

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций

Л.Ф. Зуева, С.Н. Кандыбо, Н.В. Синякина

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
«Геодезические измерения»
для студентов строительных специальностей

Брест 2014

УДК 528.4(075.8)

Рассмотрены все виды геодезических измерений, даны их теоретические основы и методические указания к выполнению лабораторных работ. Приведены вопросы для подготовки к защите лабораторных работ по темам нивелирование, угловые и линейные измерения.

Издание предназначено для студентов 1-го и 2-го курсов строительных специальностей.

Составители: Л.Ф. Зуева, к.т.н., доцент
С.Н. Каңдыбо, к.т.н., доцент
Н.В. Синякина, к.т.н., доцент

Рецензенты: профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета к.т.н. профессор П.В. Шведовский;
зав. группой геодезии отдела инженерных изысканий ОАО «Брестпроект»
О.П. Борисович

Оглавление

1. Нивелирование	6
Классификация нивелиров и сущность геометрического нивелирования	6
Лабораторная работа № 1. Устройство нивелиров Н-3 и Н-3К	9
Лабораторная работа № 2. Поверки и юстировки нивелиров Н-3 и Н-3	12
Лабораторная работа № 3. Геометрическое нивелирование.....	16
Цифровые и лазерные нивелиры	19
Другие методы нивелирования	21
Контрольные вопросы по разделу «нивелирование».....	21
2. Угловые измерения	22
Классификация теодолитов	22
Лабораторная работа № 4. Устройство теодолитов Т30, 2Т30 и 2Т30П	24
Лабораторная работа № 5. Поверки и юстировки теодолита 2Т30	25
Лабораторная работа № 6. Измерение горизонтальных углов	28
Лабораторная работа № 7. Измерение вертикальных углов	31
Лабораторная работа № 8. Определение превышений и высоты здания тригонометрическим нивелированием	33
Измерение магнитного азимута на местности	34
Контрольные вопросы по разделу «угловые измерения».....	35
3. Линейные измерения	36
Непосредственное измерение расстояний. Мерные приборы	36
Измерение длин линий нитяным дальномером	38
Светодальномерные измерения	39
Электронные тахеометры и лазерные дальномеры	40
Лабораторная работа № 9. Измерение расстояний, площадей и объемов с помощью лазерной рулетки	41
Измерение недоступных расстояний	42
Контрольные вопросы по разделу «линейные измерения».....	43
Литература	43

1. Нивелирование (высотные измерения)

Классификация нивелиров

Нивелир – геодезический прибор, предназначенный для определения разности высот двух точек (превышений) при помощи горизонтального визирного луча и вертикально установленных в этих точках реек.

Согласно ГОСТ 10528-90 нивелиры классифицируют по точности, физическому принципу действия и способу установки визирной оси в горизонтальное положение (рис. 1.1)



Рисунок 1.1 – Классификация нивелиров

Высокоточные нивелиры Н-05, Н-1, Н-2 – предназначены для нивелирования I и II классов; **точные** нивелиры Н-3 и Н-3К – для нивелирования III, IV классов и нивелирования технической точности при выполнении инженерно-геодезических изысканий и строительно-монтажных работ; **технические** нивелиры Н-5 и Н-10 – для нивелирования технической точности.

Точностные характеристики некоторых оптических нивелиров приведены в табл. 1.1.

Для нивелиров Н-05, Н-5, Н-10 цифра обозначает среднюю квадратическую погрешность определения превышения в мм на 1 км двойного нивелирного хода.

Таблица 1.1 – Технические характеристики нивелиров

Характеристики	Высокоточные		Точные		Технические		
	Н-05	Н-1	Н-3	Н-3К	2Н-3Л	3Н-5КЛ	2Н-10КЛ
Увеличение трубы, крат	44	38	30	30	31,8	20	21,5
Изображение	обратное	обратное	обратное	обратное	прямое	прямое	прямое
Наименьшее расстояние визирования, м	3-5	4,2	2	2	1,3	1,5	0,9
Цена деления круглого уровня, угл. мин.	–	–	10	10	10	10	20
Цена деления цилиндрического уровня, угл. с	12	8-10	15	–	15	Диапазон работы компенсатора 20'	
Диапазон работы компенсатора, угл. с	–	–	–	15	–	20	20
Средняя квадратическая погрешность превышения на станции, мм	0,2	0,5	1,6	1,6	1,2	2	4
Средняя квадратическая погрешность превышения на 1 км хода, мм	0,5	1	3	3	2	3,3	10

В зависимости от способа приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение (по конструкции), нивелиры выпускают двух типов: с компенсатором углов наклона зрительной трубы и с цилиндрическим уровнем при ней. У нивелиров, выпускаемых промышленностью СНГ, наличие буквы К в марке нивелира означает, что труба снабжена компенсатором (Н-ЗК), а буквы Л – наличие лимба горизонтального круга (ЗН-5КЛ).

По принципу действия бывают оптические, лазерные, цифровые, гидронивелиры, микронивелиры и др.

В нивелирный комплект входит прибор, штатив и две однотипные нивелирные рейки.

Штатив предназначен для установки нивелира в рабочее положение и представляет собой треногу со станковым винтом, при помощи которого нивелир крепится к штативу. Штативы могут быть как деревянные, так и дюралюминиевые, с раздвижными ногами или цельные.

Геометрическое нивелирование (рис. 1.2) – это определение разностей высот точек с помощью горизонтального визирного луча, заданного зрительной трубой нивелира. Превышения (разности высот) h определяют как разность отсчетов, снятых по вертикально установленным нивелирным рейкам $h = 3 - П$.

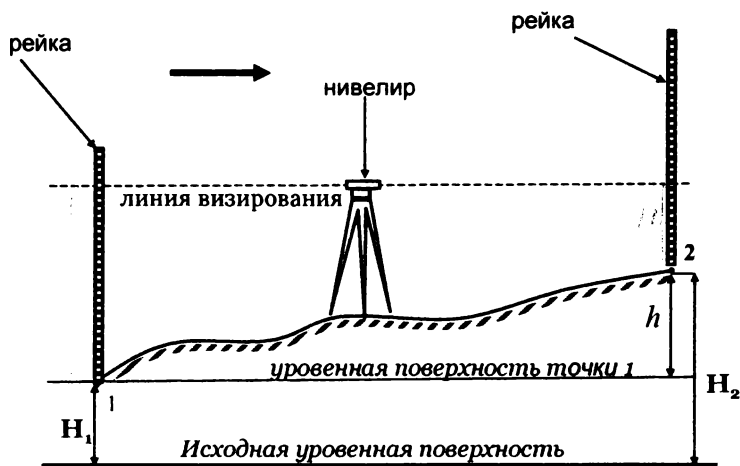


Рисунок 1.2 – Принцип геометрического нивелирования

В зависимости от класса нивелирования могут применяться складные деревянные, телескопические алюминиевые рейки, прецизионные рейки с инварной полосой.

Шашечная нивелирная рейка (рис. 1.3, а) состоит из двух деревянных брусков шириной 8 см и толщиной 2,5 см, соединённых между собой, металлическим шарниром. Нижняя часть рейки закрыта металлической скобой называемой *пяткой*.

Шашечная рейка имеет деления на обеих сторонах. Сантиметровые шашки наносят по всей длине рейки с погрешностью 0,5 мм и оцифровывают через 1 дм. Высота подписанных цифр не менее 40 мм. На основной стороне рейки шашки черные на белом фоне, на другой (контрольной) – красные на белом фоне. На каждой стороне рейки три цветные шашки каждого дециметрового интервала, соответствующие участку в 5 см, соединяются вертикальной полосой.

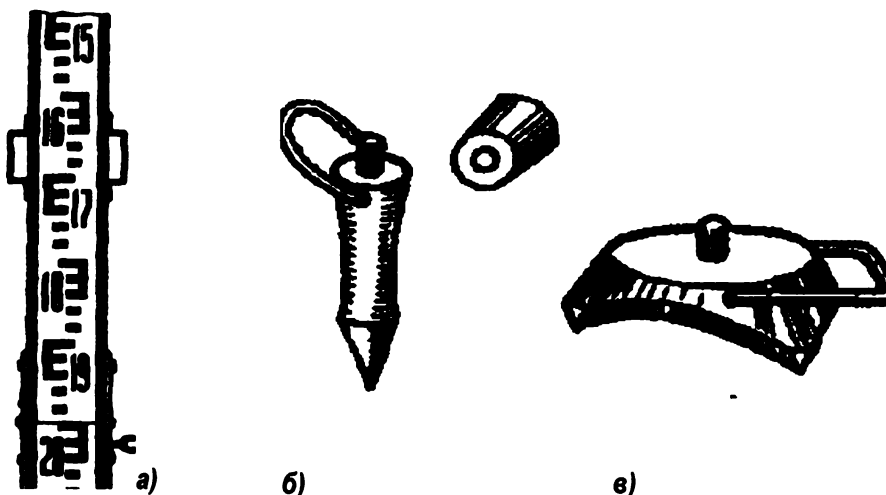


Рисунок 1.3 – Фрагмент шашечной нивелирной рейки (а), костыль (б), башмак (в)

Для удобства и быстроты установки нивелирные рейки иногда снабжают круглыми уровнями (у штриховых реек) и ручками.

Рейки маркируют так: например тип РН-10П-3000С означает, что это рейка нивелирная, со шкалой деления 10 мм, подписью цифр «прямо», длиной 3000 мм, С – складная. Для точных и технических работ выпускают рейки длиной 3 и 4 м, а также в строительстве используют легкие алюминиевые телескопические рейки.

Штриховые инварные рейки РН-05 длиной 1,2 м и 3 м используют для высокоточного нивелирования, их изготавливают из сплава (инвара) с низким коэффициентом линейного расширения для устранения температурной деформации шкал. Они состоят из деревянного корпуса, на который с одной стороны натягивают инварную полосу, маркированную делениями (штрихами) через 5 мм. Штриховая инварная рейка имеет две шкалы – основную (начинается с нуля) и дополнительную и снабжена круглым уровнем.

При измерении превышений нивелирные рейки устанавливают на переносные костыли, башмаки, колышки, забиваемые в землю, реперы и марки.

Костыль (рис. 1.3, б) – металлический стержень с заостренным концом с одной стороны и с другой со сферической шляпкой и стальной ручкой. Для забивки костыля в грунт на верхний торец его надевают крышку.

Башмак (рис. 1.3, в) – толстая круглая или треугольная металлическая пластина на трех ножках со стальной ручкой. В середине пластины укреплен стержень со сферической шляпкой, на которую устанавливают нивелирную рейку.

Рейки устанавливают вертикально «на глаз» или с помощью круглого уровня, который крепится шурупами к рейке.

Нивелирование – вид геодезических измерений, в результате которых определяются разности высот (превышения) точек земной поверхности с целью вычисления высот (отметок) над принятой уроченной поверхностью.

Высотой H точки земной поверхности называют расстояние по отвесной линии от уроченной поверхности, принятой за начальную, до уроченной поверхности этой точки. Отметкой называют численное значение высоты (например, на картах и планах приводят отметки пунктов геодезических сетей и характерных точек местности).

Различают высоты **абсолютные, условные и относительные (превышения)**.

Счёт абсолютных высот ведётся от уроченной поверхности, принятой за исходную. В Республике Беларусь за начало отсчёта абсолютных высот принята уроченная поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря (Кронштадский футшток). Название футшток образовалось путём соединения английского слова foot (фут) с немецким stock (палка, шест).

