вертикальной;
- 3) ось HH_1 должна быть перпендикулярна оси VV_1 ;
- 4) ось ZZ_1 должна быть перпендикулярна оси HH_1 ;
- 5) одна из нитей сетки должна быть вертикальна, т. е. находиться в коллимационной плоскости.

Перед началом измерений необходимо выполнить внешний осмотр теодолита (не разбиты ли окуляр и объектив), проверить плавность хода всех винтов, состояние оптической системы зрительной трубы. Геометрические требования, предъявляемые к основным узлам и осям теодолита, учитываются в результате выполнения проверок теодолита. Если при выполнении проверок обнаружится, что какое-либо условие не выполняется, производят юстировку теодолита.

Поверка цилиндрического уровня

Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

Ось цилиндрического уровня – касательная к дуге внутренней поверхности ампулы уровня в нуль-пункте.

Проверка соблюдения этого условия – цель поверки цилиндрического уровня.

Поверка выполняется в следующем порядке.

1. Теодолит устанавливается на штатив в горизонтальное положение. Цилиндрический уровень при алидаде ГК ориентируется по направлению двух подъемных винтов (рис. 8).

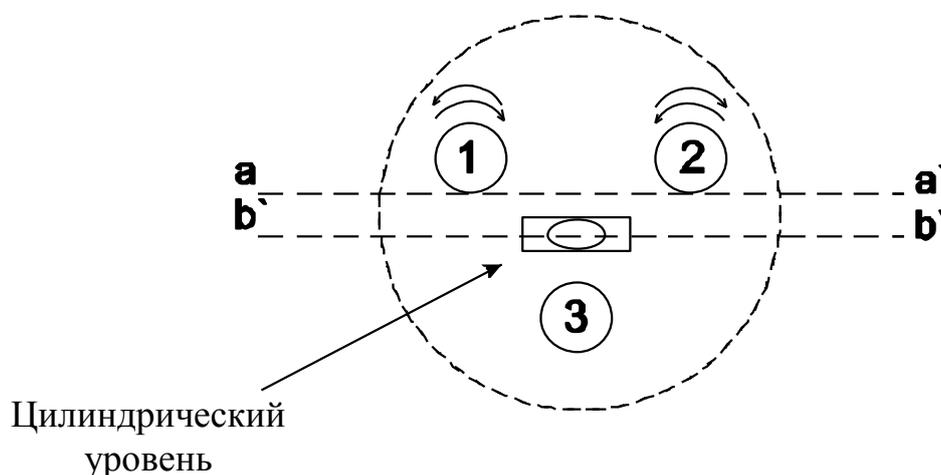


Рис. 8. Положение пузырька уровня относительно подъемных винтов теодолита

Одновременным вращением винтов 1 и 2 в противоположные стороны пузырек уровня приводится в нуль-пункт (рис. 9), т. е. кончики пузырька должны быть симметричны и находиться на равном расстоянии от оси ампулы UU_1 .

2. Повернуть алидаду теодолита на 180° . Если пузырек остался в нуль-пункте или отклонился не более, чем на одно деление, то условие выполнено. В противном случае, необходимо выполнить исправление оси уровня юстировочными винтами.

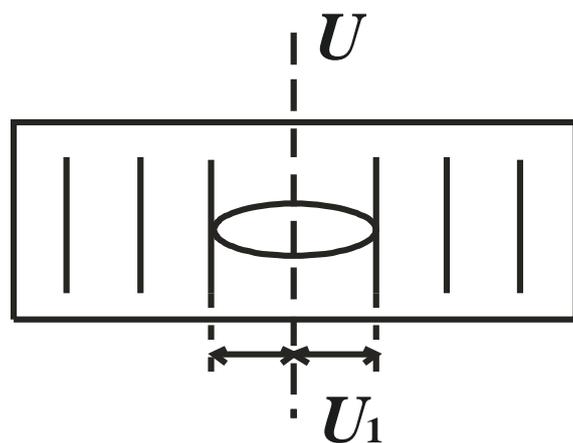


Рис. 9. Положение пузырька уровня

Юстировка уровня выполняется следующим образом.

При отклонении пузырька уровня более чем на два деления, подъемными винтами 1 и 2 пузырек уровня перемещается к нуль-пункту на половину дуги отклонения (рис. 10, показано утолщенной линией).

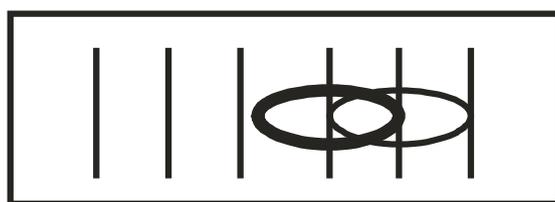


Рис. 10. Перемещение пузырька уровня

Вторую половину отклонения убираем юстировочным винтом уровня. Необходимо точно установить пузырек в нуль-пункт (рис. 11).

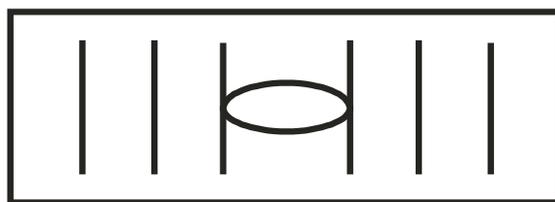


Рис. 11. Положение пузырька уровня после юстировки

После этого следует вновь повернуть алидаду теодолита на 180° и убедиться в том, что пузырек уровня остался в нуль-пункте. Если пузырек уровня вновь отклонился от нуль-пункта более чем на одно деление, юстировку необходимо повторить.

Нивелирование (горизонтирование) теодолита

Из принципа измерения горизонтального угла следует, что ось вращения теодолита должна занимать вертикальное (отвесное) положение, т. е. проходить через вершину измеряемого угла, а плоскость лимба должна занимать горизонтальное положение.

Горизонтирование теодолита выполняется по выверенному цилиндрическому уровню в следующем порядке.

1. Цилиндрический уровень при алидаде ГК устанавливается параллельно двум подъемным винтам 1 и 2, вращением винтов в противоположные стороны необходимо привести пузырек уровня в нуль-пункт (рис. 12).

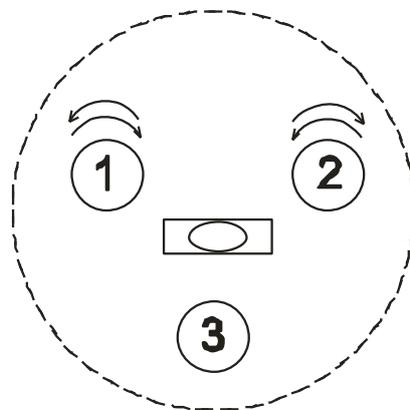


Рис. 12. Положение пузырька уровня при первом этапе горизонтирования теодолита

2. Алидада теодолита поворачивается на 90° , уровень займет положение, показанное на рис. 13, вращением винта 3 пузырек уровня приводится в нуль-пункт.

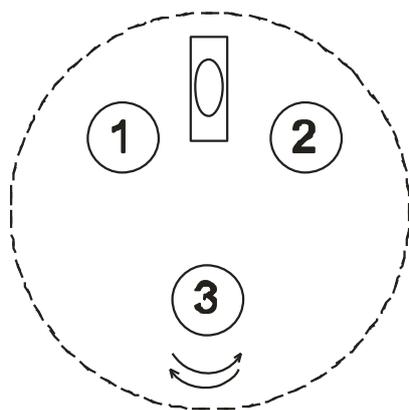


Рис. 13. Положение пузырька уровня
в начале второго этапа работы

3. Вращением алидады ГК проверяем неподвижность пузырька. Если же при вращении инструмента пузырек отклоняется от центрального положения – необходимо повторить юстировку уровня.

Рабочее задание

1. Изучить при помощи рис. 7 и полученного теодолита все основные оси инструмента и их взаимное положение.
2. При помощи рис. 6 изучить устройство цилиндрического уровня при алидаде ГК, выполнить его поверку и исправление.
3. Руководствуясь приведенным теоретическим материалом, выполнить нивелирование (горизонтирование) полученного вами теодолита.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит назначение уровней в теодолите?
2. Дайте описание устройства цилиндрического уровня.
3. Что называется осью цилиндрического уровня?
4. Что называется ценой деления уровня?
5. Что такое нуль-пункт цилиндрического уровня?
6. Сформулируйте требования, предъявляемые к взаимному расположению осей теодолита.
7. Изложите последовательность поверки цилиндрического уровня.

Лабораторная работа № 3

Определение и исправление коллимационной ошибки

Цели и задачи работы: на примере теодолита ТЗ0 (2ТЗ0) научиться определять коллимационную ошибку; освоить методику исправления коллимационной ошибки.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0; штатив; становой винт; шпилька для юстировки; журнал для измерений.

Содержание отчета

1. Журнал с измерениями и вычислениями коллимационной ошибки.
2. Описание методики определения и исправления коллимационной ошибки.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Визирная ось проходит через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей. Визирная ось должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы. Если данное условие выполняется, то при вращении трубы вокруг горизонтальной оси визирная ось образует коллимационную плоскость. Эта плоскость позволяет проектировать разновысотные точки местности на горизонтальную поверхность, т. е. получать проекцию пространственного угла (горизонтальный угол).

Поскольку коллимационная плоскость должна быть вертикальной, необходимо при соблюдении первого условия уровня ($ZZ_1 \perp UU_1$) соблюдать второе условие $VV_1 \perp HH_1$ (см. рис. 7). При несоблюдении условия, т. е. неперпендикулярности VV_1 и HH_1 , возникает коллимационная ошибка s , которую необходимо исключить из результатов измерения.

Методика определения коллимационной ошибки предназначена для проверки условия взаимной перпендикулярности визирной оси VV_1 и оси вращения зрительной трубы HH_1 (рис. 14).

Коллимационная ошибка s определяется путем визирования на одну и ту же цель при двух положениях ВК теодолита – при круге лево (КЛ) и круге право (КП). При смене положения кругов алидада поворачивается

на 180° , следовательно, при отсутствии коллимационной ошибки отсчеты, взятые по горизонтальному кругу, будут отличаться друг от друга на $\pm 180^\circ$.

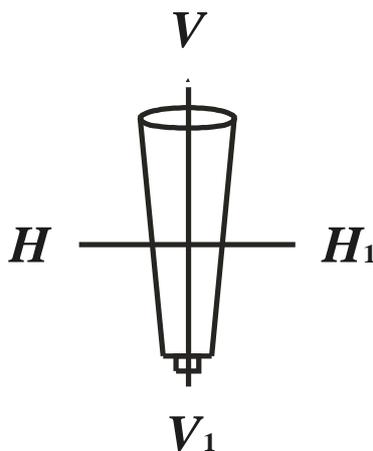


Рис. 14. Взаимное расположение визирной оси и оси вращения зрительной трубы теодолита

Тогда запись отсчетов по ГК будет иметь вид, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

Пример записи в журнале при отсутствии коллимационной ошибки

Точка стояния	Точка визирования	Отсчеты по ГК		с
		КЛ	КП	
А	1	$50^\circ 30'$	$230^\circ 30'$	0

Коллимационная ошибка вычисляется по формуле

$$c = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ}{2}. \quad (5)$$

Подставив в формулу значения отсчетов по ГК, получим инструментальное подтверждение отсутствия коллимационной ошибки

$$c = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ}{2} = \frac{50^\circ 30' - 230^\circ 30' + 180^\circ}{2} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, коллимационная ошибка – это угол между фактическим положением визирной оси $V'V_1'$ и требуемым (т. е. положением оси VV_1 , которое она должна занимать при отсутствии «коллимации») (рис. 15).

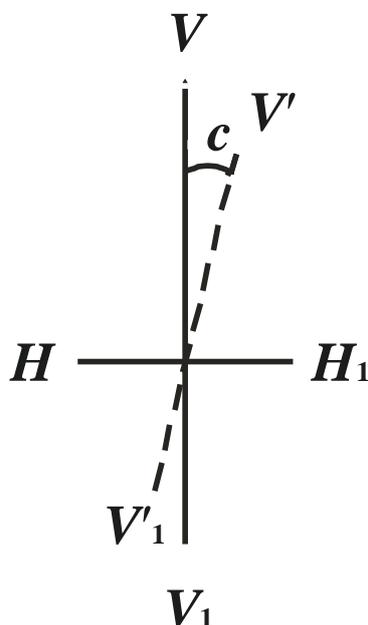


Рис. 15. Взаимное расположение осей теодолита при наличии коллимационной ошибки

Существует допустимое значение для максимальной величины коллимационной ошибки. Ошибка не должна превышать величину $2t$, где t – точность отсчетного устройства. Если коллимационная ошибка превышает допустимую величину (т. е. $c > 2t$), то ее необходимо исправить.