Принятую систему высот (1978 г.) называют **Балтийской** (рис. 1.4). **Футшток Кронштадтский** – водомерная рейка, закреплённая на гранитном устое моста на о. Котлин в Кронштадте. По результатам непрерывных наблюдений с 1845 г. установлено, что нулевой штрих этой рейки совпадает со средним уровнем Балтийского моря. Нуль Кронштадтского футштока принят за начало счёта высот (отметок).

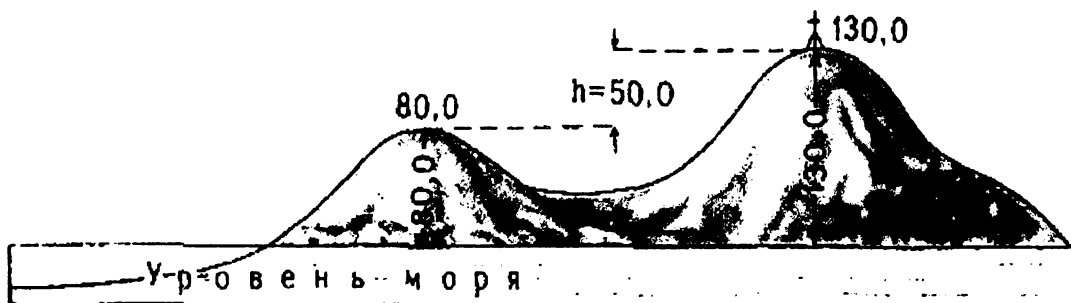


Рисунок 1.4 – Абсолютные и относительные высоты

Началом счёта **условных** высот может являться любая условно принятая уроченная поверхность (например, уровень «чистого пола» – перекрытие первого этажа при строительстве зданий).

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

Геометрическое нивелирование предназначено для создания государственных нивелирных сетей; наблюдений за деформациями земной коры; выполнения высотной съёмки застроенной территории, автомобильных и железных дорог; для определения осадок оснований, фундаментов зданий и сооружений.

Лабораторная работа №1. Устройство нивелиров Н-3 и Н-3К

Цель работы: изучить устройство нивелира, научиться снимать отсчеты по шашечным рейкам.

Нивелир Н-3 (рис.1.5) относится к точным нивелирам с цилиндрическим уровнем. Подъемными винтами 11 по круглому уровню 9 нивелир приводят в рабочее положение. Цилиндрический уровень 7 и зрительная труба неподвижно скреплены между собой и имеют общий корпус. Перед началом наблюдений вращением диоптрийного кольца окуляра 3 добиваются четкого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). После грубого наведения на рейку (с помощью визира 1') положение зрительной трубы фиксируют закрепительным винтом 5, вращением кремальеры 4 добиваются четкого изображения рейки, а вращением наводящего винта 6 добиваются точного наведения на середину рейки. Элевационным винтом 8 цилиндрический уровень вместе с трубой может наклоняться на небольшой угол в вертикальной плоскости.

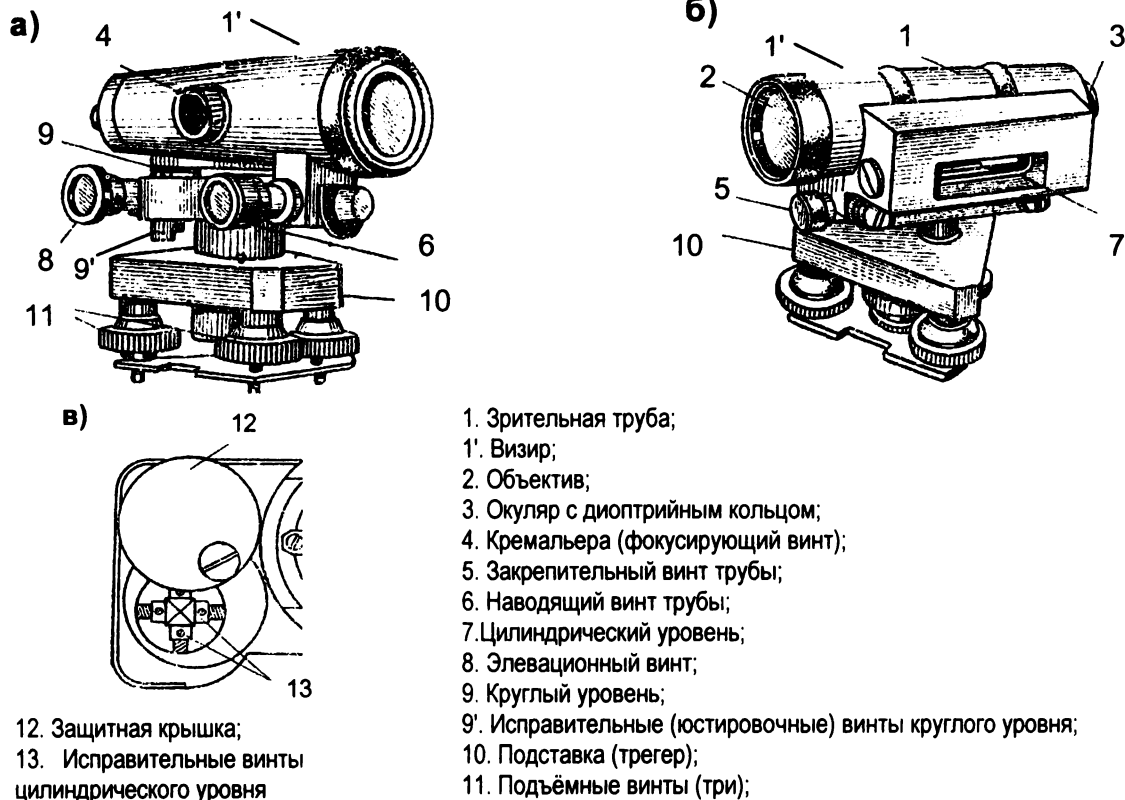
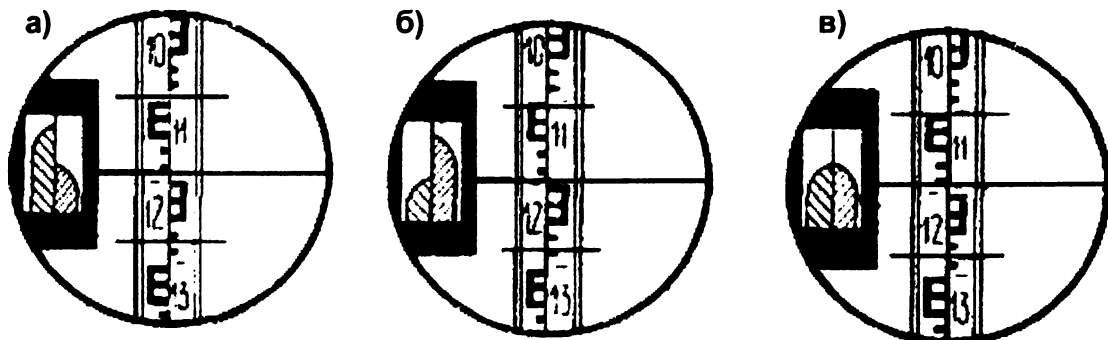


Рисунок 1.5 – Устройство нивелира Н-3

Перед отсчётом по рейке вращением элевационного винта приводят пузырёк уровня в нуль-пункт, наблюдая при этом его положение в окуляр зрительной трубы (рис.1.6,в). После этого берут отсчёт по рейке (отсчёт по средней нити сетки равен 1190 м).



а) и б) – положение пузырька цилиндрического уровня вне нуль-пункта; в) – в нуль-пункте.

Рисунок 1.6 – Поле зрения трубы нивелира Н-3

Рассмотрим устройство зрительной трубы (рис. 1.7). Зрительная труба состоит из системы линз, которые смонтированы в объективном колене 1 и окулярном колене 5. Фокусирование предмета производится путём перемещения вдоль трубы двояковогнутой (рассеивающей) линзы 2, которая перемещается вращением

кремальеры 3. Этот процесс называется установкой трубы по предмету. Для наведения на определённую точку рассматриваемого предмета на плоскопараллельной стеклянной пластинке 4 выгравирована сетка нитей (рис. 1.5). Сетка нитей может иметь различную конфигурацию в зависимости от назначения зрительной трубы и точности измерений. Она представляет стеклянную пластинку в металлической оправе, крепится между объективом и окуляром при помощи исправительных винтов и может перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях за счёт зазора. Исправительные винты закрыты защитным колпаком. На сетке нанесены четыре штриха, два из которых наиболее длинные, которые соответственно называются горизонтальной и вертикальной нитью. Пересечение этих нитей называется центром сетки нитей. Два других штриха (короткие горизонтальные) называются дальномерными и предназначены для измерения расстояний.

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

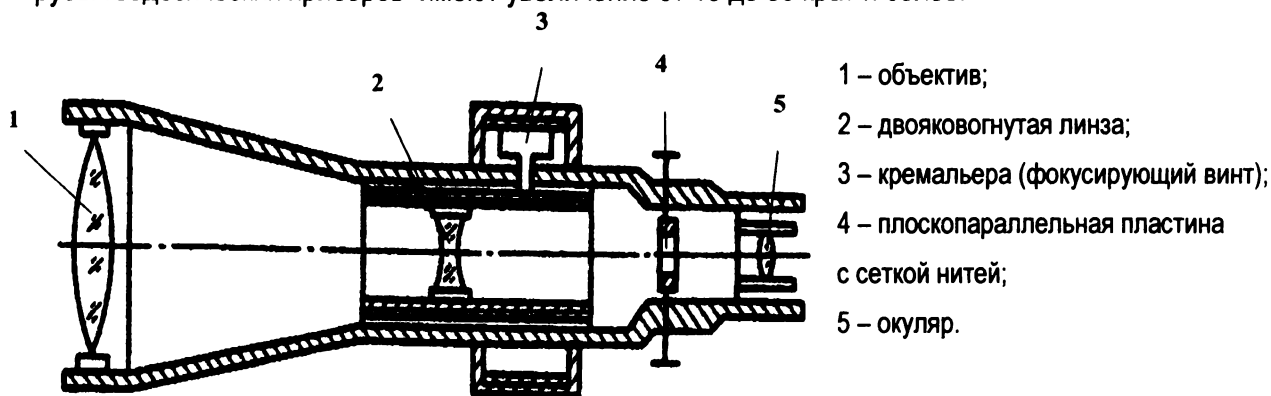


Рисунок 1.7 – Устройство зрительной трубы

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

Круглый уровень (рис. 1.8) представляет собой стеклянную ампулу с отшлифованной внутренней сферической поверхностью определённого радиуса. За нуль-пункт круглого уровня принимается центр окружности, выгравированной в середине верхней поверхности ампулы.

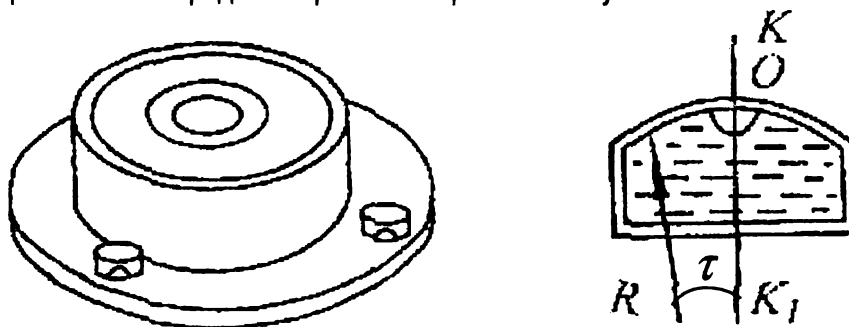


Рисунок 1.8 – Круглый уровень

Осью круглого уровня является перпендикуляр KK_1 , проходящий через нуль-пункт (точку O), к плоскости касательной внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте. Ампула вставляется в металлическую оправу, которая крепится к прибору тремя винтами, их называют исправительными. Круглый уровень имеет, как правило, небольшую чувствительность τ (цена деления порядка 3-5' для точных нивелиров) и применяется для предварительной установки прибора в рабочее положение.