Пример определения коллимационной ошибки приведен в табл. 3.

Таблица 3

Пример определения коллимационной ошибки

Точка стояния	Точка визирования	Отсчеты по ГК		c
		КЛ	КП	
А	2	$0^{\circ} 30'$	$180^{\circ} 50'$	$-10'$

Используя формулу (5), получим:

$$c = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ}{2} = \frac{0^\circ 30' - 180^\circ 50' + 180^\circ}{2} = -10'. \quad (7)$$

В данном примере коллимационная ошибка превышает допустимую величину, следовательно, ее необходимо исправить (уменьшить ее значение).

Коллимационная ошибка исправляется в следующем порядке.

1. Вычисляем «правильный» отсчет, т. е. отсчет, свободный от влияния коллимационной ошибки:

$$\varepsilon = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} \pm 180^\circ}{2} = \frac{0^\circ 30' + 180^\circ 50' + 180^\circ}{2} = 180^\circ 40'. \quad (8)$$

2. Необходимо установить отсчет $\varepsilon = 180^\circ 40'$ в отсчетном устройстве ГК зрительной трубы при помощи микрометричного винта алидады теодолита. При этом алидада теодолита повернется на угол c вокруг своей вертикальной оси, и перекрестие сетки нитей сместится с визирной цели влево или вправо, а величина смещения будет равна величине c (рис. 16).

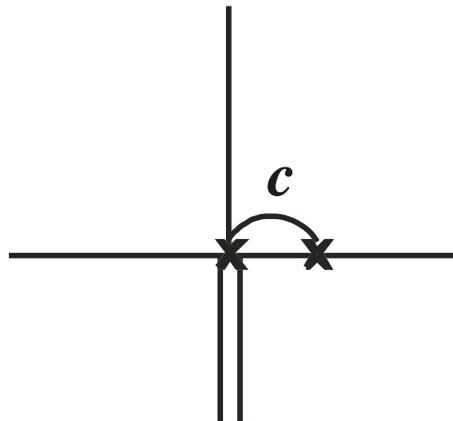


Рис. 16. Смещение перекрестия сетки нитей:

× – визирная цель

3. Для устранения коллимационной ошибки необходимо ослабить вертикальные винты сетки нитей с помощью шпильки (рис. 17), а гори-

зонтальными винтами переместить сетку нитей до совмещения «креста сетки» нитей с визирной целью, при этом необходимо наблюдать в зрительную трубу теодолита за перемещением сетки нитей.

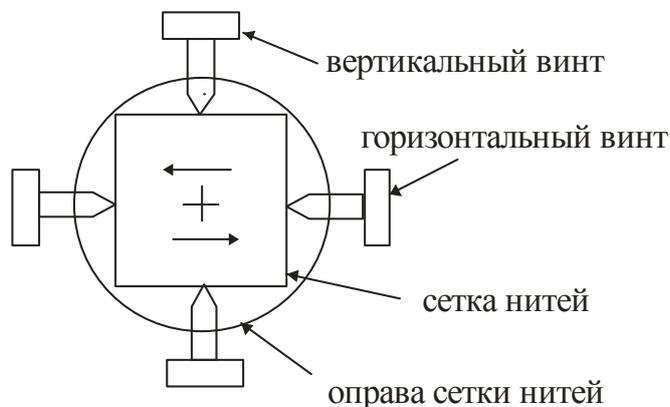
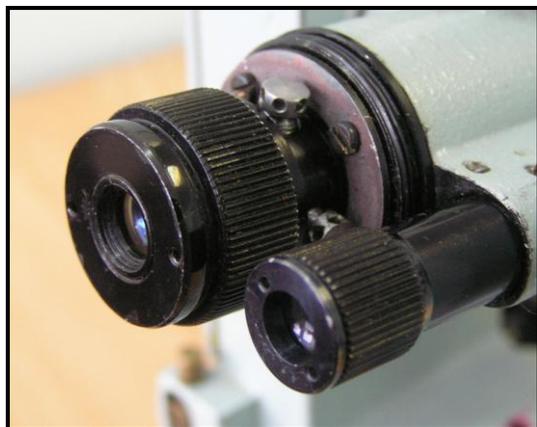


Рис. 17. Общий вид окуляра зрительной трубы, схема вертикальных и горизонтальных винтов сетки нитей

4. После исправления коллимационной ошибки поверку повторяют.

Результаты определения и исправления коллимационной ошибки должны быть представлены в табличной форме (табл. 4).

Таблица 4

Определение и исправление коллимационной ошибки

Точка стоя- ния	Точка визирования	Отсчеты по ГК		с
		КЛ	КП	
А	2	0° 30'	180° 50'	-10'
После исправления				
А	2	0° 40'	180° 40'	0

Рабочее задание

1. Получить теодолиты Т30 и 2Т30. Приведя инструмент в рабочее состояние, выявить наличие коллимационной ошибки. Для каждого теодолита измерения выполняются дважды на разные визирные цели.

2. Освоить методику исправления коллимационной ошибки, научившись для этого вычислять правильный отсчет (ϵ) по ГК и правильно совмещать юстировочными винтами перекрестье сетки нитей с визирной целью.

3. Повторить определение коллимационной ошибки после ее исправления.

Контрольные вопросы

1. Что называется оптической осью зрительной трубы?
2. Что называется визирной осью зрительной трубы?
3. Нарушение какого геометрического требования приводит к возникновению коллимационной ошибки c ?
4. Каковы допуски и формулы для вычисления коллимационной ошибки c ?
5. Опишите методику исправления коллимационной ошибки c .
6. Объясните влияние коллимационной ошибки c на измеряемые углы.

Лабораторная работа № 4

Измерение горизонтального угла полным приемом

Цели и задачи работы: освоить методику приведения теодолита в рабочее положение и методику измерения горизонтального угла полным приемом.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0; штатив; становой винт; шпилька для юстировки уровня; журнал для измерений.

Содержание отчета

1. Журнал с измерениями горизонтального угла.
2. Описание методики измерения горизонтального угла.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Рассматриваемая методика измерения горизонтального угла полным приемом создает условия для контроля измерений и для ослабления влияния инструментальных ошибок. Контроль обеспечивается сравнением результатов измерений угла в первом и втором полуприемах. Измерение угла в полуприемах при круге лево и круге право ослабляет влияние коллимационной ошибки, ошибки из-за неравенства подставок, а также эксцентриситета алидады ГК. Эксцентриситет исключается потому, что во время измерений при двух положениях ВК отсчеты берутся по диаметрально противоположным частям лимба. Кроме того, ошибки неточного нанесения делений лимба ослабляются путем поворота лимба на 90° между полуприемами.

В теодолитных ходах измеряют левые или правые по ходу углы поворота (рис. 18).

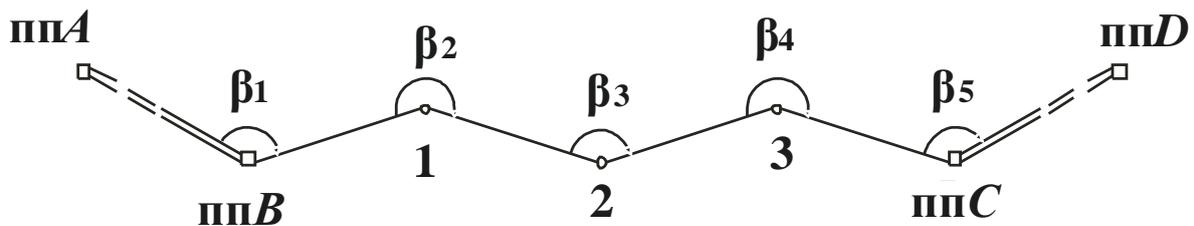


Рис. 18. Схема теодолитного хода, где измерены левые углы поворота

Теодолит устанавливается в вершине измеряемого угла (в точке 1) и приводится в рабочее положение, т. е. выполняется центрирование, горизонтирование инструмента над точкой.

Центрирование заключается в установке центра лимба, т. е. оси вращения теодолита, на одной отвесной линии с вершиной измеряемого угла (точкой 1) и осуществляется при помощи отвеса. Теодолит устанавливают над точкой так, чтобы верхняя плоскость головки штатива была горизонтальна, острие отвеса проецировалось на точку. Современные теодолиты оснащены оптическими центрирами, которые облегчают центрирование, особенно при сильном ветре, и повышают точность. Точность центрирования – 2-3 мм.

Горизонтирование теодолита – процесс установки, с помощью цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга, плоскости лимба в горизонтальное положение. Тогда ось вращения теодолита займет отвесное положение.

Для измерения горизонтального угла необходимо зафиксировать положение точек В и 2 визирными целями, как правило, это вешки.

Горизонтальный угол измеряется одним полным приемом, состоящим из двух полуприемов.

Измерение угла одним полуприемом складывается из выполнения следующих действий.

1. Навести зрительную трубу на заднюю по ходу точку В при положении теодолита КЛ, сфокусировать зрительную трубу «по глазу» наблюдателя и «по предмету» и произвести отсчет L_1 по отсчетному устройству горизонтального круга.

2. Далее, вращая алидаду теодолита по ходу часовой стрелки, навести зрительную трубу на переднюю по ходу точку 2 при положении теодолита КЛ. Сфокусировать зрительную трубу «по глазу» наблюдателя и «по предмету» и произвести отсчет L_2 по отсчетному устройству горизонтального круга.

3. Значение угла при КЛ вычисляется по формуле

$$\beta_{\text{КЛ}} = L_2 - L_1. \quad (9)$$

Теперь этот же угол необходимо измерить вторым полуприемом – при положении вертикального круга теодолита КП.

4. Для этого лимб переставляется на несколько градусов, зрительная труба переводится через зенит, и положение ВК теодолита меняется на КП.

5. Навести зрительную трубу на переднюю точку 2 и произвести отсчет R_2 по ГК теодолита.

6. Далее алидада поворачивается против хода часовой стрелки и зрительная труба наводится на заднюю точку В, производится отсчет R_1 по ГК теодолита.

7. Значение угла при КП вычисляется по формуле:

$$\beta_{\text{КП}} = R_2 - R_1. \quad (10)$$

Расхождение значений одного и того же угла в полуприемах, т. е. при положении ВК теодолита КЛ и КП, не должно превышать допустимого значения, определяемого по формуле

$$\beta_{\text{КЛ}} - \beta_{\text{КП}} \leq 2t, \quad (11)$$

где t – средняя квадратическая ошибка измерения угла теодолитом, соответствующая точности отсчетного устройства теодолита.

Если расхождение не превышает допустимую величину, то за окончательный результат принимается среднее значение угла

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}}}{2}. \quad (12)$$

Если расхождение превышает допустимую величину ($2t$), то необходимо, изменив высоту инструмента, вновь измерить соответствующий угол.

Порядок заполнения журнала измерения горизонтальных углов (левых по ходу) и вычисления значения угла представлен в табл. 5.

Таблица 5

Порядок заполнения и вычислений в журнале

Точка стояния	Точка наведения	Круг	Отсчет по лимбу	Отсчет по микрометру		$\beta_{\text{КЛ}}, \beta_{\text{КП}}$	c	$\beta_{\text{ср}}$
Т. 1	(1) В	Л	35°	04'		(5)	(7) 0	(9) 110°34,5'
	(2) 2	Л	145°	38'		110°34'		
	(3) 2	П	327°	39'		(6)	(8) -0,5'	
	(4) В	П	217°	04'		110°35'		

Цифрами в скобках указан порядок измерений и заполнения журнала.

На рис. 19 представлен случай, когда измеряются правые по ходу углы поворота.

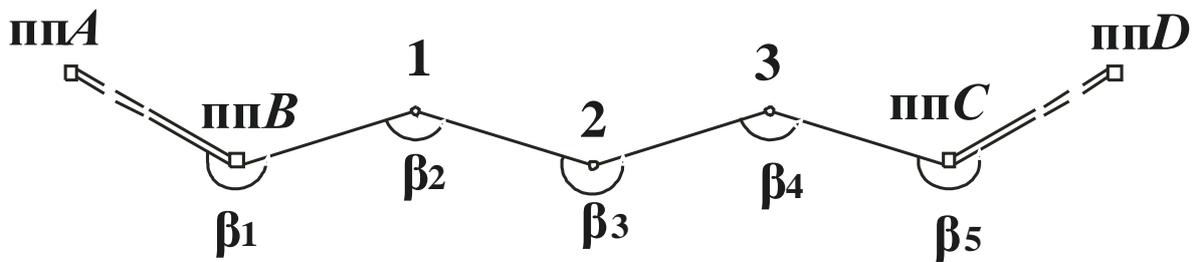


Рис. 19. Схема теодолитного хода. Измеряются правые углы поворота

Порядок измерения правых углов поворота кратко представлен ниже.

1. Т. 2: КЛ $\rightarrow L_1$.

2. Т. В: КЛ $\rightarrow L_2$.

3. $\beta_{\text{КЛ}} = L_2 - L_1$.

4. Перестановка лимба на несколько градусов.

5. Т. В: КП $\rightarrow R_2$.

6. Т. 2: КП $\rightarrow R_1$.

7. $\beta_{\text{КП}} = R_2 - R_1$.

8. $\beta_{\text{ср}} = \frac{\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}}}{2}$.

Рабочее задание

Изучить с помощью приведенного теоретического материала последовательность измерения горизонтального угла техническим теодолитом.

Затем, приведя инструмент в рабочее положение (выполнить центрирование и горизонтирование), измерить угол между двумя визирными целями одним полным приемом, состоящим из двух полуприемов (при КЛ и КП), с перестановкой лимба на 90° между полуприемами (для независимости измерений во 2-м полуприеме). Результаты измерений записать в журнал и выполнить все необходимые вычисления.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «горизонтальный угол».
2. Что значит «привести теодолит в рабочее положение»?

3. Опишите методику измерения горизонтального угла.
4. Каково допустимое расхождение значения угла в полуприемах?
5. В чем заключается разница при измерении левых и правых углов?

Лабораторная работа № 5

Определение и исправление места нуля вертикального круга. Измерение угла наклона

Цели и задачи работы: определить и исправить место нуля (МО) вертикального круга теодолита; измерить угол наклона.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0; штатив; становой винт; шпилька для юстировки уровня; журнал для измерений.

Содержание отчета

1. Журнал с измерениями вертикального угла.
2. Описание методики измерения угла наклона.
3. Описание методики определения и исправления места нуля.
4. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов, углов наклона и зенитных расстояний.

Угол наклона (v) – это угол между горизонтальной плоскостью (HH_1) и направлением визирного луча (HB) на цель (рис. 20).

Углы наклона могут быть со знаком «+» и «-», в зависимости от того, как (ниже или выше горизонтальной плоскости) располагается визирная цель.

Из теории вертикального круга следует, что при горизонтальном положении визирной оси (VV_1) и оси цилиндрического уровня (UU_1) отсчет по вертикальному кругу равен нулю (индекс отсчетного устройства и нулевой градусный штрих лимба совпадают) (см. рис. 7).

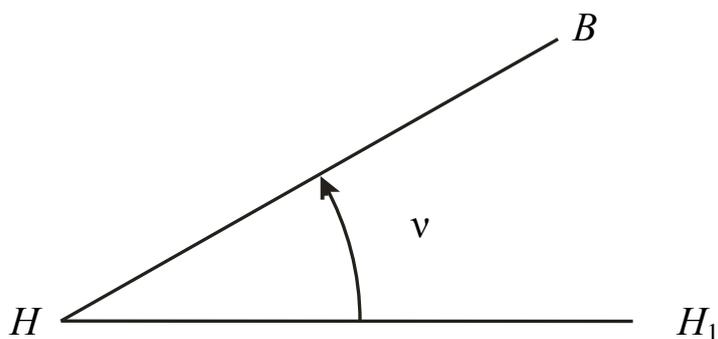


Рис. 20. Угол наклона

Если отсчет не равен нулю, то образуется суммарный угол $(x + y)$ между визирной осью и нулевым градусным штрихом лимба и осью цилиндрического уровня и индексом отсчетного устройства, который называется место нуля (МО) вертикального круга (рис. 21).



Рис. 21. Место нуля вертикального круга

Место нуля – это отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы, когда пузырек уровня при алидаде ВК находится в нуль-пункте.

Порядок определения места нуля

1. Перекрестье сетки нитей зрительной трубы навести на визирную цель В при положении теодолита КЛ. Перед взятием отсчета пузырек цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга необходимо привести в нуль-пункт и произвести отсчет по вертикальному кругу.

2. Затем следует поменять положение теодолита на КП и аналогично произвести отсчет.

3. Значение МО вычисляется по формулам

$$MO = \frac{KЛ + КП \pm 180^\circ}{2}; \quad (13)$$

$$MO = \frac{KЛ + КП}{2}. \quad (14)$$

Формула (13) применяется для теодолита Т30, формула (14) – для теодолита 2Т30.

МО не должно превышать допустимую величину $2m_\beta$ (ошибка измерения угла).

Основное требование, предъявляемое к значению МО, – оно должно быть постоянным, поэтому определение МО необходимо выполнять при визировании на несколько визирных целей.

Если значение $MO > 2m_\beta$, то его необходимо исправить.

Порядок исправления МО

1. Вычисляется правильный отсчет, свободный от влияния МО (который и является углом наклона), по нижеприведенным формулам.

Для теодолита Т30:

$$v = \frac{KЛ - КП + 180^\circ}{2}; \quad (15)$$

$$v = KЛ - MO; \quad (16)$$

$$v = MO - КП + 180^\circ. \quad (17)$$

Для теодолита 2Т30:

$$v = \frac{KЛ - КП}{2}; \quad (18)$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad (19)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП}. \quad (20)$$

Значения угла наклона, вычисленные по каждой из трех формул (для каждого типа теодолита), должны быть равны, что является контролем вычислений.

2. На лимбе ВК устанавливается правильный отсчет микрометрическим винтом зрительной трубы в отсчетном устройстве ВК теодолита. При этом зрительная труба изменит свое положение в вертикальной плоскости и перекрестие сетки нитей сойдет с визирной цели вверх или вниз.

Расстояние от визирной цели до перекрестия сетки нитей представляет собой линейную величину МО (рис. 22).

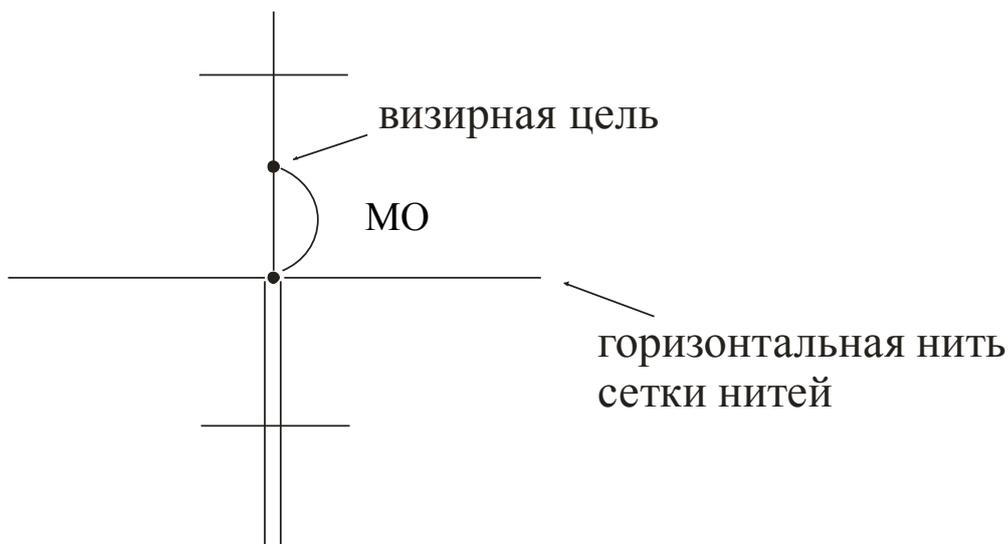


Рис. 22. Величина места нуля

3. Исправляется МО юстировочными винтами сетки нитей (рис. 23) путем изменения направления визирного луча. Исправление выполняется вертикальными винтами, при этом предварительно ослабляются горизонтальные винты. Для этого, вращая винты с помощью шпильки, необходимо добиться совмещения перекрестия сетки нитей с визирной целью.

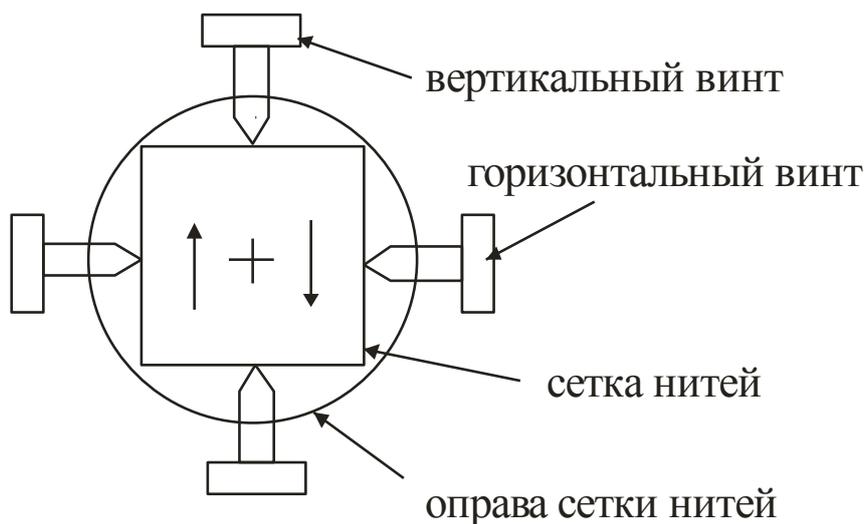


Рис. 23. Юстировочные винты сетки нитей

4. После исправления МО поверку необходимо повторить.

5. После окончательного выполнения исправления МО необходимо повторить поверку коллимационной ошибки.

Пример определения и исправления места нуля представлен в табл. 6 и нижеприведенными вычислениями.

Таблица 6

Образец записи в журнале для определения МО

Точка стояния	Точка визирования	Отсчеты по ВК		МО
		КЛ	КП	
п. А	т. 1	07°30'	-07°40'	-5'
п. А	т. 1	07°35'	-07°35'	0

$$MO = \frac{КЛ + КП}{2} = \frac{7^{\circ}30' + 7^{\circ}40'}{2} = -5'; \quad (21)$$

$$v = \frac{КЛ - КП}{2} = \frac{7^{\circ}30' - 7^{\circ}40'}{2} = 7^{\circ}35'; \quad (22)$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 7^{\circ}30' + 5' = 7^{\circ}35'; \quad (23)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} = -5' + 7^{\circ}40' = 7^{\circ}35'. \quad (24)$$

Рабочее задание

1. Выполнить измерение вертикального угла (угла наклона) одним полным приемом. Измерения выполнить на две визирные цели.
2. Определить МО вертикального круга теодолита, выполнить исправление МО.
3. Для проверки качества исправления МО измерить угол наклона одним приемом после выполнения поверки.

Контрольные вопросы

1. Что называется углом наклона?
2. Что называется МО?
3. Опишите порядок определения и исправления МО.
4. Опишите порядок измерения угла наклона.
5. Для чего перед взятием отсчета по ВК приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт?
6. Сформулируйте основное требование, предъявляемое к МО.

Лабораторная работа № 6

Измерение расстояний нитяным дальномером

Цели и задачи работы: освоить процесс измерения расстояний при помощи нитяного дальномера теодолита.

Перечень обеспечивающих средств: теодолиты Т30, 2Т30; штатив; становой винт; шпилька для юстировки уровня; журнал для измерений.

Содержание отчета

1. Журнал с измерениями расстояния.
2. Описание методики измерений расстояния.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Нитяным дальномером снабжены зрительные трубы практически всех геодезических приборов. Он представляет собой две дальномерные нити (d_1 и d_3), расположенные по обе стороны от центра сетки нитей на равных расстояниях. Коэффициент дальномера $\kappa = 100$ (рис. 24).

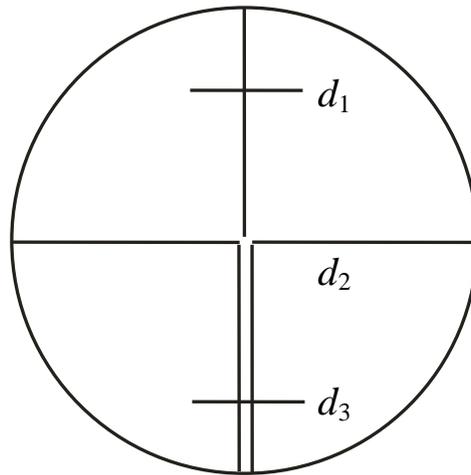


Рис. 24. Сетка нитей теодолита:

d_1, d_3 – дальномерные нити; d_2 – средняя нить сетки нитей

Если рейку с делениями (нивелирную рейку) рассматривать в зрительную трубу теодолита, то чем дальше она будет стоять, тем большее число делений рейки поместится между дальномерными нитями. В этом заключается принцип работы оптического дальномера с постоянным зрительным углом.

Для измерения расстояния между точками местности А и В геодезический прибор устанавливается над точкой А, а в точку В устанавливается нивелирная рейка (рис. 25).