Цилиндрический уровень (рис. 1.9, а) представляет собой стеклянную трубку (ампулу) 1, внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определённого радиуса. Радиус кривизны в зависимости от назначения уровня может быть от 3,5 до 300 м. Стеклянная трубка заполняется нагретым до $+60^\circ$ спиртом 2 или эфиром и запаивается. После охлаждения жидкость сжимается, и в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называется пузырьком уровня 3, середина ампулы называется нуль-пунктом уровня. Прямая UU , касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте, называется **осью цилиндрического уровня**. Изготовленная таким образом ампула вставляется в металлическую оправу 2, один конец которой скреплен с прибором шарнирно, а другой при помощи исправительных винтов 3 (рис. 1.9, б).

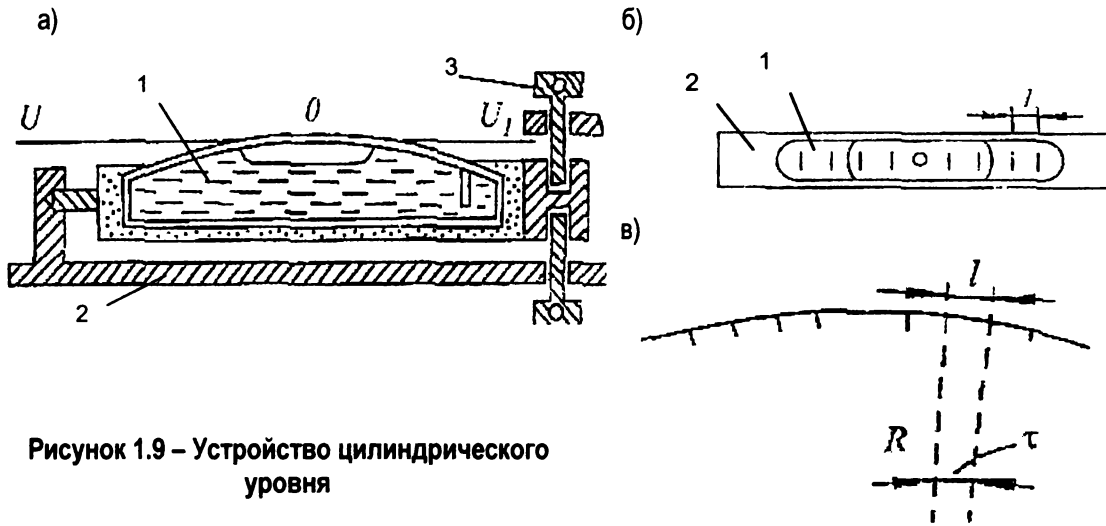


Рисунок 1.9 – Устройство цилиндрического уровня

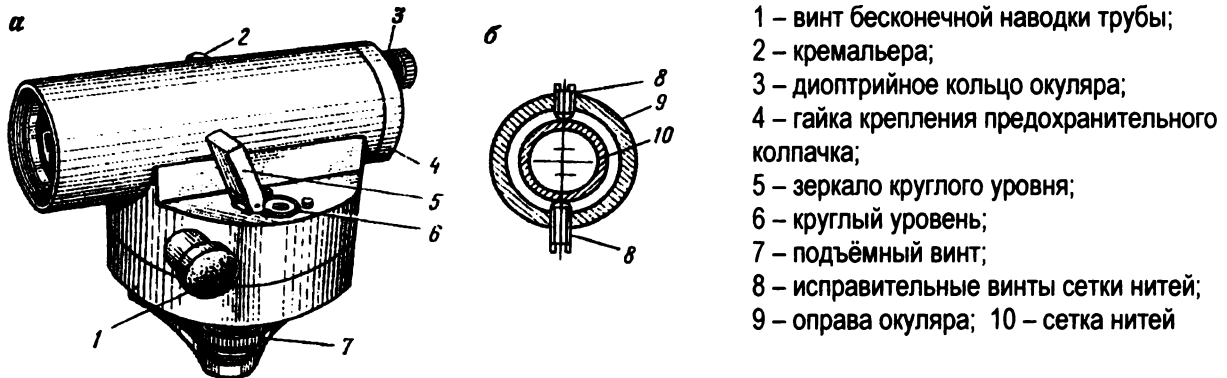
На верхней части ампулы нанесены деления длиной $l = 2 \text{ мм}$. Центральный угол, дугой в одно деление, называется ценой деления уровня (рис.1.9, в)

$$\tau = \frac{l \cdot \rho}{R}, \quad (1.1)$$

где l - линейная величина одного деления уровня 2 мм; $\rho = 206265''$ - число секунд в радиане; R - радиус дуги внутренней поверхности ампулы уровня.

В геодезических приборах используются цилиндрические уровни с ценой деления от $6''$ до $60''$.

Нивелиры с **самоустанавливающейся линией визирования** (с компенсатором - в маркировке буква «К») в определённом диапазоне автоматически устанавливают визирную ось нивелира в горизонтальное положение, например нивелир Н-ЗК (рис. 1.10).



а) общий вид; б) поперечный разрез окулярной части зрительной трубы

Рисунок 1.10 – Нивелир Н-ЗК

Нивелир имеет призмный компенсатор, состоящий из двух призм, одна из которых 3 подвешена на четырёх скрещенных нитях, другая 4 неподвижно скреплена с корпусом трубы. Нити закреплены на корпусе трубы. На рис. 1.11 показаны две нити крепления в точках А и В. Компенсатор обеспечивает установку линии визирования в горизонтальное положение при наклонах зрительной трубы до $15-20'$ для нивелира Н-ЗК. Для обеспечения этого угла компенсации служит круглый уровень.

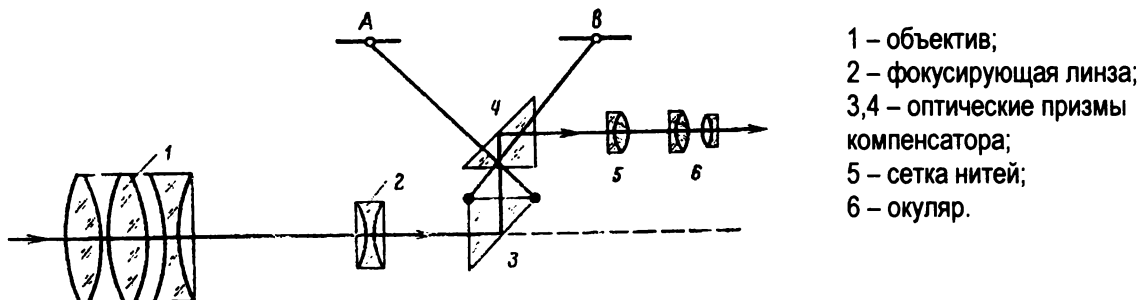


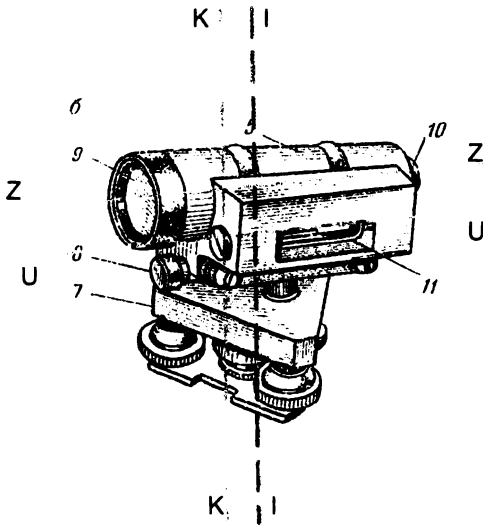
Рисунок 1.11 – Оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-ЗК

Лабораторная работа №2. Поверки и юстировки нивелиров Н-3 и Н-3К

Цель работы: освоить методику проверок и юстировок нивелира.

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

У нивелиров различают следующие оси (рис. 1.12):



- Ось вращения нивелира I-I – воображаемая линия, вокруг которой нивелир вращается в горизонтальной плоскости;
- Визирная ось зрительной трубы Z-Z – воображаемая линия, проходящая через центр объектива и пересечение сетки нитей;
- Ось цилиндрического уровня U-U – воображаемая линия, касательная к нуль-пункту уровня (отсутствует у нивелиров с компенсатором см. рис. 1.9);
- Ось круглого уровня K-K – перпендикуляр к плоскости, касательной к нуль-пункту круглого уровня.

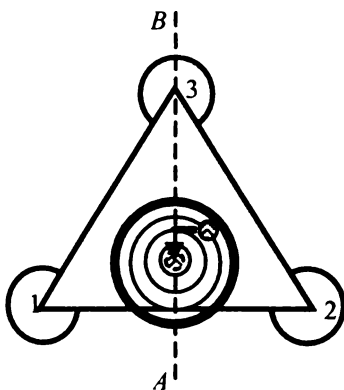
Рисунок 1.12 – Геометрические оси нивелира

Рассмотрим геометрические условия нивелира:

- 1) ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира;
 - 2) одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения нивелира;
 - 3) главное условие: ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы либо для нивелиров с компенсатором – визирная ось должна быть горизонтальна.
- Проверки выполняют, соблюдая последовательность: 1 – круглого уровня, 2 – сетки нитей, 3 – главное условие.

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

Проверку этого условия выполняют приведением пузырька круглого уровня в нуль-пункт при помощи подъемных винтов (рис. 1.13). Зрительную трубу устанавливают параллельно любой паре подъемных винтов. Сначала приводят пузырек уровня двумя подъемными винтами 1 и 2 на линию АВ, а затем винтом 3 в нуль-пункт.



Затем поворачиваем верхнюю часть нивелира на 180° , при этом пузырек не должен отклонять более одного деления (выходить за пределы большой концентрической окружности).

Если отклонение не допустимо, выполняют юстировку исправительными винтами круглого уровня $9'$, расположенными в его нижней части (рис. 1.4), их поворачивают с помощью специальной юстировочной шпильки, возвращая пузырек на половину отклонения, и затем проверку повторяют.

Рисунок 1.13 – Схема проверки круглого уровня нивелира

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

1-ый способ. Проверку этого условия выполняют при помощи рейки, установленной вертикально на расстоянии 20-30 м от нивелира, предварительно установленного по круглому уровню. Вращая наводящий винт, наводят сначала левый, а затем правый конец горизонтальной нити сетки нитей на рейку, беря отсчеты O_n и O_p (рис. 1.14, а). Отсчеты не должны отличаться более чем на 2 мм.



У нивелиров Н-5К и Н-5КЛ окуляр крепится к колену объектива вместе с сеткой нитей при помощи 4-х винтов. Последние выкручивают на один оборот и окуляр вместе с сеткой поворачивают на нужный угол по отвесу. После чего винты закручивают.

2-ой способ. Нивелир приводится в рабочее положение. На расстоянии 20-30 м от нивелира подвешивается отвес, визируют (рис. 1.14, б) вертикальную нить сетки на нить отвеса. Условие выполняется, если изображение вертикальной нити сетки нитей совпадает с нитью отвеса (отклонение допускается на толщину нити).