При визировании зрительной трубы наблюдатель видит в окуляр часть рейки, расположенной в поле зрения, и снимает отсчеты по дальномерным нитям сетки нитей. Отрезок рейки, заключенный между дальномерными нитями, умноженный на коэффициент дальномера, и является дальномерным расстоянием (рис. 26).

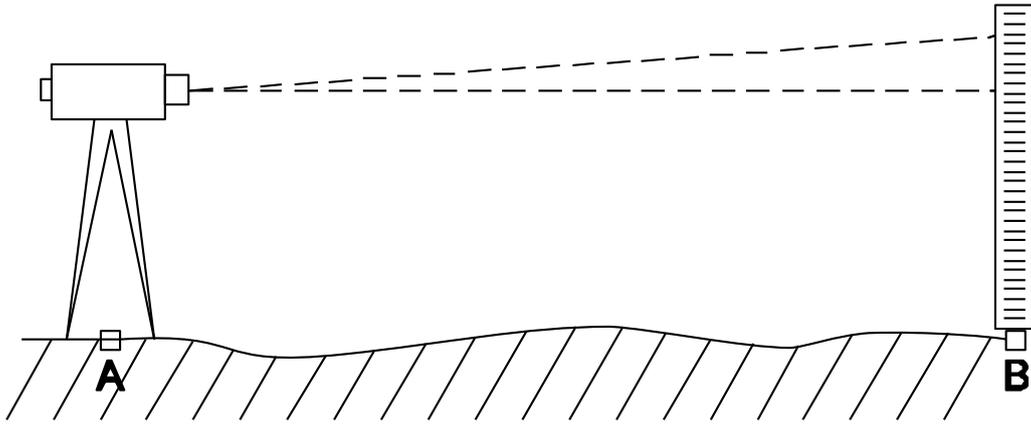


Рис. 25. Схема определения расстояния при помощи
дальномерных нитей прибора

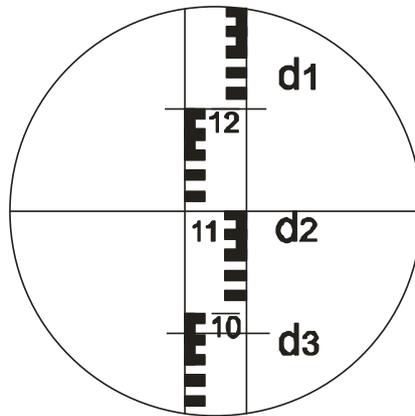


Рис. 26. Определение дальномерного расстояния:

d_1 – отсчет по верхней дальномерной нити, равный 1200 мм; d_3 – отсчет по нижней дальномерной нити, равный 0980 мм

Дальномерное расстояние D вычисляется по формуле

$$D = l \cdot k + k_0, \quad (25)$$

где k – коэффициент дальномера (чаще всего $k = 100$);

k_0 – постоянная дальномера ($k_0 = 0$);

l – дальномерный отсчет, вычисленный по формуле

$$l = d_1 - d_3. \quad (26)$$

В данном случае

$$D = (d_1 - d_3) \cdot 100 + 0 = (1200 - 0980) \cdot 100 + 0 = 220 \cdot 100 = 22\,000 \text{ мм} = 22 \text{ м}.$$

Точность измерения расстояния нитяным дальномером составляет величину в относительной мере порядка $1/300$.

Рабочее задание

1. Полученный теодолит привести в рабочее состояние.
2. Используя изложенный материал, при помощи нитяного дальномера выполнить измерения, необходимые для вычисления расстояния от инструмента до рейки, которая установлена на другом конце линии.
3. При помощи формул (25), (26) вычислить дальномерное расстояние D .

Контрольные вопросы

1. Что называется нитяным дальномером?
2. Опишите порядок определения расстояния с помощью нитяного дальномера.
3. Каким образом вычисляется дальномерное расстояние?

НИВЕЛИРЫ

Лабораторная работа № 7 Устройство технического нивелира

Цели и задачи работы: изучить устройство технического нивелира.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир Н-3; штатив; становой винт; трехметровая шашечная нивелирная рейка.

Содержание отчета

1. Рисунок нивелира Н-3 с указанием и описанием основных его частей.
2. Описание методики определения цены деления уровня.
3. Расчет увеличения зрительной трубы нивелира.
4. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Нивелир – геодезический прибор, предназначенный для измерения превышений горизонтальной линией визирования.

По точности нивелиры подразделяются следующим образом:

а) технические (типа Н-10, ошибка измерения на 1 км двойного хода не более 10 мм);

б) точные (типа Н-3);

в) высокоточные (типа Н-05).

Так же как и теодолиты, нивелиры имеют модификации и дополнительные технические характеристики, которые обозначаются введением дополнительных букв или цифр в название инструмента:

К – компенсатор (Н-3К);

Л – горизонтальный лимб (Н-10КЛ).

Некоторые технические параметры нивелиров представлены в табл. 7.

Технические параметры нивелиров

Нивелир	Увеличение зрительной трубы	Ошибка измерения превышения	Масса прибора
Н-05	40 [×]	0,5 мм	5 кг
Н-3	30 [×]	3 мм	2,0 кг
Н-10	25 [×]	10 мм	1,5 кг

Главными конструктивными частями нивелира являются зрительная труба и цилиндрический уровень. Основное условие, предъявляемое к уровенному нивелиру, заключается в том, что визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.

Нивелир Н-3 представлен на рис. 27.

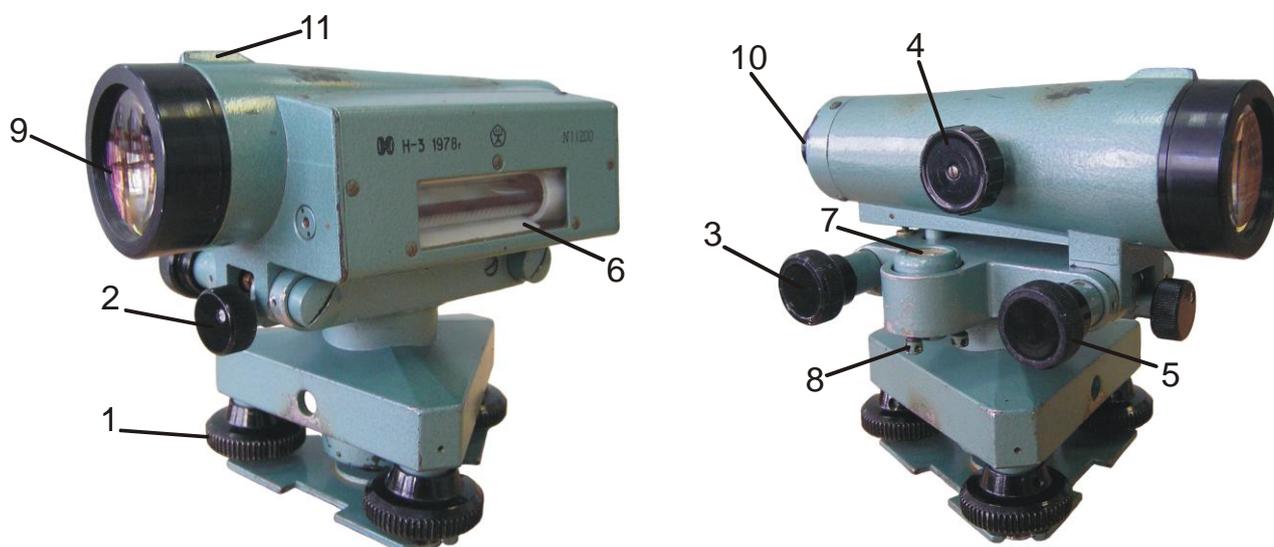


Рис. 27. Устройство нивелира Н-3:

1 – подъемный винт; 2 – закрепительный винт; 3 – элевационный винт; 4 – фокусирующий винт (кремальера); 5 – наводящий винт; 6 – цилиндрический уровень; 7 – круглый уровень; 8 – исправительный (юстировочный) винт круглого уровня; 9 – объектив зрительной трубы; 10 – окуляр зрительной трубы; 11 – визир

Определение цены деления уровня

Цена деления уровня (τ) – угол, на который нужно наклонить уровень, чтобы пузырек переместился на одно деление (рис. 28).

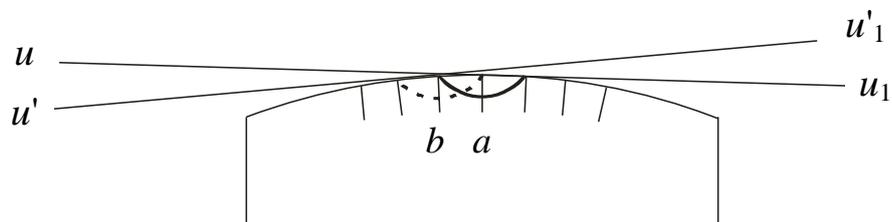


Рис. 28. Цена деления уровня:

uu_1 – касательная к внутренней поверхности ампулы при положении пузырька a ; $u'u_1$ – касательная к внутренней поверхности ампулы при положении пузырька b

Этот угол определяется по формуле:

$$\tau'' = \frac{l \cdot \rho''}{n \cdot D}, \quad (27)$$

где $\rho'' = 206\,265''$ – число секунд в радиане;

l – разность отсчетов по рейке при двух положениях пузырька (мм);

D – расстояние от нивелира до рейки (мм);

n – количество делений, на которое переместился пузырек уровня.

Определение цены деления уровня выполняется в следующем порядке.

1. Прибор приводится в рабочее положение при помощи круглого уровня.

2. При помощи элевационного винта визирная ось зрительной трубы приводится в горизонтальное положение, т. е. пузырек уровня должен находиться в нуль-пункте, как показано на рис. 29.

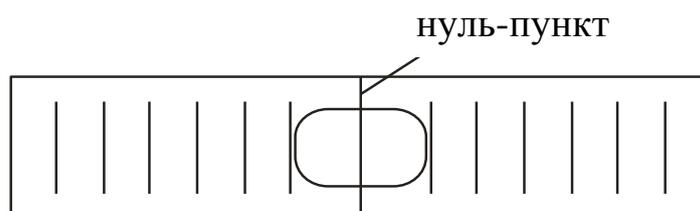


Рис. 29. Пузырек уровня в нуль-пункте

3. Производится отсчет по рейке по средней нити n_1 (рис. 30).

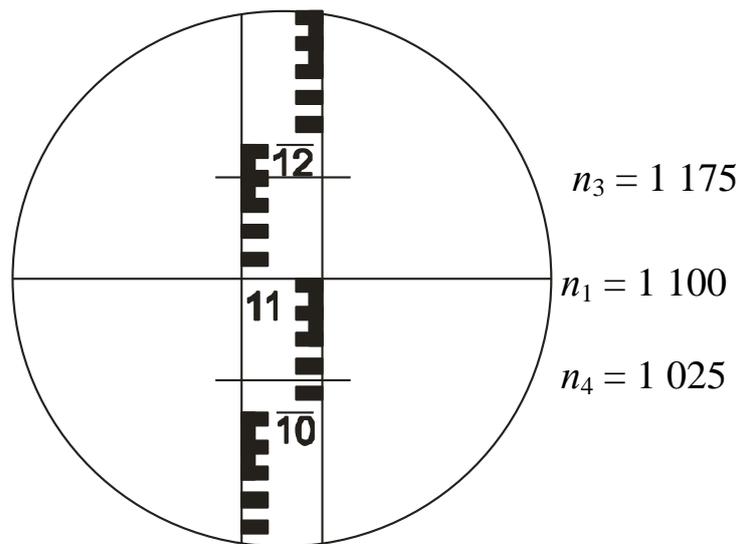


Рис. 30. Отсчеты по средней нити – n_1
и по дальномерным нитям – n_3, n_4

4. Зрительная труба наклоняется с помощью элевационного винта, т. е. пузырек перемещается в сторону объектива или окуляра на 2-3 деления, и вновь производится отсчет по рейке, по средней нити (рис. 31) – n_2 .

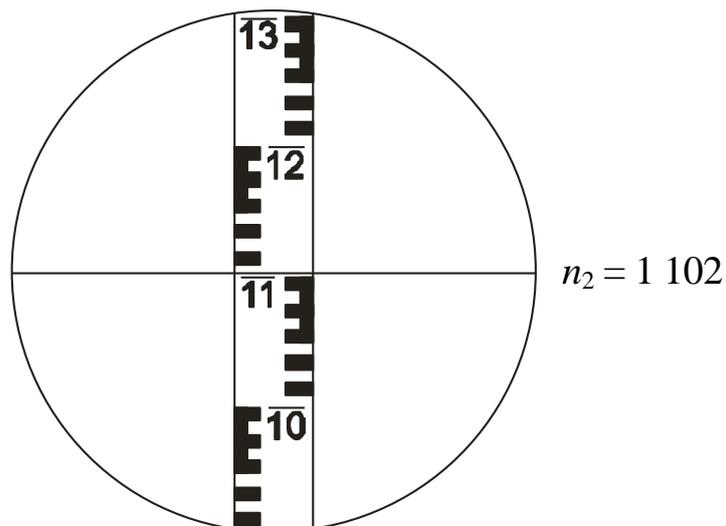


Рис. 31. Отсчет по средней нити n_2

5. Подсчитывается количество делений (n), на которое переместился пузырек уровня (рис. 32).

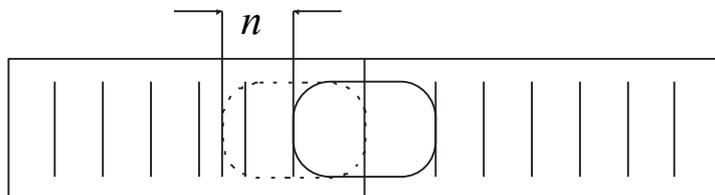


Рис. 32. Смещение пузырька уровня

Далее вычисляется цена деления уровня по формуле (27)

$$\tau = \frac{(1\ 102 - 1\ 100)\ \text{мм} \cdot 206\ 265''}{1,5 \cdot 15\ 000\ \text{мм}} \approx 18'', \quad (28)$$

где $l = (n_2 - n_1) = (1\ 102 - 1\ 100) = 2\ \text{мм}$;

$\rho'' = 206\ 265''$;

$n = 1,5$ (см. рис. 32);

$D = (n_3 - n_4) \cdot 100 = (1\ 175 - 1\ 025) \cdot 100 = 15\ 000\ \text{мм}$ (см. формулу (25)).

Расстояние от нивелира до рейки измеряется рулеткой или по дальномерным нитям, как показано на рис. 30.

Определение увеличения зрительной трубы

Увеличение зрительной трубы (v^{\times}) – это величина отношения угла поля зрения (α), под которым предмет виден в зрительную трубу, к углу (β), под которым тот же предмет виден невооруженным глазом, т. е.

$$v^{\times} = \frac{\alpha}{\beta}. \quad (29)$$

Увеличение зрительной трубы также можно вычислить по формуле

$$v^{\times} = \frac{D}{d}, \quad (30)$$

где D – диаметр объектива;
 d – диаметр окуляра.

Рабочее задание

1. Указать и назвать все основные части нивелира, изучить его устройство, используя при этом приведенный теоретический материал и рис. 27.
2. Определить цену деления цилиндрического уровня нивелира.
3. Определить увеличение зрительной трубы нивелира.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «нивелир».
2. Составьте перечень основных частей нивелира.
3. Сформулируйте главное условие нивелира.
4. Дайте определение понятия «цена деления уровня».
5. Дайте определение понятия «увеличение зрительной трубы».
6. По какой формуле производится расчет цены деления уровня?

Лабораторная работа № 8

Исследование реек

Цели и задачи работы: освоить методику исследования реек; научиться определять разность высот нулей пары шашечных реек.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир Н-3; штатив; становой винт; пара трехметровых шашечных нивелирных реек.

Содержание отчета

1. Описание методики определения разности высот нулей пары шашечных реек.
2. Ведомость определения разности высот нулей пары шашечных реек.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

В комплект нивелира входит пара трехметровых двухсторонних складных шашечных реек с ценой деления 1 см. При отсчитывании по рейкам миллиметры определяются на глаз (интерполированием). Черные стороны обеих реек оцифрованы от 0 до 30 дм. Нуль рейки называют пяткой рейки. Для независимости отсчетов красные стороны реек оцифрованы следующим образом: от 47 до 77 дм – одна рейка, от 48 до 78 дм – другая.

Превышение, вычисленное по черным сторонам реек

$$h_{\text{ч}} = Z_{\text{ч}} - П_{\text{ч}},$$

будет иметь реальную величину, так как обе пятки черных сторон пары реек начинаются с нуля. А превышение, вычисленное по красным сторонам реек

$$h_{\text{к}} = Z_{\text{к}} - П_{\text{к}},$$

будет отличаться от реального на ± 100 мм из-за разности высот пяток реек. Если подбор реек сделан неправильно, т. е. обе пятки красных сторон имеют одинаковое начало отсчета, например 47 и 47, то превышение, вычисленное по красным сторонам реек, не будет отличаться от превышения, вычисленного по черным сторонам реек.

Перед началом работ необходимо выполнить исследование реек с целью заключения о пригодности их к работе.

Нужно убедиться, что используется пара реек, по черной стороне которых с пяткой совпадают нулевые отсчеты, а по красной – отсчеты, отличающиеся между собой на 100 мм (т. е. пара подобрана правильно). Это предусмотрено методикой измерения превышений для соблюдения контроля на станции нивелирования.

Порядок определения разности высот нулей реек

На местности на расстоянии 5–8 м от нивелира забиваются в землю четыре костыля на разной высоте. Исследование производится в два этапа.

1. Последовательно устанавливается на костыли строго по круглому уровню первая рейка (рейка № 1) и производятся отсчеты по черной и красной сторонам рейки. Затем аналогичные действия выполняются со второй рейкой (рейкой № 2).

2. Изменяется высота нивелира на 5–10 см и повторяются те же действия, что и на первом этапе.

Результаты измерений заносятся в ведомость, приведенную в табл. 8.

Таблица 8

Ведомость определения разности высот нулей пары шашечных реек

№ приема	№ костыля	Отсчеты по рейке № 361 (1)			Отсчеты по рейке № 362 (2)		
		черная сторона	красная сторона	разность отсчетов	черная сторона	красная сторона	разность отсчетов
I	1	0363	5150	4787	0362	5051	4689
	2	0412	5200	4788	0411	5099	4688
	3	0491	5277	4786	0491	5178	4687
	4	0592	5379	4787	0591	5279	4688
II	1	0409	5196	4787	0410	5099	4689
	2	0457	5245	4788	0458	5147	4689
	3	0538	5325	4787	0539	5227	4688
	4	0638	5426	4788	0636	5325	4689
Σ		3900	42198	38298	3898	41405	37507
Среднее		487,5	5274,8	4787,3	487,2	5175,6	4688,4

После выполнения измерений путем последующих вычислений определяется фактическая разность высот нулей реек.

Сначала вычисляется сумма отсчетов по столбцам, затем средние значения по столбцам.

Разность высот нулей реек № 361 (1) и № 362 (2) получается следующим образом.

1. Вычисляется разность средних отсчетов черных сторон реек (см. табл. 8):

$$487,5 - 487,2 = 0,3 \text{ мм.}$$

2. Вычисляется разность средних отсчетов красных сторон реек:

$$5\ 274,8 - 5\ 175,6 = 99,2 \text{ мм.}$$

3. Вычисляется разность высот нулей реек как разность средних отсчетов черных и красных сторон реек:

$$0,3 - 99,2 = -98,9 \text{ мм} \approx 99 \text{ мм.}$$

Полученная величина будет служить допустимым значением разности превышения на станции, полученного по черным и красным сторонам реек.

Рабочее задание

1. Установить полученный нивелир, привести его в рабочее положение и выполнить определение разности высот нулей пары реек.
2. Составить ведомость определения разности высот пары реек, вычислить фактическое значение разности.

Контрольные вопросы

1. Какова теоретическая величина разности высот нулей реек?
2. Для чего выполняется определение разности высот нулей реек?
3. Опишите порядок определения разности высот нулей реек.
4. По какой формуле вычисляют среднее превышение на станции и как влияет пяточная разность на результат измерений?

Лабораторная работа № 9

Поверки и юстировка нивелира

Цели и задачи работы: освоить методику выполнения основных поверок нивелира; научиться выполнять поверку и юстировку круглого уровня, поверку положения сетки нитей, поверку главного условия нивелира.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир Н-3; штатив; становой винт, шпилька для исправления уровня; нитяной отвес; пара трехметровых шашечных нивелирных реек.

Содержание отчета

1. Описание методики выполнения поверки и юстировки круглого уровня.
2. Описание методики выполнения поверки положения сетки нитей.
3. Описание методики выполнения поверки главного условия нивелира.
4. Журнал с результатами выполнения поверки главного условия нивелира.
5. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Геометрическая сущность нивелира представлена на рис. 33.

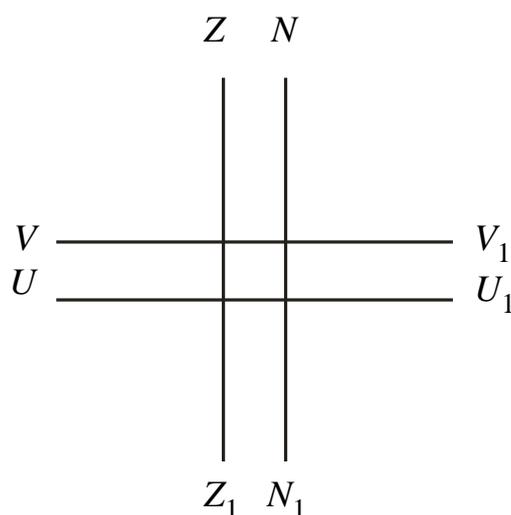


Рис. 33. Основные оси нивелира:

ZZ_1 – ось вращения нивелира (вертикальная); UU_1 – ось цилиндрического уровня; VV_1 – визирная ось зрительной трубы; NN_1 – ось круглого уровня

Геометрические требования, предъявляемые к осям нивелира:

- 1) ось вращения нивелира (ZZ_1) должна быть параллельна оси круглого уровня (NN_1);
- 2) визирная ось зрительной трубы (VV_1) должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (UU_1);

3) горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира (ZZ_1), а вертикальный – параллелен ей.

Для проверки геометрических требований необходимо выполнить следующие поверки.

Поверка круглого уровня

Поверка выполняется для контроля соблюдения геометрического требования 1, предъявляемого к осям нивелира, в следующем порядке.

1. Нивелир устанавливается на штативе, круглый уровень располагается параллельно двум подъемным винтам (рис. 34).

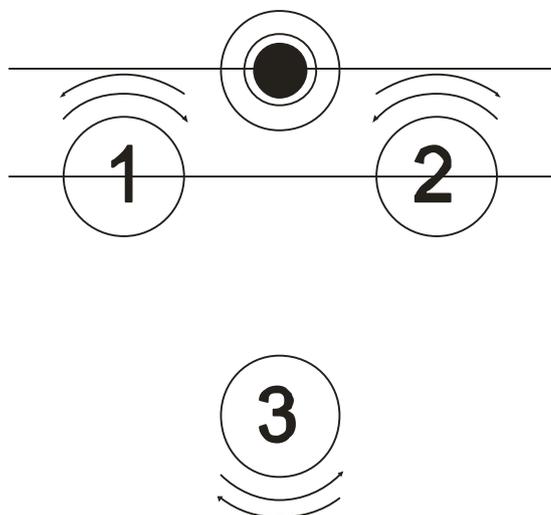


Рис. 34. Общий вид круглого уровня; положение пузырька уровня при начале выполнения поверки

Вращением подъемных винтов пузырек уровня приводится в нуль-пункт (рис. 35).

2. Нивелир поворачивается на 180° . Если пузырек остался в нуль-пункте или отклонился в пределах малого круга (рис. 36), то первое геометрическое условие считается выполненным.

Если пузырек уровня вышел за пределы малого круга, необходимо выполнить юстировку круглого уровня.

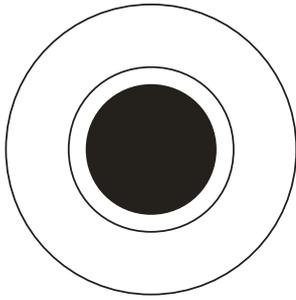


Рис. 35. Пузырек уровня
в нуль-пункте

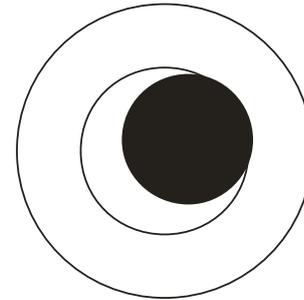


Рис. 36. Пузырек уровня
в пределах малого круга

Юстировка круглого уровня выполняется следующим образом.

1. Юстировочными винтами пузырек уровня перемещается к нуль-пункту на половину дуги отклонения.
2. Подъемными винтами пузырек уровня точно устанавливается в нуль-пункт.
3. После юстировки нивелир необходимо повернуть на 180° и убедиться в соблюдении геометрического условия.

Проверка положения сетки нитей

Проверка геометрического условия сетки нитей зрительной трубы нивелира может быть выполнена двумя способами: по вертикальной или по горизонтальной нити.