3) Ось цилиндрического уровня нивелира Н-3 должна быть параллельна визирной оси. Визирная ось нивелира Н-3К должна быть горизонтальна (в пределах угла компенсации). Это условие называется главным условием нивелира.

1-ый способ. Главное условие нивелира можно проверить двойным нивелированием. Для этого на ровной местности на расстоянии примерно 50–75 м друг от друга забивают колышки, на которые устанавливают нивелирные рейки (рис. 1.15).

Нивелир вначале устанавливают вблизи (6-8 м.) одной рейки и берут отсчеты по ближней рейке B_1 и дальней D_1 . Затем вблизи другой рейки берут отсчеты по ближней рейке B_2 и дальней D_2 . Используя снятые отсчеты, вычисляют погрешность X , которая **не должна превышать 5 мм на 100 м**. Результаты проверки главного условия оформляют в виде таблицы 1.2.

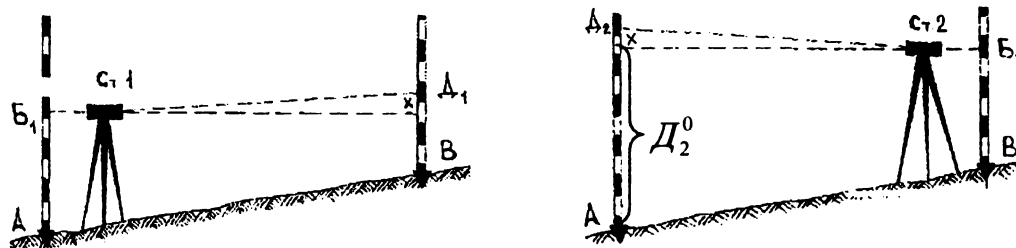


Рисунок 1.15 – Схема проверки главного условия нивелира (1 способ)

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

$$X = \frac{D_1 + D_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (1.2)$$

Таблица 1.2 – Результаты выполнения проверки главного условия нивелира

№ станции	№№ точек визирн.	Наименование отсчетов	Отсчеты по рейкам, мм		Контроль (разность нулей пятки)
			Черная сторона	Красная сторона	
1	2	3	4	5	6
1	A	B_1	1736 (1)	6521 (2)	4785 (3)
	B	D_1	1394 (4)	6177 (5)	4783 (6)
2	B	B_2	1866 (7)	6648 (8)	4782 (9)
	A	D_2	2197 (10)	6981(11)	4784 (12)

Величина X вычисляется дважды по «красным» и «черным» отсчетам, используя формулу 1.2

$$X_{ч} = \frac{1394 + 2197}{2} - \frac{1736 + 1866}{2} = -5,5 \text{ мм}; \quad X_{к} = \frac{6177 + 6981}{2} - \frac{6521 + 6648}{2} = -5,5 \text{ мм}.$$

За окончательное значение непараллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня принимается среднее значение $X_{ср} = -5,5 \text{ мм} \approx -6 \text{ мм}$.

Правильный отсчёт по черной стороне на дальнюю рейку, свободный от погрешности X , вызванной несоблюдением главного условия, вычисляется по формуле

$$D_2^0 = D_2 - X, \quad (1.3)$$

если не соблюдается главное условие нивелира, и используется при выполнении юстировки цилиндрического уровня. Например, $D_2^0 = 2197 - (-6) = 2203$ мм (по данным табл. 1.2). Используя вычисленный отсчёт, выполняют юстировку цилиндрического уровня исправительными винтами 13 (рис.1.5,в) и затем поверку повторяют.

Таблица 1.3 – Результаты повторного выполнения поверки главного условия

№ станции	№№ точек визиров.	Наименование отсчетов	Отсчеты по рейкам, мм		Контроль (разность нулей пятков)	Погрешность X , мм
			Черная сторона	Красная сторона		
1	2	3	4	5	6	7
1	A	B ₁	1624	6409	4785	$X_ч = +1$ мм
	B	D ₁	1282	6065	4783	$X_к = +2$ мм
2	B	B ₂	1754	6536	4782	$X_{ср} \approx +2$ мм (в допуске)
	A	D ₂	2098	6882	4784	

2-ой способ. На колышки, закрепляющие линию АВ длиной 50-75м, устанавливают нивелирные рейки, а точно посередине между рейками – нивелир (рис. 1.16, а). После приведения нивелира в рабочее положение берутся отсчёты « a_0 » и « b_0 » по рейкам. В превышениях будет исключено влияние x – несоблюдения главного условия нивелира. Превышение $h_0 = (a_0 + x) - (b_0 + x) = a_0 - b_0$.

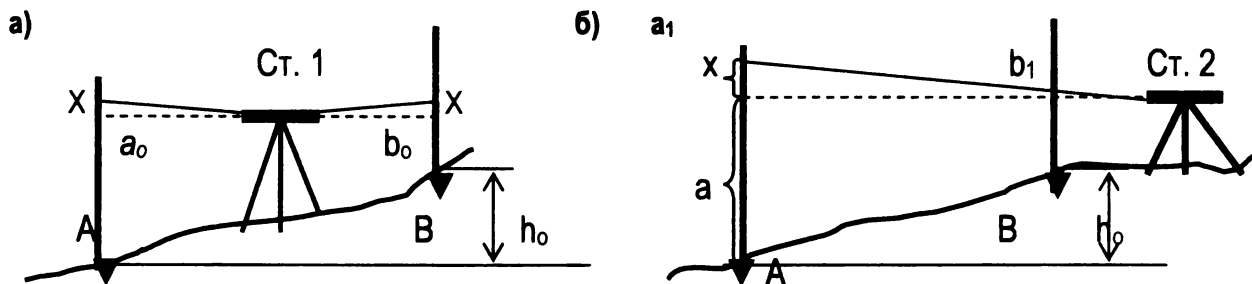


Рисунок 1.16 – Схема поверки главного условия нивелира (2 способ)

Затем нивелир устанавливают вблизи одной из реек (рис. 1.16, б), например вблизи рейки В, и опять берут отсчёты по рейкам « a_1 » и « b_1 » и вычисляют превышение. Это превышение включает значение x , т.е.

$$h + X = a_1 - b_1, \quad (1.4)$$

следовательно, величину X можно подсчитать по формуле

$$X = h - h_0, \quad (1.5)$$

а правильный отсчёт

$$a = a_1 - X. \quad (1.6)$$

Исправление несоблюдения главного условия (юстировка цилиндрического уровня) выполняется в следующем порядке.

Нивелир Н-3. Эlevationным винтом совмещают горизонтальную среднюю нить сетки с вычисленным правильным отсчетом D_2^0 , при этом пузырек цилиндрического уровня сместится с нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами 12 (рис. 1.5, в) цилиндрического уровня, используя специальную шпильку, приводят пузырек в нуля-пункт. После исправления поверку повторяют.

Нивелир Н-3К. При помощи исправительных винтов 8 (рис. 1.10, б) сетки её перемещают так, чтобы отсчёт по рейке стал равным вычисленному правильному отсчету. После исправления поверку повторяют.

Геометрическое нивелирование, обработка результатов измерений.

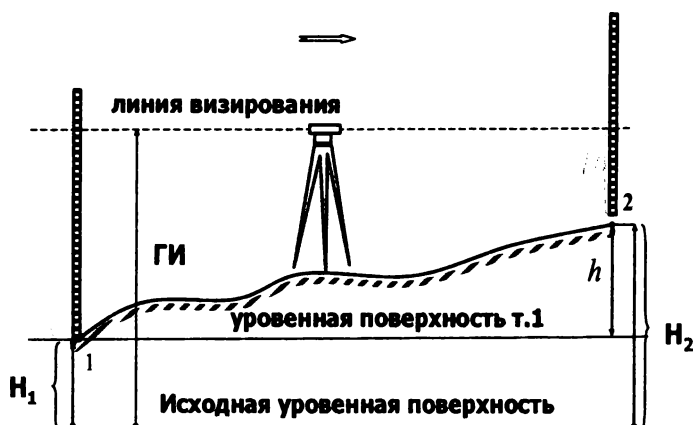
Различают два способа геометрического нивелирования: «из середины» и «вперёд».

При нивелировании «из середины» (рис. 1.17, а) в точках 1 и 2 устанавливаются отвесно нивелирные рейки, а посередине между ними – нивелир. Визирную ось зрительной трубы перед снятием отчета приводят в горизонтальное положение, берут отсчёт «З» по рейке, установленной в точке 1 и «П» – в точке 2.

Если нивелирование выполняется по направлению от точки 1 к точке 2, то рейку в точке 1 считают задней (она установлена на точке с известной отметкой), а в точке 2 – передней. Превышение вычисляется по правилу «отсчет назад минус отсчет вперёд»

$$h = 3 - П . \quad (1.7)$$

а)



б)



а) нивелирование «из середины»; б) нивелирование «вперёд»
Рисунок 1.17 – Геометрическое нивелирование

Для определения превышения способом «вперёд» (рис. 1.17, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился на одной отвесной линии с точкой С, отметка которой известна. Приводят визирную ось в горизонтальное положение, измеряют при помощи нивелирной рейки высоту инструмента i и производят отсчёт d по рейке, установленной в точке Д. Превышение равно

$$h = i - b . \quad (1.8)$$

Следует отметить, что **нивелирование «из середины» более предпочтительно**, так как методика исключает ряд погрешностей (за несоблюдение главного условия, перефокусировки зрительной трубы), которые неизбежны при нивелировании «вперёд», а также превышения определяют с контролем, так как используется черная и красная сторона реек.

По известной отметке H_1 точки 1 можно вычислить отметку второй точки H_2 через **превышение** или **через горизонт инструмента** (рис. 1.17, а):

а) отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс превышение между этими точками

$$H_2 = H_1 + h ; \quad (1.9)$$

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

$$ГИ = H_1 + 3 , \quad (1.10)$$

$$H_2 = ГИ - П , \quad (1.11)$$

где 3 и П – отсчёты по рейкам.

в) через высоту инструмента i при нивелировании «вперед» (рис. 1.17, б)

$$H_2 = ГИ - b = H_1 + i - b. \quad (1.12)$$

В зависимости от требуемой точности определения высот точек земной поверхности нивелирование подразделяется на I, II, III, IV классы и техническое.

Таблица 1.4 – Технические характеристики геометрического нивелирования

Приборы, технические характеристики и допуски	Класс нивелирования				техническое
	I	II	III	IV	
Нивелиры	Н-05, Ni002	Н-1, Н-2, Ni007	Н-2, Н-3	Н-3, Н-5	Н-3, Н-5, Н-10
Рейки	РН-05 (односторонние штриховые инварные)		РН-3 (двухсторонние шашечные)		РН-3, РН-4, телескопические
Периметры полигонов при создании ГНС, км	3000-4000	500-800	150-200	150-200	–
Длина визирного луча, м	50	60-75	75-100	100-150	100-150
Высота над препятствием, м, не менее	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2
Допустимые расхождения в превышениях на станции, мм	0,5	0,7	3	5	5
Допустимое неравенство плеч на станции, м, не более	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
Накопление неравенства плеч в замкнутом ходе, м, не более	1	2	5	10	–
Допустимая невязка, вычисленная по длине хода, мм	$3\sqrt{L_{км}}$	$5\sqrt{L_{км}}$	$10\sqrt{L_{км}}$	$20\sqrt{L_{км}}$	$50\sqrt{L_{км}}$
Допустимая невязка, вычисленная через число станций (если $n > 10$ на 1 км хода)	–	–	$1,5\sqrt{n}$	$5,0\sqrt{n}$	$10,0\sqrt{n}$
Предельная с.к.п. превышения на одной станции, мм, не более	0,3	0,4	0,9–2,0	2,0–4,0	5,0–10,0

Лабораторная работа № 3. Геометрическое нивелирование

Цель работы: изучить методику и приобрести навыки определения превышений; освоить запись результатов измерений в журнале и их вычислительную обработку.