По вертикальной нити

Нивелир устанавливается на штатив, приводится в рабочее положение. На расстоянии 10 м подвешивается нитяной отвес. Зрительная труба наводится на отвес таким образом, чтобы вертикальная нить сетки находилась рядом с нитью отвеса, примерно на расстоянии двойной толщины нити (рис. 37).

Тогда визуально можно определить отклонение вертикальной нити сетки нитей от нити отвеса. Если нижний или верхний конец нити отклонился от нити отвеса более чем на 0,5 мм, тогда необходимо произвести исправление положения сетки нитей.

Исправление выполняется юстировочными винтами сетки нитей, расположенными на окуляре под защитной крышкой зрительной трубы, и заключается в развороте сетки нитей при помощи всех четырех винтов (рис. 38).

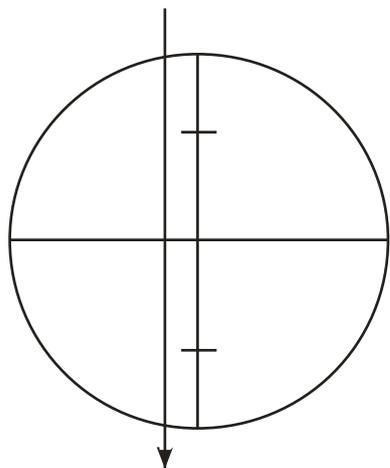


Рис. 37. Положение отвеса относительно сетки нитей

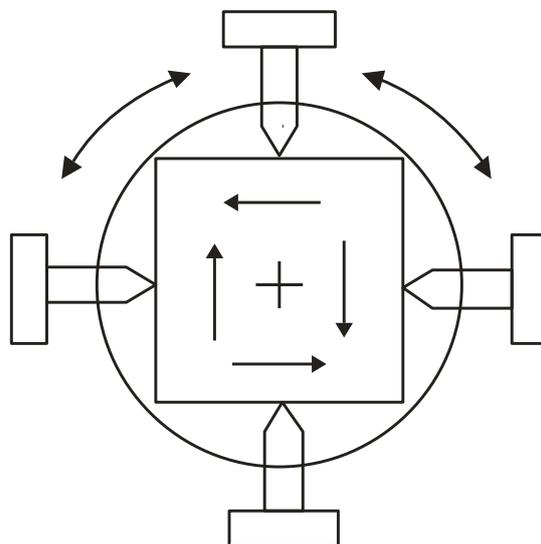


Рис. 38. Четыре винта сетки нитей; исправление положения сетки нитей

После юстировки сетки нитей поверку необходимо повторить и убедиться в выполнении этого геометрического требования.

По горизонтальной нити

Нивелир устанавливается на штатив, приводится в рабочее положение. На расстоянии 5–10 м неподвижно устанавливается рейка. Зрительная труба визируется на рейку таким образом, чтобы изображение рейки находилось с правой стороны окуляра, затем посередине и с левой стороны (рис. 39). При каждом положении зрительной трубы производятся отсчеты по рейке n_1 , n_2 , n_3 по средней нити.

Если отсчеты n_1 , n_2 , n_3 равны или отличаются друг от друга не более чем на 0,1 мм, считается, что условие выполнено. В противном случае выполняется юстировка сетки нитей.

После юстировки сетки нитей поверку необходимо повторить и убедиться в выполнении геометрического условия.

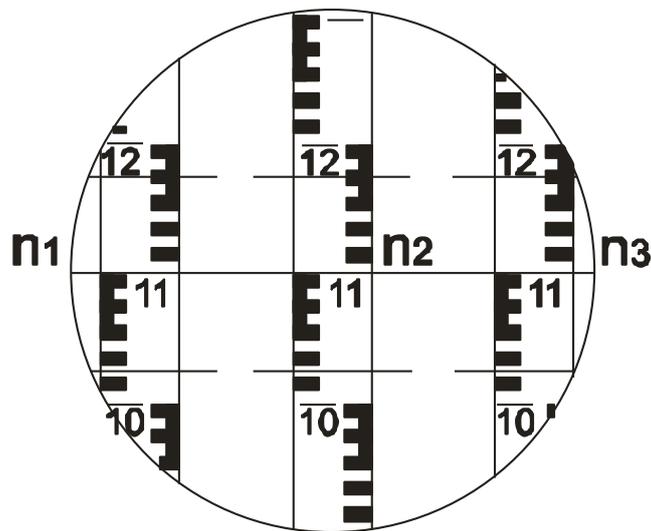


Рис. 39. Отсчеты по рейке n_1, n_2, n_3

Проверка главного условия нивелира

Проверка параллельности оси цилиндрического уровня и визирной оси зрительной трубы нивелира выполняется в следующем порядке.

1. На расстоянии 50 м друг от друга забиваются в землю два колышка. Над одним из них устанавливается нивелир таким образом, чтобы окуляр находился над точкой, а на второй колышек устанавливается отвесная рейка (рис. 40).

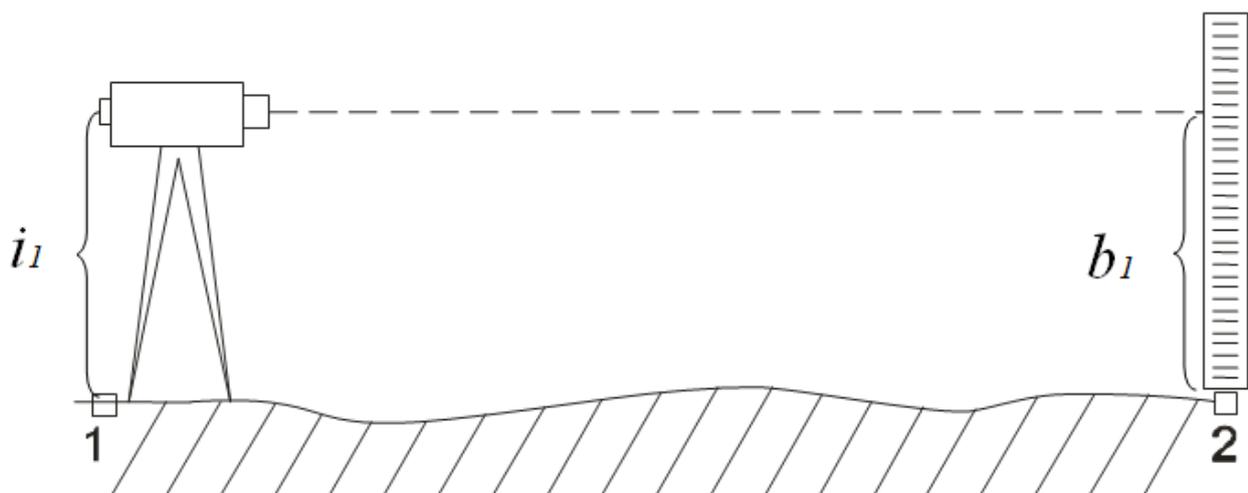


Рис. 40. Схема расположения нивелира и рейки

Ось вращения нивелира приводится в вертикальное положение при помощи подъемных винтов. Далее производится отсчет по рейке b_1 . Измеряется высота инструмента i_1 (от середины окуляра до вершины костыля) рулеткой или с помощью рейки.

2. Нивелир и рейка меняются местами (рис. 41) и аналогичным образом выполняются измерения b_2 и i_2 .

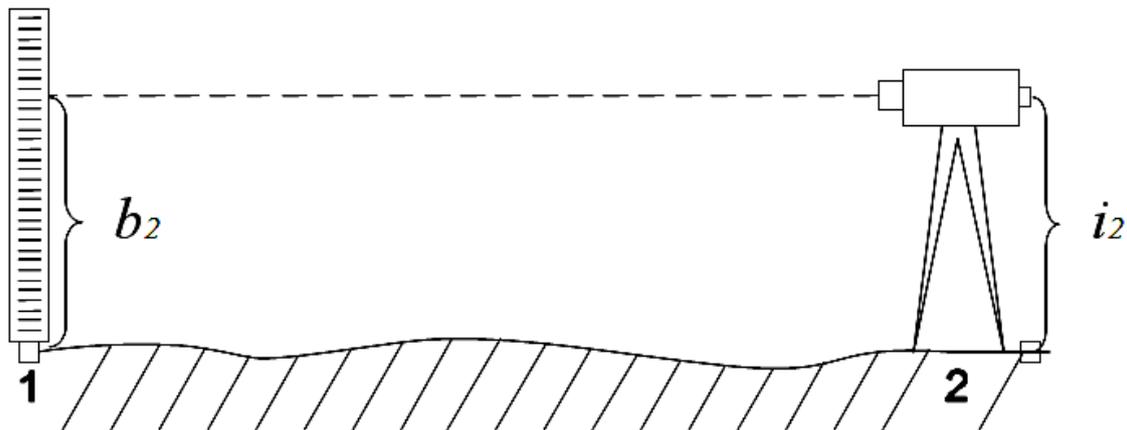


Рис. 41. Схема расположения нивелира и рейки

3. Вычисляется значение величины x (т. е. ошибки в отсчете по рейке, образованной непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня) по формуле

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2} \leq \pm 4 \text{ мм.} \quad (31)$$

Если полученная величина x не превышает допустимую величину (4 мм), то геометрическое условие считается выполненным. В противном случае производится юстировка положения оси цилиндрического уровня.

Порядок выполнения юстировки

1. Вычисляется правильный отсчет, свободный от влияния ошибки x

$$b'_2 = b_2 - x. \quad (32)$$

2. Устанавливается правильный отсчет по рейке с помощью элевационного винта. При этом пузырек цилиндрического уровня выйдет из нуля-пункта, это видно по расхождению концов пузырька уровня (рис. 42).

3. Далее необходимо совместить концы пузырька уровня с помощью юстировочных винтов, расположенных около окуляра зрительной трубы, под защитной крышкой (рис. 43).

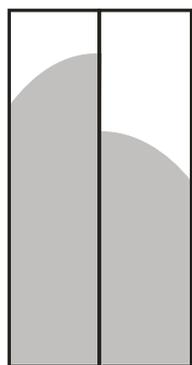


Рис. 42. Расхождение концов пузырька уровня

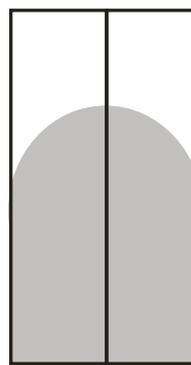


Рис. 43. Совмещение концов пузырька уровня

После юстировки уровня поверку необходимо повторить и убедиться в выполнении геометрического условия.

Пример вычисления величины x :

$$b_1 = 1\,295 \text{ мм}; \quad b_2 = 1\,375 \text{ мм};$$

$$i_1 = 1\,350 \text{ мм}; \quad i_2 = 1\,340 \text{ мм}.$$

Тогда ошибка x , вычисленная по формуле (31), будет равна:

$$x = \frac{1\,295 + 1\,375}{2} - \frac{1\,350 + 1\,340}{2} = -10 \text{ мм}.$$

Так как величина $x = -10$ мм превышает 4 мм, необходимо произвести юстировку. Для этого вычисляется правильный отсчет по формуле (32):

$$b'_2 = 1375 - (-10) = 1385 \text{ мм}.$$

После этого (с помощью элевационного винта) по рейке устанавливается правильный отсчет 1 385 мм и производится юстировка положения оси цилиндрического уровня.

Рабочее задание

1. Установить нивелир на штатив. Выполнить поверку первого геометрического требования к осям нивелира (ось вращения нивелира должна быть параллельна оси круглого уровня); выполнить юстировку круглого уровня.

2. Выполнить поверку положения сетки нитей (геометрическое требование к сетке нитей зрительной трубы нивелира) сначала по вертикальной нити с юстировкой, затем – по горизонтальной нити (также с юстировкой).

3. Выполнить поверку главного геометрического условия нивелира в порядке, описанном в теоретической части лабораторной работы; вычислить величину x ; выполнить юстировку.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные оси нивелира и требования, предъявляемые к ним.
2. Что называется осью круглого уровня?
3. Для чего выполняют поверку круглого уровня?
4. Перечислите основные поверки, выполняемые для нивелира.
5. Каково главное условие нивелира?

Лабораторная работа № 10 **Измерение превышений**

Цели и задачи работы: освоить измерения превышений по методике технического нивелирования.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир Н-3; штатив; становой винт, шпилька для исправления уровня; пара трехметровых шашечных нивелирных реек.