Программа работы на станции при техническом нивелировании:

1. На связующие точки, закрепленные на местности колышками, костылями или башмаками, устанавливают нивелирные рейки, а примерно посередине между ними – нивелир. Расхождение расстояний от нивелира до реек (длин плеч) не должно превышать 10 м – проверить расстояние можно шагами, используя фокусировку трубы или отсчеты по дальномерным нитям.

2. Нивелир приводят в рабочее положение по круглому уровню, наводят трубу на заднюю точку и берут отсчёт (по средней нити) по чёрной (Зч) стороне рейки. *Перед снятием каждого отсчета пузырек цилиндрического уровня приводят в нуль-пункт с помощью элевационного винта.*

3. Наводят трубу нивелира на переднюю рейку и берут отсчёты сначала по чёрной (Пч), а затем по красной (Пк) стороне рейки.

4. Снова наводят трубу нивелира на заднюю рейку и берут отсчёт по красной (Зк) стороне рейки.

5. Для контроля вычисляют разности нулей (РО) пяток реек задней – $РО_З=З_к-З_ч$ и передней – $РО_П=П_к-П_ч$. *Расхождения разностей нулей пяток реек по абсолютной величине не должно превышать 5 мм.*

6. Вычисляют значения превышений, измеренные по чёрной и красной сторонам реек, $h_ч = З_ч - П_ч$ и $h_к = З_к - П_к$. *Измерение превышения на станции считается выполненным правильно, если расхождения превышений по чёрной и красной сторонам реек не превышают 5 мм.*

7. Вычисляют значения средних превышений, которые округляют до целых миллиметров

$$h_{CP} = \frac{h_ч + h_к}{2}. \quad (1.13)$$

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

Например, 1395,5 округляется до 1396;
 1396,5 округляется до 1396;
 1397,5 округляется до 1398.

8. Если кроме связующих точек, на станции необходимо определить отметки промежуточных точек (характерных точек ситуации и рельефа), то заднюю рейку последовательно устанавливают на этих точках и берут отсчеты *только по черной стороне рейки*.

При выполнении геометрического нивелирования IV класса сначала определяют расстояния до реек, используя отсчеты по дальномерным нитям (расхождение длин плеч не должно превышать 5 м), а затем берут отсчеты по средней нити (последовательность: Зч; Пч; Пк и Зк) и вычисляют превышения.

Для определения высот (отметок) всех закреплённых на местности точек по ним прокладывают нивелирный ход (рис. 1.18).

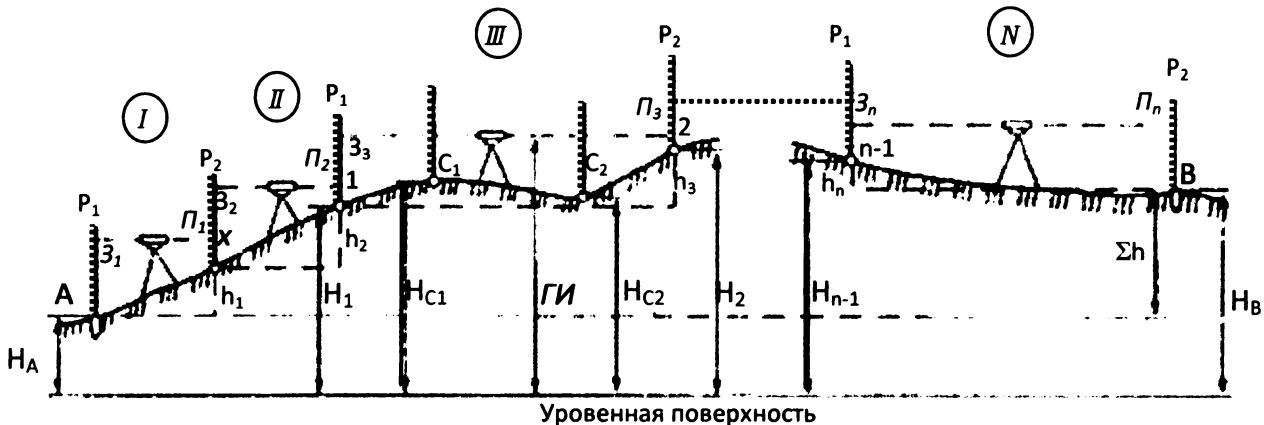


Рисунок 1.18 – Измерение превышений в нивелирном ходе (сложное нивелирование)

Ход должен быть привязан к пунктам государственной нивелирной сети (их отметки в Балтийской системе высот известны). Превышения в ходе измерены по программе технического нивелирования. Результаты нивелирования записывают в специальный журнал (табл. 1.4).

Результаты измерений заносят в графы 1–5 «Журнала технического нивелирования» (табл. 1.4) и в полевых условиях находят «вычисленные» и «средние» превышения, которые записывают в графы 6 и 7.

Обработку результатов нивелирования начинают с постраничного контроля (см. внизу табл.1.4), который служит для исключения грубых ошибок при вычислениях превышений. При постраничном контроле на каждой странице находят сумму всех задних отсчетов $\sum Z$, сумму передних отсчетов $\sum П$, сумму вычисленных превышений $\sum h_{выч}$ и сумму средних превышений $\sum h_{cp}$ и проверяют

$$\sum Z - \sum П = \sum h_{выч} = 2 \cdot \sum h_{cp} = 33892 - 24254 = 9638 = 2 \cdot 4819. \quad (1.14)$$

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

Затем оценивают качество (точность) нивелирования, вычисляя невязку нивелирного хода и сравнивая её с допустимым значением.

Находят теоретическую сумму превышений

$$\sum h_T = H_K - H_N, \quad (1.15)$$

$$\sum h_T = 149,968 - 145,162 = 4,806 \text{ м} = 4806 \text{ мм}$$

и определяют невязку в превышениях по формуле

$$f_h = \sum h_{cp} - \sum h_T, \quad (1.16)$$

$$f_h = 4819 - 4806 = +13 \text{ мм} < \text{доп} f_h,$$

где $\sum h_{cp}$ – сумма средних превышений; $\sum h_T$ – теоретическая сумма превышений;

H_K – отметка конечного репера; H_N – отметка начального репера.

Допустимая невязка в нивелирных ходах технической точности определяется по формулам

$$\Delta_{\text{дон}f_h} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}} \quad (\text{для равнинной местности}), \quad (1.17)$$

$$\Delta_{\text{дон}f_h} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{n} \quad (\text{если в ходе более 10 станций на 1 км}), \quad (1.18)$$

где L – длина хода, выраженная в километрах, n – количество станций.

Если $f_h \leq \Delta_{\text{дон}f_h}$ по абсолютной величине, то выполняется уравнивание (исправление) превышений.

Например, в табл. 1.4 $\Delta_{\text{дон}f_h} = \pm 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{4} = \pm 20 \text{ мм}$.

Невязку распределяют в виде поправок с обратным знаком поровну во все средние превышения, округляя поправки до целых миллиметров. Если распределить поправки поровну во все превышения не удаётся, то большие по абсолютной величине поправки вводят в превышения, полученные на станциях в начале или середине хода. Сумма поправок должна быть строго равна невязке с обратным знаком. Контролем правильности уравнивания превышений является выполнение равенства

$$\sum h_{\text{ур}} = \sum h_{\text{г}} = 4806 \text{ мм}. \quad (1.19)$$

Таблица 1.5 – Журнал технического нивелирования

Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм		Горизонт инструмента ГИ, м	Отметка точки Н, м
		задний	передний	промежуточный	вычисленные	поправки, средние, уравненные		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Реп.А	2012 (1)			+1923 (7)	-4		145,162
		6792 (2)			+1921 (8)	+1922 (9)		
		4780 (3)				+1918		
	x		0089 (4)					147,080
				4871 (5)				
			4782 (6)					
2	x	1458			+1356	-3		147,080
		6237			+1354	+1355		
		4779				+1352		
	1		0102					148,432
				4883				
			4781					
3	1	2456			+1926	-3	150,888	148,432
		7237			+1926	+1926		
		4781				+1923		
	2		0530					150,355
				5311				
				4781				
	C ₁			0040				150,848
	C ₂			2612				148,276
4	2	1460			-384	-3		150,355
		6240			-384	-384		
		4780				-387		
	Реп.В		1844					149,968
				6624				
			4780					
Постраничный контроль		33892	24254		9638	$\sum h_{\text{CP}} = 4819$		
		$33892 - 24254 = 9638 = 2 \cdot 4819$						
		Невязка $f_h = +13 \text{ мм} < 20 \text{ мм}$.						

По заданной отметке начального репера вычисляют отметки всех связующих точек по правилу: **отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс уравненное превышение между этими точками.**

Например, $H_1 = H_{\text{реп.А}} + h_{\text{уп}}$; $H_1 = 145,162 + (1,922 - 0,004) + (1,355 - 0,003) = 148,432$ м.

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

После вычисления отметок связующих точек вычисляются отметки промежуточных точек. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента (ГИ).

Горизонт инструмента – это высота (отметка) визирной оси над уровенной поверхностью. Горизонт инструмента равен отметке точки плюс отсчет по чёрной стороне рейки, установленной на этой точке.

Горизонт инструмента станции 3 (табл.1.4) равен $ГИ_3 = 148,432 + 2,456 = 150,888$ м.

Отметки промежуточных точек C_1 и C_2 равны $H_{C_1} = 150,888 - 0,040 = 150,848$ м, $H_{C_2} = 150,888 - 2,612 = 148,276$ м.

Цифровые и лазерные нивелиры

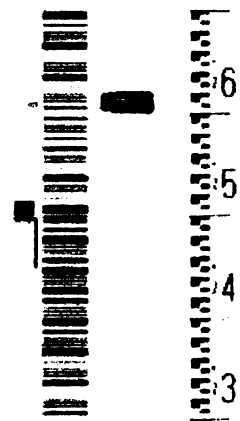
Для выполнения геометрического нивелирования также применяют цифровые нивелиры. Они комплектуются рейками со штрих-кодами (BAR- или RAB-кодами). Рейки изготавливаются из пластика и металла (дюралюминовые), для высокоточных работ используют рейки с инварной полосой. Широко известны высокоточные цифровые нивелиры (рис. 1.19): DiNi 12 фирмы Trimble (США); DNA03 фирмы Leica (Швейцария); DL-101С фирмы Topcon (Япония). Точность определения превышений у этих нивелиров составляет 0,3...0,4 мм.



DNA03 – Leica (Швейцария)



DiNi 0.3 – Trimble (США)



Штрих-кодовая рейка (фрагмент)

Рисунок 1.19 – Цифровые нивелиры и штрих-кодовая рейка

Работа цифровых нивелиров основана на сканировании полосы инвара штрих-кодовой рейки угловым полем зрения (рис. 1.20). Отсчет снимается сенсорно.

Рассмотрим принцип действия цифрового нивелира. Как и оптический прибор, цифровой прибор приводится в рабочее положение по круглому уровню. Цифровых нивелиров с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе не бывает – *все они оснащены компенсатором.* Наблюдателю необходимо наводить зрительную трубу прибора на специальную штрих-кодовую рейку и добиваться четкости изображения. На этом участие человека в нивелировании исчерпано. Цифровой нивелир определяет превышение самостоятельно, *без участия наблюдателя*, обработав снятое с инвара рейки закодированное штрих-кодом изображение микропроцессором по алгоритмам, встроенным в нивелир. Только затем можно вычислить расстояние до рейки (большинство цифровых приборов поддерживают данную функцию). При наличии в цифровом нивелире встроенного программного обеспечения, он способен мгновенно производить вычисление превышений и т. д.

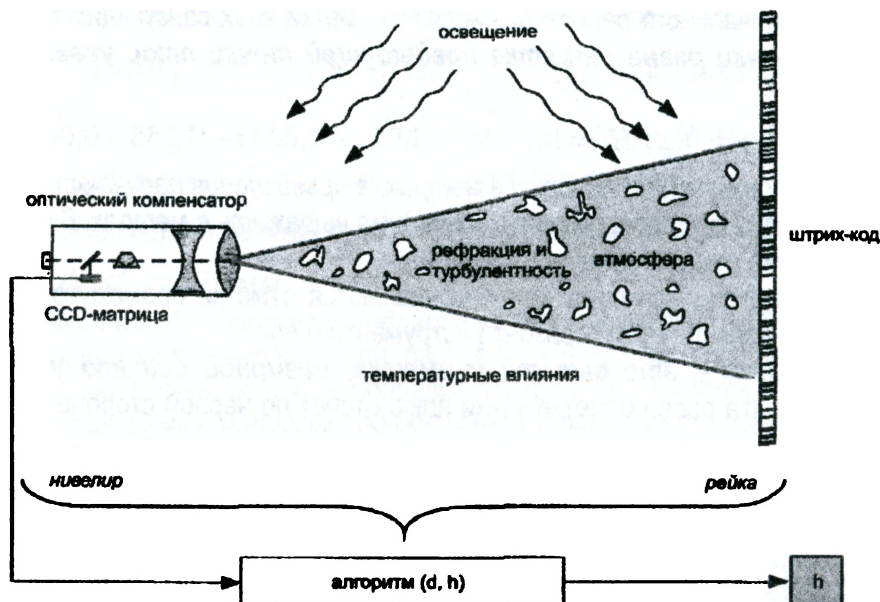


Рисунок 1.20 – Измерительная система на основе цифрового нивелирования

Лазерные нивелиры представляют собой комбинацию нивелиров с компенсаторами и лазерных трубок. Лазерные нивелиры, как и оптические, предназначены для определения превышений между точками или выноса в натуру проектных отметок. При небольших расстояниях (до 100 м) используют деревянные рейки с сантиметровыми делениями. Рейки устанавливают в нивелируемых точках и после визирования на них и фокусировки лазерного пучка *реечник берет отсчет* визуально на рейке по пятну лазерного пучка. При необходимости выполнения точных нивелирных работ используют рейки со специальными подвижными каретками с фотодетекторами, по которым с высокой точностью определяют центр лазерного луча, попавшего на рейку. Сегодня в строительстве широко используются лазерные построители горизонтальных и вертикальных линий или плоскостей. В строительстве получил применение новый класс инструментов – лазерных нивелиров, которые подразделяются на две подгруппы: лазерные построители направлений и лазерные построители плоскостей (рис. 1.21).

Лазерные приборы задают горизонтальную, вертикальную и наклонную линию (направление) или аналогичную плоскость при помощи лазерного луча. В первом случае лазерный луч неподвижен в заданном направлении, а во втором случае лазерный луч образует плоскость при вращении его со скоростью до 600 об/мин. Это ротационные построители плоскостей. Однако есть и статические построители, которые развертывают направление в плоскость в диапазоне от 60 до 360 градусов.

Установка направления или плоскости в горизонтальное положение производится при помощи электронных или жидкостных уровней. Для фиксации этого направления или плоскости можно использовать как обычные нивелирные рейки, так и рейки, оснащенные специальными приемниками излучения.

Высокая точность лазерных нивелиров обусловлена с одной стороны свойством лазерного излучения – узкой диаграммой направленности: диаметр световой точки на расстоянии нескольких десятков метров от прибора остаётся неизменным, с другой – применением специальных компенсаторов и систем стабилизации луча.

Преимущества применения лазерных нивелиров перед оптическими – построение светящихся направлений и плоскостей, особенно в плохо освещенных и стесненных условиях производства. Однако при высокоточном нивелировании они уступают оптическим, так как диаметр лазерного луча значительно превосходит точку пересечения нитей сетки.

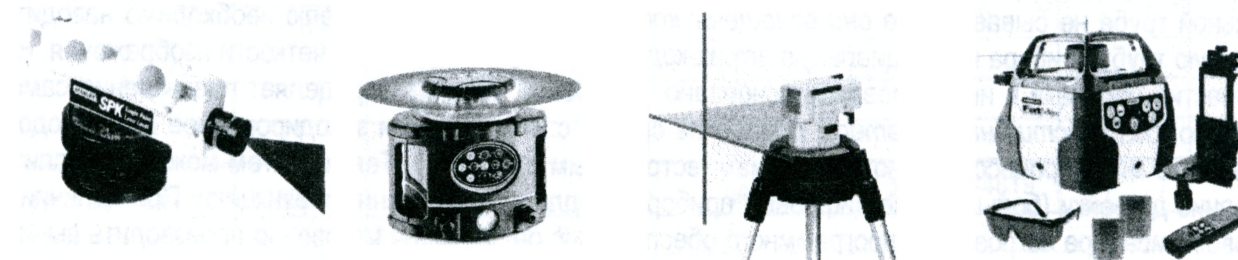


Рисунок 1.21 – Лазерные нивелиры и построители

Другие методы нивелирования.

Тригонометрическое нивелирование позволяет определить превышение между точками по измеренному углу наклона и расстоянию (будет подробно рассмотрено в разделе 2 «Угловые измерения»).

Барометрическое нивелирование основано на законе изменения атмосферного давления с изменением высоты. При помощи переносных барометров определяется величина атмосферного давления в соответствующих точках, а по разности давлений – превышение между ними. Для измерения атмосферного давления используются ртутные, газовые и металлические барометры, гипсотермометры, барографы, барометры-анероиды.

Превышение вычисляют по формуле 1.20 или выбирают из барометрических таблиц

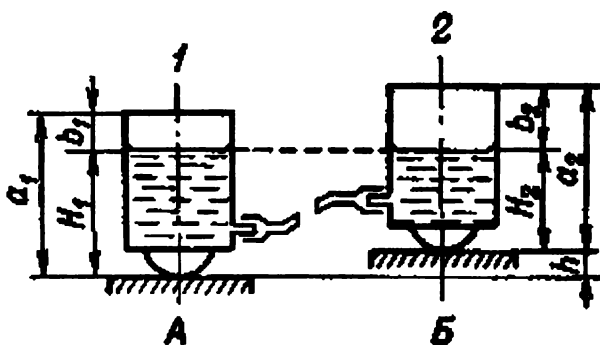
$$h = M \cdot K_0 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_{CP}} \right) (1 + \alpha \cdot t_{cp}), \quad (1.20)$$

где $K_0 = 18404$ (коэффициент Певцова), $M = 0,4343$ (коэффициент перехода от натуральных логарифмов к десятичным; $\alpha = 1/273$ (газовая постоянная), P_i – значения атмосферного давления, в мм рт.ст.

Точность барометрического нивелирования невысока (от 2 м до 0,3 м), но его можно использовать на закрытой местности, например, для определения высот точек в лесных массивах, в горной местности, в пустынях и на неустойчивых грунтах.

Гидростатическое нивелирование (рис. 1.22) основано на законе сообщающихся сосудов: свойстве жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном горизонтальном уровне. Простейший гидростатический нивелир представляет собой два измерительных сосуда со шкалами, соединённые гибким шлангом. Сосуды заполняются подкрашенной жидкостью. Если сосуды одинаково оцифрованы от нижних опорных точек, например через 1 мм, то, измерив высоты столбов жидкости, можно вычислить превышение по формуле $h = H_1 - H_2$.

Гидростатическое нивелирование широко применяется в инженерной геодезии при прокладке подземных коммуникаций, установке и монтаже технологического оборудования, для наблюдений за осадками плотин, стен тоннелей, мостов, фундаментов различных агрегатов.



Точность определения превышения от 0,5 мм при визуальном снятии отсчетов до 0,01 мм при использовании фотоэлектронных устройств (ФЭУ). Недостатки метода: длина шланга (до 60 м) и диапазон измеряемого превышения до 1,8 м.

Рисунок 1.22 – Принцип гидростатического нивелирования

Таким образом, **нивелирование используют:**

- для создания государственных нивелирных сетей;
- для определения высот точек при составлении топографических планов, профилей;
- при перенесении проектов застройки и планировки территории по высоте;
- при производстве строительно-монтажных работ;
- при установке строительных конструкций в проектное положение по высоте;
- при наблюдениях за осадками и деформациями зданий;
- для изучения форм рельефа;
- в качестве одного из методов наблюдения за деформациями земной коры.

Контрольные вопросы по разделу «нивелирование»

1. Как классифицируют нивелиры?
2. Опишите устройство нивелира с цилиндрическим уровнем и укажите назначение отдельных частей и винтов.
3. Объясните устройство нивелиров с компенсаторами и взаимодействие их основных частей.

4. Охарактеризуйте оси нивелира. Перечислите геометрические условия, предъявляемые к нивелирам.
5. Сформулируйте главное условие, предъявляемое к нивелирам с цилиндрическим уровнем и компенсатором?
6. Изложите порядок проверок и юстировок нивелиров с цилиндрическим уровнем.
7. Изложите порядок действий при установке нивелира в рабочее положение.
8. Какой порядок работы на станции при техническом нивелировании?
9. Какие требования предъявляются к производству технического нивелирования? Какие допуски необходимо соблюдать?
10. Что называется горизонтом инструмента (прибора)?
11. Как вычисляются отметки через превышения и через горизонт инструмента?
12. Как вычисляется невязка в замкнутом и разомкнутом нивелирных ходах?
13. Какие формулы используются при вычислении допустимой невязки хода технического нивелирования?
14. Чему равна сумма уравненных превышений в замкнутом и разомкнутом ходах?
15. Какими способами вычисляются отметки связующих и промежуточных точек?
16. Какова точность отсчета по рейкам при техническом нивелировании?
17. В чем сущность определения превышений способом «вперед»?
18. В чем сущность определения превышений способом «из середины»?
19. Для какой цели производят постраничный контроль при обработке журнала геометрического нивелирования?
20. Проанализируйте точностные характеристики разных классов геометрического нивелирования.
21. В чем состоят преимущества цифрового нивелирования?
22. Сущность и сфера применения лазерного нивелирования, барометрического и гидростатического нивелирования.

2. Угловые измерения

Классификация теодолитов

Одним из видов геодезических работ являются угловые измерения, которые обычно выполняются с помощью угломерных приборов – теодолитов, обеспечивающих измерений вертикальных и горизонтальных углов с точностью порядка 1"…60".

В настоящее время различные фирмы выпускают теодолиты: оптические, цифровые (электронные), лазерные.