Содержание отчета

1. Описание методики измерения превышения на станции.
2. Журнал с результатами измерения и вычисления превышений.
3. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Геодезические методы определения превышений между точками местности называются нивелированием. Основным измеряемым элементом при нивелировании является превышение между точками местности. Существуют следующие виды нивелирования:

- геометрическое (горизонтальным лучом);
- геодезическое, или тригонометрическое (наклонным лучом);
- барометрическое (по разности атмосферных давлений);
- гидростатическое (по уровню жидкости).

Геометрическое нивелирование является наиболее точным методом определения высот. Оно выполняется горизонтальным визирным лучом при помощи нивелира и двух реек с делениями. Наиболее распространенный способ нивелирования – из середины.

Если необходимо передавать высоту на большое расстояние, то делается многократная, последовательная постановка нивелирных станций. Точность геометрического нивелирования, в зависимости от его класса, колеблется от 0,5 до 5–10 мм. Порядок работы на станции по способу из середины следующий (рис. 44).

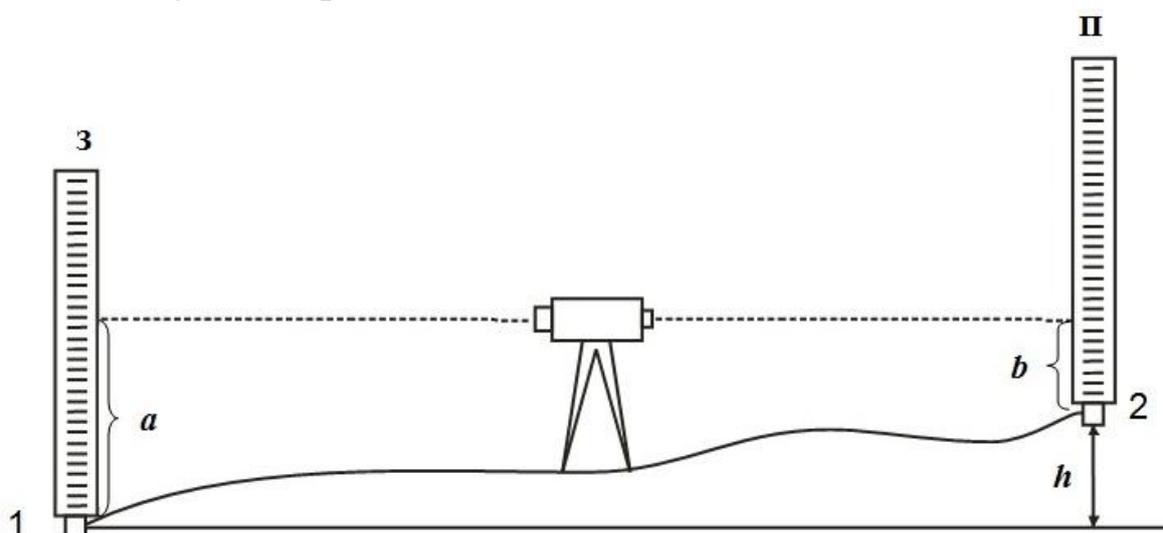


Рис. 44. Схема расположения нивелира при работе на станции

1. Нивелир располагается между точками 1 и 2, на которых устанавливаются рейки.

2. Нивелир приводится в рабочее положение по круглому уровню.

3. Зрительная труба нивелира визируется на рейку, установленную на задней точке 1, визирная ось приводится в горизонтальное положение с помощью элевационного винта и производится отсчет по средней нити *a* по черной стороне рейки.

4. Рейка 1 поворачивается красной стороной и производится отсчет по средней нити.

5. Зрительная труба нивелира визируется на рейку, установленную на передней точке 2, визирная ось приводится в горизонтальное положение с помощью элевационного винта и производится отсчет *b* по средней нити по черной стороне рейки.

6. Рейка 2 поворачивается красной стороной и производится отсчет по средней нити.

Результаты измерений записываются в журнал (табл. 9).

Таблица 9

Образец заполнения журнала на станции

№ станции	Дальномерные расстояния до задней и передней реек	Отсчеты по рейке		Превышение	Среднее превышение (мм)
		задняя	передняя		
$\frac{1}{1-2}$	ч	(1)	(3)	(8)	(11)
	к	(2)	(4)	(9)	
		(5)	(6)	(7) / (10)	
$\frac{2}{2-1}$	ч	1670	0889	0781	+0781
	к	6460	5579	0881	
		4790	4690	-100 / -100	
$\frac{3}{1-2}$	ч	0981	2090	-1109	-1110
	к	5670	6881	-1211	
		4689	4791	+102 / +102	

Перед тем, как приступить к вычислениям, необходимо проверить допуски, предусмотренные инструкцией по нивелированию:

1) разность высот нулей шашечных реек должна быть 100 мм или отличаться не более чем на 5 мм, т. е. находиться в диапазоне от ± 95 до ± 105 мм;

2) расхождение превышений по черным и красным сторонам реек, с учетом пяточной разности, не должно превышать ± 5 мм.

Порядок измерения превышения на станции (см. табл. 9):

(1) – отсчет по черной стороне задней рейки;

(2) – отсчет по красной стороне задней рейки;

(3) – отсчет по черной стороне передней рейки;

(4) – отсчет по красной стороне передней рейки.

Порядок вычисления превышения на станции (см. табл. 9).

1. Вычисляются разности отсчетов по красной и черной сторонам задней и передней реек:

$$(5) = (2) - (1) - \text{задняя рейка};$$

$$(6) = (4) - (3) - \text{передняя рейка}.$$

2. Вычисляется пяточная разность реек:

$$(7) = (6) - (5).$$

Полученный результат сравнивается с допустимой величиной, которая равна 100 ± 5 мм.

3. Вычисляются превышения по черным и красным сторонам реек:

$$(8) = (1) - (3) - \text{по черным сторонам};$$

$$(9) = (2) - (4) - \text{по красным сторонам}.$$

4. Проверяется правильность вычисления превышения и пяточной разности:

$$(10) = (8) - (9).$$

Величины, вычисленные в пунктах 2 и 4, должны совпадать.

5. Вычисляется среднее превышение на станции:

$$(11) = \frac{(8) + (9) \pm 100}{2}.$$

Знак величины ± 100 зависит от знака пяточной разности на станции.

Если все допуски на станции соблюдены, переходим на вторую станцию. При этом рейка, установленная на задней точке 1, переходит на точку 3 и становится передней для второй станции, а рейка 2, установленная на первой станции, остается на месте и становится задней для второй станции.

Методика измерения превышения между точками 2 и 3 аналогична методике измерения превышения между точками 1 и 2.

Рабочее задание

1. Установить нивелир в рабочее положение. Установив рейки, выполнить измерение превышения на станции способом из середины. Результаты записать в журнал.

2. Вычислить превышение в журнале технического нивелирования, выполнить все необходимые контрольные вычисления на станции.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды нивелирования.
2. Какова точность геометрического нивелирования?
3. Каким образом вычисляется среднее превышение на станции?
4. Перечислите основные допуски при измерении превышений, предусмотренные инструкцией по нивелированию.

Лабораторная работа № 11 Устройство нивелира с компенсатором

Цели и задачи работы: изучить устройство нивелира с компенсатором.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир ЗНЗКЛ; штатив; становой винт.

Содержание отчета

1. Рисунок нивелира ЗНЗКЛ с указанием и описанием основных его частей.
2. Ответы на контрольные вопросы в письменной форме.

Краткие теоретические сведения

Основные требования к современным нивелирам – точность, надежность и компактность. Производители стараются максимально защитить приборы от внешних факторов воздействия: пыли, влаги.

Практически во всех современных нивелирах для удержания горизонтальности визирной оси применяют автоматические компенсаторы.

Достоинством нивелиров с компенсаторами является то, что при взятии отсчетов по рейкам отпадает необходимость приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт.

Основная характеристика любого нивелира – точность измерения превышения.

Нивелир ЗНЗКЛ представлен на рис. 45.

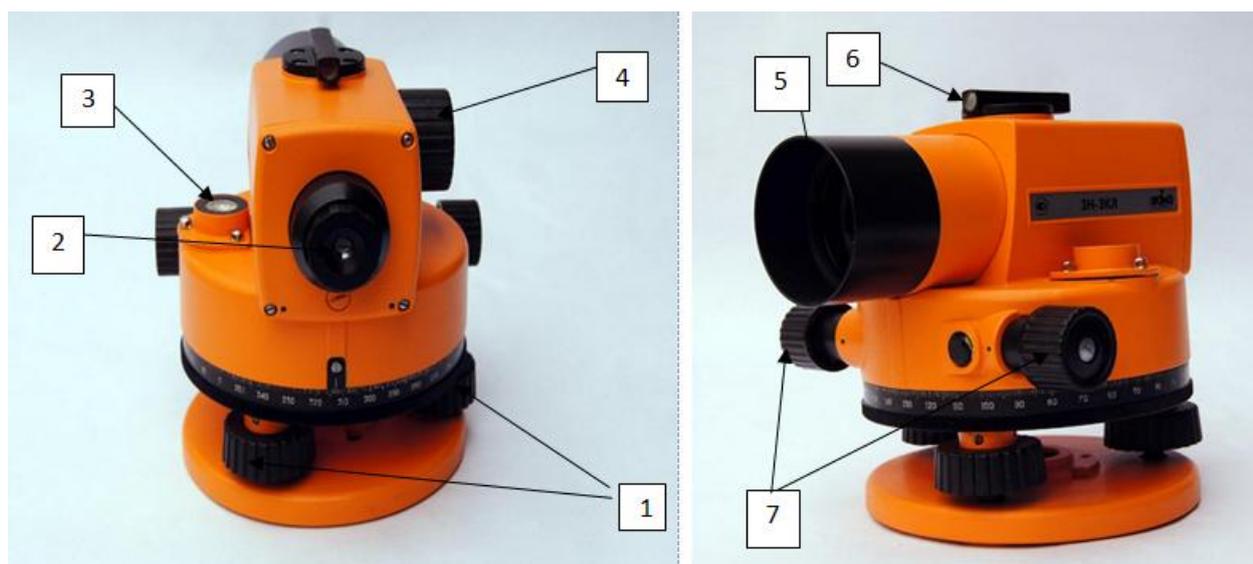


Рис. 45. Устройство нивелира ЗНЗКЛ:

1 – подъемные винты; 2 – окуляр; 3 – круглый уровень; 4 – кремальера (фокусирующий винт); 5 – объектив; 6 – оптический визир; 7 – наводящий винт

Технические характеристики прибора представлены в табл. 10.

Технические характеристики нивелира ЗНЗКЛ

Средняя квадратичная ошибка на 1 км двойного хода	3 мм
Увеличение зрительной трубы	22 ^x
Наименьшее расстояние визирования	1,2 м
Диапазон работы компенсатора	± 15'
Погрешность компенсатора	± 0,5"
Цена деления установочного уровня	10'

Рабочее задание

1. Установить нивелир в рабочее положение.
2. Указать и назвать все основные части нивелира с компенсатором, изучить его устройство, используя при этом приведенный теоретический материал и рис. 45.

Контрольные вопросы

1. Что называется компенсатором в нивелирах с самоустанавливающейся линией визирования?
2. Составьте перечень основных частей нивелира с компенсатором.
3. Каким образом формулируется главное условие нивелира для нивелиров с компенсатором?

Лабораторная работа № 12**Поверки метрологических характеристик нивелира**

Цель и задачи работы – освоить методику исследования нивелира с компенсатором.

Перечень обеспечивающих средств: нивелир ЗНЗКЛ; штатив; миллиметровая линейка.

Содержание отчета

1. Описание методики определения коэффициента дальномера.
2. Описание методики определения диапазона действия компенсатора.
3. Описание методики определения средней квадратической ошибки самоустановки линии визирования.
4. Описание методики определения ошибки компенсации.

Краткие теоретические сведения

При исследовании нивелира определяются неустранимые отклонения прибора для принятия предосторожностей, изменяющих влияние этих отклонений на результат.

При нивелировании III и IV классов нивелиры исследуются по следующей программе:

- определение коэффициента дальномера;
- определение диапазона действия компенсатора;
- определение средней квадратической ошибки самоустановки линии визирования;
- определение ошибки компенсации [9].

Определение коэффициента дальномера

Для определения коэффициента дальномера на местности, на расстоянии 50 м, закрепляются две точки. Расстояние измеряется рулеткой с точностью 3–5 см. Над одной точкой устанавливается нивелир, а над другой – рейка. По черной стороне рейки берут отсчеты по дальномерным нитям сетки – верхней (в) и нижней (н).

Вычисляют разность отсчетов по формуле

$$l = v - n. \quad (33)$$

Величина l определяется трижды, при этом каждый раз необходимо изменять высоту прибора.

Коэффициент дальномера вычисляется по формуле

$$K = \frac{D}{l_{\text{ср}}}, \quad (34)$$

где D – длина линии, мм;

$l_{\text{ср}}$ – среднее из разности отсчетов, мм.