Рисунок 2.1 – Классификация теодолитов

В зависимости от допустимой погрешности измерения горизонтального угла одним приемом в лабораторных условиях теодолиты подразделяются на:

– **высокоточные** (Т05, Т1) – предназначены для измерения углов при развитии государственных геодезических сетей, построении специальных геодезических сетей, как основы для точных разбивочных работ, изучения деформаций сооружений, а также при установке и монтаже оборудования угловыми методами;

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

– **технические** (Т15, Т30 и Т60) – применяются для проложения на местности теодолитных и тахеометрических ходов, выполнения плановых и высотных съёмок, при рекогносцировочных и изыскательских работах.

Согласно ГОСТ 10529-86 в маркировке прибора буква Т – теодолит, цифра – средняя квадратическая погрешность (точность) измерения горизонтального угла одним приёмом в лабораторных условиях (0,5", 1", 2", 5", 15", 30", 60").

В зависимости от конструктивных особенностей различают теодолиты:

- с уровнем при вертикальном круге (обозначение не применяется);
- К – с компенсатором углов наклона (компенсатор углов наклона применяется вместо уровня при вертикальном круге);
- А – с автоколлимационным окуляром (автоколлимационные);
- М – маркшейдерские;
- Э – электронные;
- П – теодолит имеет зрительную трубу прямого изображения.

Допускается сочетание различных вариантов исполнения в одном приборе. Для современных модификаций теодолитов перед обозначением типа теодолита указывается порядковый номер модели.

Например, теодолит 4Т30П: 4 – порядковый номер модели; Т – теодолит оптический; 30 – средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приёмом в угл. сек; П – теодолит имеет трубу прямого изображения.

В табл. 2.1 приведены основные параметры теодолитов, выпускаемых в РФ.

Таблица 2.1 – Технические характеристики теодолитов

Параметр	Значения для теодолитов					
	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30	Т60
1. Допускаемая с. к. п. измерения угла одним приёмом: горизонтального угла m_{β} вертикального угла m_{ν}	1" 1,2"	2" 2,5"	5" 8"	15" 25"	30" 45"	60" 90"
2. Диапазон измерения углов 2.1 горизонтальных 2.2 вертикальных – для маркшейдерских теодолитов – для остальных теодолитов	360° от -90° до +90° от -55° до +60°					
3. Увеличение зрительной трубы, не менее	40x	30x		25x	20x	15x
4. Диаметр входного зрачка, мм, не менее	50	35			25	
5. Наименьшее расстояние визирования, м, не более	1,0			0,8	0,5	
6. Номинальная цена деления цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга	10"	15"	20"	30"	45"	60"
7. Масса, кг, не более	11	4,7	4,3	3,5	2,5	2,0

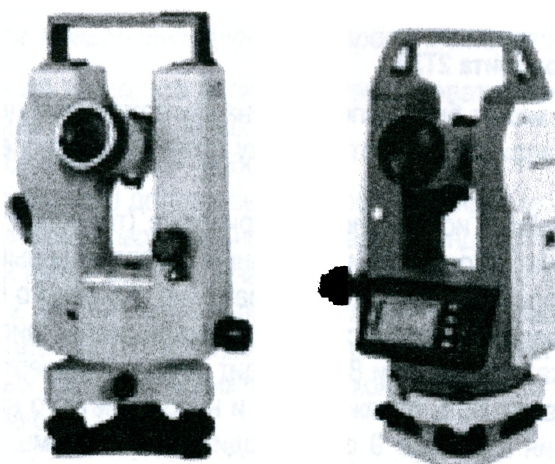


Рисунок 2.2 – Внешний вид оптического и электронного теодолитов

Лабораторная работа № 4. Устройство теодолитов Т30, 2Т30 и 2Т30П

Цель работы: изучить устройство теодолита и научиться снимать отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.

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

Основание 1 (рис. 2.3), с которым скреплена подставка 14, служит дном футляра прибора. Это позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива. Теодолит приводится в рабочее положение (ось его вращения устанавливается в отвесное положение) подъемными винтами 15 подставки при помощи цилиндрического уровня 11. У геодезических приборов три подъемных винта, расположенных в вершинах равностороннего треугольника.

При зрительной трубе 1 имеется оптический визир 9 для наведения зрительной трубы на визирную цель (точку, вежу, марку). Закрепительным винтом 8 труба фиксируется в заданном направлении. Вращением диоптрийного кольца 11 добиваются четкого изображения сетки нитей (установка трубы по глазу). Вращением кремальеры 13 фокусируют трубу, добиваясь четкого изображения визирной цели. Горизонтальный круг (лимб) и алидада могут вращаться совместно и отдельно при помощи закрепительных и наводящих винтов 4,5 и 6,7. При закреплении винта 6 и откреплении винта 4 ноль лимба остаётся неподвижным в процессе вращения алидады.

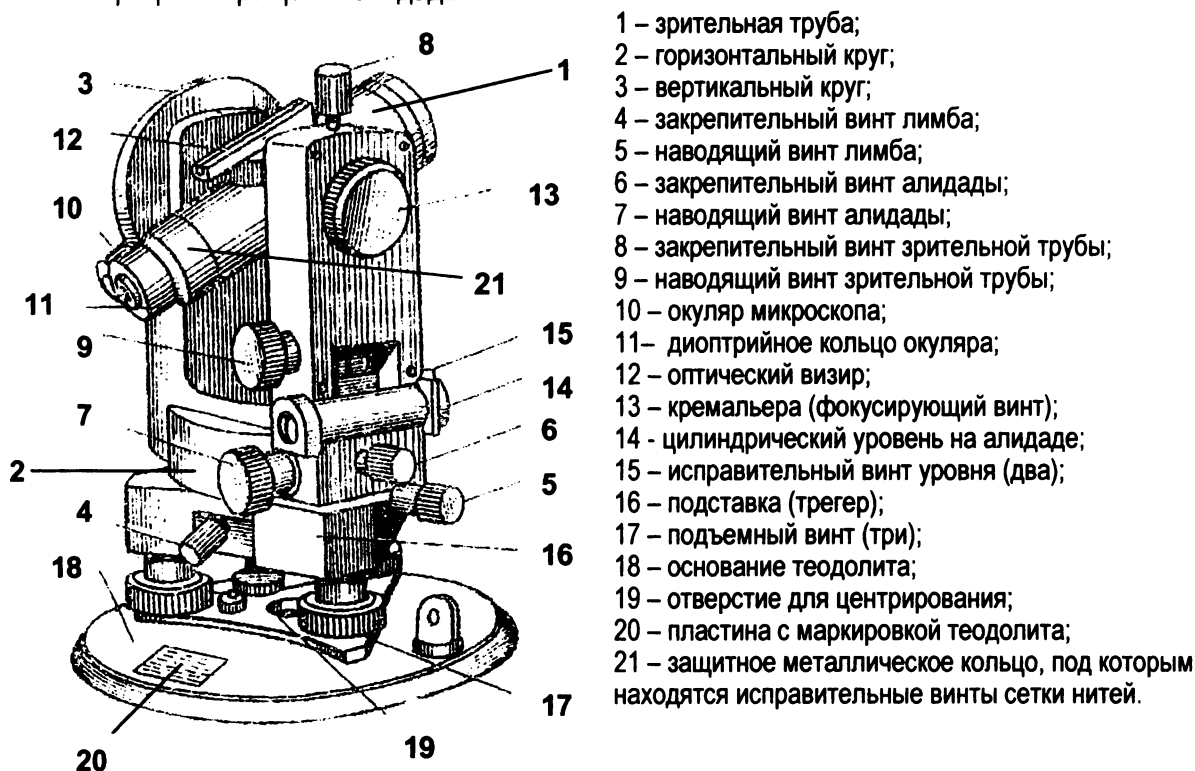


Рисунок 2.3 – Общий вид теодолита 2Т30

Зрительная труба теодолита может быть использована как оптический центрир. Для этого её устанавливают вертикально окуляром вверх и визируют на точку стояния через специальное отверстие 19 в основании прибора.

В качестве **отсчётных устройств** используются штриховые (теодолит Т30) и шкаловые (теодолит 2Т30, 2Т30П, 3Т30П и 4Т30П) микроскопы. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита Т30 разделены штрихами через 10' с оцифровкой через 1°. Изображение отсчётного индекса и штрихов обоих кругов передано в поле зрения микроскопа посредством оптической схемы (рис. 2.4, а).

Луч света, отражаясь от зеркала подсветки 8, проходит через лимб вертикального круга 6 и попадает на призму 2. Посеребренная поверхность отражает луч и направляет его на лимб горизонтального круга 1. После двукратного отражения в призме 9 он проходит через призмы 7 и 3 и попадает на плоско-

параллельную пластину 4, на которой нанесён один отсчетный индекс у теодолита Т30. При помощи этого индекса производится отсчёт.

Поле зрения отсчётного микроскопа теодолита Т30 приведено на рис. 2.4, б. В поле зрения микроскопа изображение вертикального круга обозначено буквой В, горизонтального – буквой Г.

б

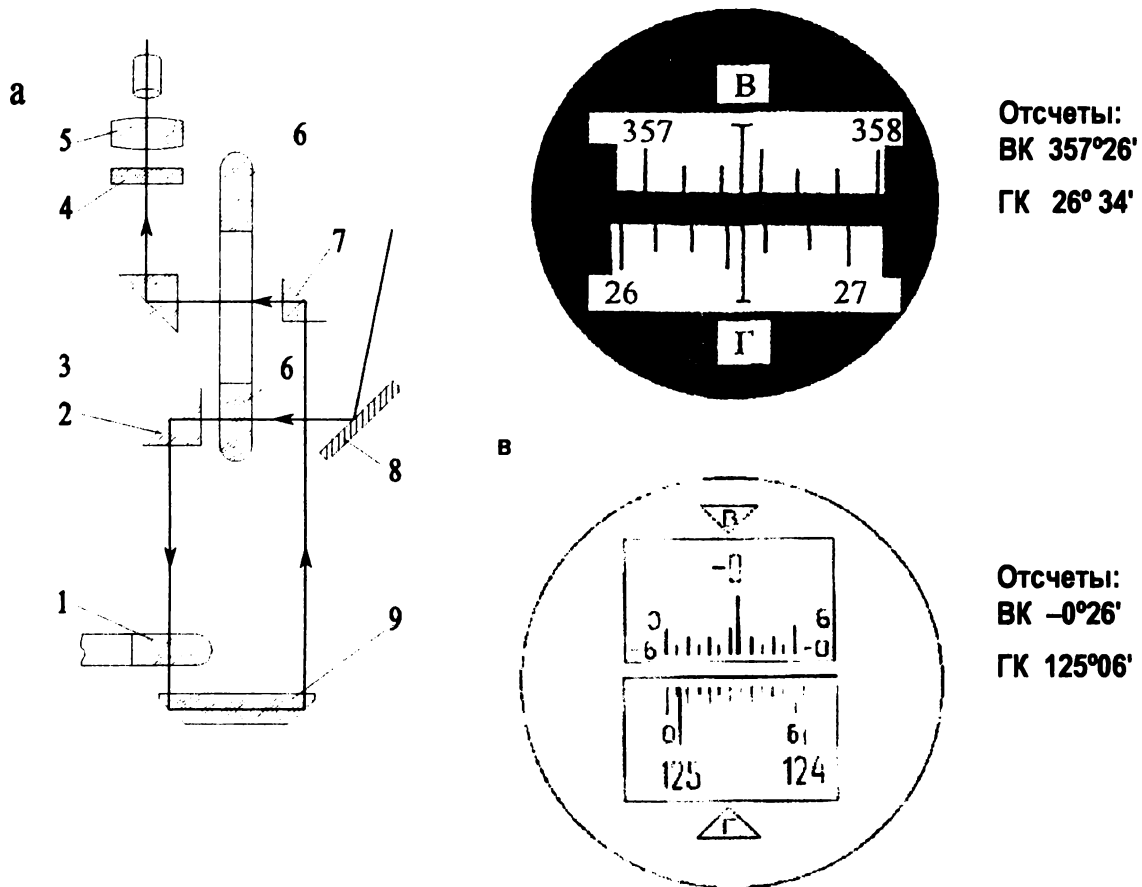


Рисунок 2.4 – Отсчётные устройства теодолитов Т30 и 2Т30

Теодолит 2Т30, являющийся модификацией теодолита Т30, отличается отсчётным устройством, оцифровкой угломерных кругов (вертикальный круг имеет два оцифрованных сектора от 0° до +75° и от -0° до -75°) и наличием уровня при трубе. В отличие от теодолита Т30 на круги нанесены деления через 1° (каждый градус оцифрован), а в отсчётном устройстве использован шкаловый микроскоп с ценой деления 5'. Поле зрения отсчётного микроскопа теодолита 2Т30 и последующих модификаций приведено на рис. 2.4, в.