Коэффициент дальномера не должен отличаться от 100 более, чем на ± 1 мм.

Определение диапазона действия компенсатора

Диапазон работы компенсатора – угол наклона нивелира относительно отвесной линии, в пределах которого работает компенсатор, устанавливая визирную ось в горизонтальное положение. Выполнение исследования необходимо для того, чтобы избежать зависания компенсатора и ошибочных отсчетов при измерениях. Предел работы компенсатора определяют в двух, взаимно перпендикулярных направлениях, при продольных и поперечных наклонах нивелира в четыре стороны от нуль-пункта круглого уровня. Для этого необходимо привести нивелир в рабочее положение, выполнив поверку круглого уровня. Зрительная труба наводится на линейку, расположенную на расстоянии 5–10 м по направлению одного из подъемных винтов, и производится отсчет.

Схема определения диапазона действия компенсатора приведена на рис. 46.

Вращением винта 1 необходимо производить наклон нивелира в продольном направлении до момента «зависания» маятника, пока отсчет по линейке резко не изменится. По круглому уровню визуально фиксируется величина отклонения пузырька, которая и является диапазоном действия компенсатора в продольном направлении. Затем нивелир вновь приводят в рабочее положение и вращением винта 2 или 3 выполняют наклон нивелира в поперечном направлении (влево-вправо). Визуально отмечают величину отклонения пузырька. Цена деления круглого уровня – 10'. Диапазон действия компенсатора определяется с ошибкой 1–2' [9].

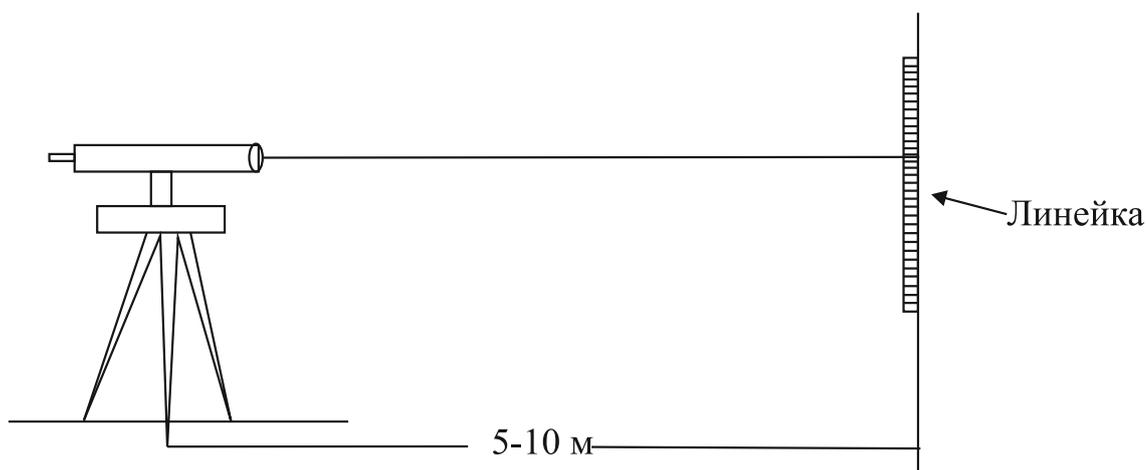


Схема расположения подъемных винтов нивелира



Схема положения пузырька круглого уровня при исследовании компенсатора

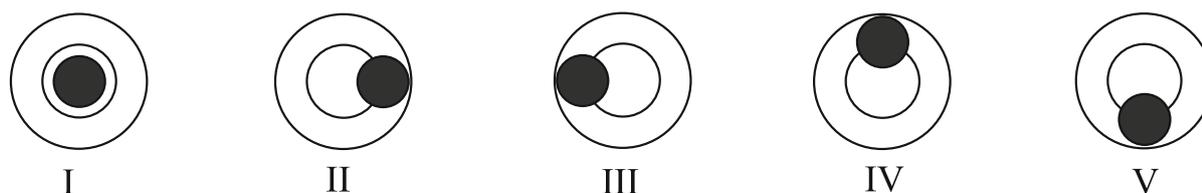


Рис. 46. Схема определения диапазона действия компенсатора

*Определение средней квадратической ошибки
самоустановки линии визирования*

Ошибка самоустановки линии визирования m_c – ошибка, с которой компенсатор, выведенный из положения равновесия, возвращается в рабочее положение.

На расстоянии 8–12 м от нивелира, по направлению одного из подъемных винтов, устанавливается линейка с миллиметровыми делениями. Нивелир тщательно приводят в рабочее положение и по линейке производят отсчет с точностью до 0,1 мм. Затем, вращением винта 1, расположенного по направлению визирной оси, нивелир слегка наклоняется до момента зависания компенсатора и снова возвращается в исходное положение.

Схема расположения подъемных винтов нивелира приведена на рис. 47.

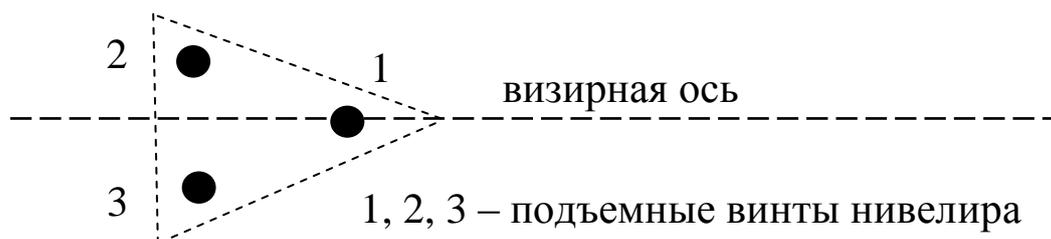


Рис. 47. Схема расположения подъемных винтов нивелира

После этого производится второй отсчет по линейке. Такие измерения необходимо выполнить 12 раз. Этот процесс составляет одну серию.

Вторая серия отсчетов производится вращением винта 2, третья – при вращении винта 3.

По каждой серии отсчетов вычисляется средний отсчет и уклонение v_i каждого отсчета от среднего.

Средняя квадратическая ошибка самоустановки линии визирования m_c определяется по формуле

$$m_c = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{K(n-1)}}, \text{ мм}, \quad (35)$$

где v_i – уклонение каждого отсчета от среднего;

K – число серий наблюдений ($K = 3$);

n – число взятых отсчетов в серии ($n = 12$).

Средняя квадратическая ошибка самоустановки компенсатора, выраженная в секундах, вычисляется по формуле

$$m_\alpha = \frac{m_c \cdot 206\,265''}{S}, \quad (36)$$

где S – расстояние от нивелира до линейки, мм.

Вычисленная величина m_c не должна превышать 0,5" для нивелиров, предназначенных для производства нивелирования III класса, и 1,0" – для нивелирования IV класса.

Отсчеты и вычисления необходимо производить с точностью до 0,1 долей [9].

Результаты измерений необходимо поместить в табл. 11.

Таблица 11

Определение средней квадратической ошибки самоустановки
линии визирования

Измерения	a_i	V_{ai}	V_{ai}^2	b_i	V_{bi}	V_{bi}^2	c_i	V_{ci}	V_{ci}^2
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
	$a_{\text{ср.}}$		ΣV_{ai}^2			ΣV_{bi}^2			ΣV_{ci}^2

$$V_{ai} = a_i - a_{\text{ср.}}; \quad V_{bi} = b_i - b_{\text{ср.}}; \quad V_{ci} = c_i - c_{\text{ср.}}$$

Определение ошибки компенсации

Сущность ошибки заключается в том, что при наклоне нивелира на угол α компенсатор возвращает визирный луч в обратном направлении не строго на угол α , а на некоторый угол α' . Вследствие этого и появляется ошибка компенсации. Если $\alpha' > \alpha$, то имеет место недокомпенсация, а если $\alpha' < \alpha$ – ошибка перекомпенсации.

Влияние ошибки компенсации на измеряемое превышение выражается формулой

$$\Delta h = l^2 \frac{2 \cdot \Delta \alpha}{\rho}, \quad (37)$$

где l – длина визирного луча, мм;

$$\Delta \alpha = \alpha - \alpha';$$

$$\rho = 206\,265''.$$

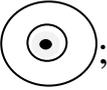
Ошибка перекомпенсации и недокомпенсации компенсатора на 1' наклона не должна превышать 0,05" у высокоточных нивелиров, 0,15" – у нивелиров средней точности и 0,30" – у технических нивелиров.

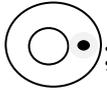
Для уменьшения влияния ошибок компенсации на измеряемое превышение, круглый уровень необходимо тщательно юстировать, так как в этом случае ошибки за компенсацию будут иметь систематический характер.

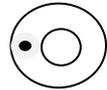
Для исключения влияния систематических ошибок применяется специальная программа наблюдений, которая заключается в измерении превышений на станции при длине визирного луча 5, 50 и 100 м.

Исследуемый нивелир устанавливается в створе между рейками строго посередине и приводится в рабочее положение.

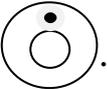
Превышение определяется при следующих положениях оси вращения нивелира:

1) при положении пузырька круглого установочного уровня в нуль-пункте $\alpha = 0$ ;

2) при продольном, положительном угле наклона трубы $+\alpha_1$ ;

3) при продольном, отрицательном угле наклона трубы $-\alpha_2$ ;

4) при боковом, положительном угле наклона трубы $+\alpha_3$ ;

5) при боковом, отрицательном угле наклона трубы $-\alpha_4$ .

Углы α устанавливаются при помощи подъемных винтов на величину 4-6'.

Для каждого расстояния выполняется не менее 5 приемов и вычисляется среднее превышение.

Ошибка компенсации σ_k на 1' наклона нивелира, для каждого расстояния, вычисляется по формуле

$$\sigma_k = \frac{(h_\alpha - h_0)}{2 \cdot S \cdot \alpha'} \rho'' , \quad (38)$$

где h_α – величина среднего превышения при наклоне нивелира на углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и α_4 , полученные из пяти приемов;

h_0 – величина среднего превышения при положении пузырька уровня в нуль-пункте;

α' – наклон трубы (в минутах);

S – длина визирного луча при 5, 10 и 100 м. При расчетах длину визирного луча необходимо перевести в миллиметры.

После этого вычисляется средняя величина $\sigma_{k\text{ср}}$ для всех расстояний [9].

Рабочее задание

1. Установить нивелир в рабочее положение.
2. Определить коэффициент дальномера.
3. Определить диапазон действия компенсатора.
4. Определить среднюю квадратическую ошибку самоустановки линии визирования.
5. Определить ошибку компенсации.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей выполняются исследования нивелиров?
2. Для какой цели в нивелиры устанавливаются компенсаторы?
3. Что выполняют раньше: поверки или исследования нивелира?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. ГКИНП (ГИТА) – 03-010-03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
2. Кузнецов Г. Н. Геодезия : учебник для вузов. – М. : Картгеоцентр-Геодезизиздат, 2001.
3. Поклад Г. Г., Гриднев С. П. Геодезия : учеб. пособие. – М. : Академ. проект, 2007. – 592 с.
4. Селиханович В. Г. Геодезия, ч. II : учебник для вузов. – М. : Недра, 2006.
5. Уставич Г. А., Малков А. Г., Паншин Е. И. Геодезическое инструментоведение. Устройство, поверки и исследования теодолитов и нивелиров : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 68 с.
6. Геодезические приборы. Теодолиты. Нивелиры : учеб. пособие / Г. А. Уставич, А. М. Олейник, А. М. Попов, Я. Г. Пошивайло. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. – 130 с.
7. Уставич Г. А. Геодезия : учебник для вузов в 2-х кн. Кн. 1. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 352 с.
8. Уставич Г. А. Геодезия : учебник для вузов в 2-х кн. Кн. 2. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 535 с.
9. Чешева И. Н., Лесных Г. И. Нивелирование III и IV классов : сб. описаний лабораторных работ. – Новосибирск : СГГА, 2011. – 91 с.
10. Ямбаев Х. К., Голыгин Н. Х. Геодезическое инструментоведение. Практикум : учеб. пособие для вузов. – М. : ЮКИС, 2005. – 312 с.
11. Ямбаев Х. К. Геодезическое инструментоведение [Текст] : учеб. для вузов: рекомендовано УМО. – М. : Акад. проект, 2011. – 583 с.

Учебное издание

Еремина Наталья Александровна

Соболева Екатерина Леонидовна

Чешева Ирина Николаевна

ГЕОДЕЗИЯ

Теодолиты и нивелиры

Редактор *Е. К. Деханова*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 14.11.2017. Формат 60 × 84 1/16

Усл. печ. л. 4,01. Тираж 200 экз. Заказ .

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.