Лабораторная работа №5. Поверки и юстировки теодолита 2Т30

Цель работы: приобрести навыки выполнения поверок и юстировок теодолита.

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

К теодолиту предъявляются следующие требования:

- Ось цилиндрического уровня U-U должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита I – I;
- Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита I – I;
- Ось вращения зрительной трубы V – V должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита I – I;
- Визирная ось трубы Z – Z должна быть перпендикулярна к оси вращения зрительной трубы V – V;
- Место нуля (МО) вертикального круга должно быть постоянным и близким к нулю.

Выполнение перечисленных геометрических условий контролируют в процессе поверок теодолита.

Оси теодолита показаны на рис. 2.5.

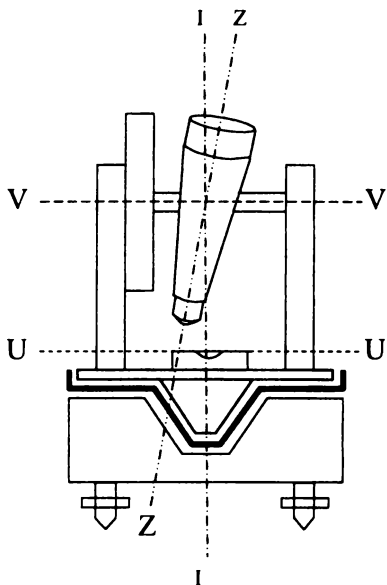


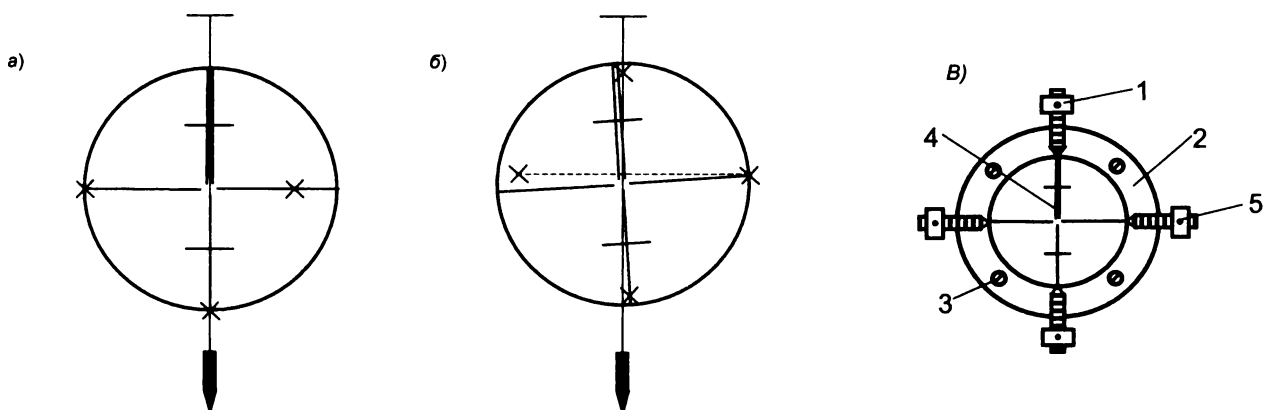
Рисунок 2.5 – Схема осей теодолита

В противном случае необходимо еще раз повторить все действия, т.е. приведение прибора в рабочее положение по цилиндрическому уровню выполняют последовательными приближениями. Если не удастся вывести пузырек уровня в нуль-пункт, то выполняют юстировку исправительными винтами 12 уровня (рис. 2.3) перемещают пузырек уровня к середине на половину дуги отклонения, а на оставшуюся часть – двумя подъемными винтами. Затем поверку повторяют.

2. Одна из нитей сетки должна быть параллельна, а другая перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Вертикальную нить сетки нитей проверяют по отвесу или по точке. Проконтролируем вертикальную нить (рис. 2.6, а, б) по отвесу. Устанавливают теодолит в рабочее положение по цилиндрическому уровню, на расстоянии 10-15 м от прибора вешают отвес. Наводят вертикальную нить сетки на нитку отвеса. Если они совпадают по всей длине (рис.2.6,а), то условие выполнено (допуском служит двойной бисектор сетки нитей).

Юстировка. Положение сетки нитей 4 (рис. 2.6,в) исправляют поворотом диафрагмы 2 с сеткой вокруг визирной оси трубы после ослабления винтов крепления окулярного колена 3 до совпадения нитей отвеса и сетки. После исправления винты закрепляют.



а) условие выполняется, б) условие не выполняется; в) юстировка сетки нитей
Рисунок 2.6 – Схема проверки сетки нитей

В современных теодолитах вертикальная и горизонтальная нити сетки нарезаны строго взаимно перпендикулярно, поэтому можно контролировать разворот сетки, проверяя положение одной из нитей.

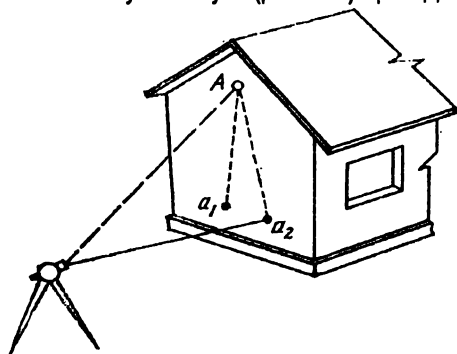
По точке можно проконтролировать как вертикальную, так и горизонтальную нить.

Контроль вертикальной нити. Наводят визирную ось трубы на точку и, работая наводящим винтом трубы, наклоняют трубу вверх и вниз. Если при этом вертикальная нить сетки не будет отклоняться от точки, то условие выполнено.

Контроль горизонтальной нити. Трубу наводят на четкую точку так, чтобы ее изображение находилось на горизонтальном штрихе сетки у левого (или правого) края поля зрения. Вращая алидаду, смешивают изображение точки к другому краю. Если горизонтальный штрих сойдет с изображения точки более чем на треть величины бисектора, то сетка установлена неверно и требуется исправление.

3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Устанавливают теодолит на расстоянии 5-10 м от стены и наводят зрительную трубу на какую-либо высоко расположенную точку А (рис. 2.7) при одном из положений вертикального круга, например, при «круге право».



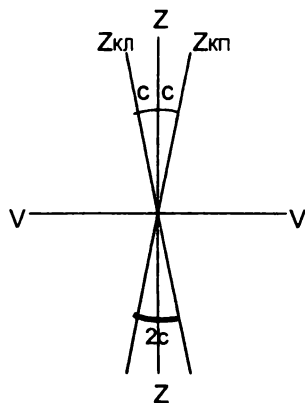
Наклоном зрительной трубы проектируют верхнюю точку в нижнюю часть стены (примерно на высоту инструмента), где помощник отмечает карандашом на стене проекцию точки – центр сетки нитей (точка a_1).

Затем переводят зрительную трубу через зенит и аналогичные действия производят при другом положении вертикального круга, пометая точку a_2 .

Рисунок 2.7 – К определению перпендикулярности оси вращения трубы к оси вращения теодолита

Условие будет выполнено, если проекции верхней точки при КП и КЛ совпали – расхождение допускается в пределах бисектора вертикальной нити сетки. В случае несовпадения средняя точка из двух проекций a_1 и a_2 будет соответствовать правильному расположению осей. В современных конструкциях теодолитов невыполнение этого условия может быть устранено только в мастерской или в заводских условиях.

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



Коллимационную погрешность определяют путем визирования на одну и ту же точку при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ).

Приводят теодолит в рабочее положение. Закрепляют лимб и, работая винтами алидады и зрительной трубы, наводят визирную ось на удаленную точку при одном положении вертикального круга и берут отсчет по горизонтальному кругу. Наводят зрительную трубу на ту же точку при другом положении вертикального круга и берут отсчет по горизонтальному кругу.

Рисунок 2.8 – Коллимационная погрешность

Коллимационную погрешность вычисляют по формуле:

$$C = \frac{1}{2} (КЛ - КП \pm 180^\circ), \quad (2.1)$$

где КП и КЛ – отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при соответствующем положении вертикального круга. Допустимое значение вычисляют так: $C_{доп} = \pm 2 \cdot m_{\beta}$.

Правильность определения коллимационной погрешности проверяют повторными наблюдениями. Отсчеты записывают в журнал (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Определение коллимационной погрешности

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

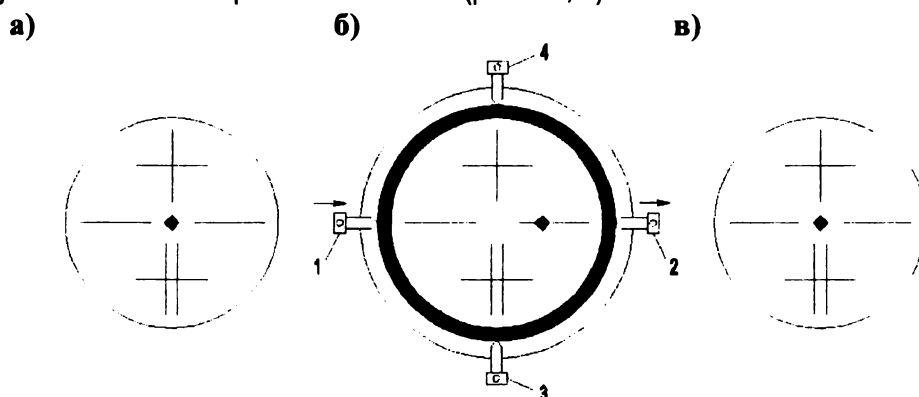
Величина коллимационной погрешности *не должна превышать двойной точности измерения горизонтального угла одним полным приемом*, т.е. если полученное значение $|C| \leq 1'$ для теодолита Т30 или 2Т30, то условие считается выполненным.

Исправление коллимационной погрешности выполняют следующим образом:

1) Наводящим винтом 7 алидады (рис. 2.3) устанавливают на лимбе правильный отсчет для последнего измерения, вычисленный по формуле:

$$N = \frac{1}{2} (КП + КЛ \pm 180^\circ). \quad (2.2)$$

При этом алидада повернется на угол, равный коллимационной погрешности C , а изображение точки в поле зрения трубы сместится с пересечения нитей (рис. 2.9, б)



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

Рисунок 2.9 – Порядок исправления коллимационной погрешности

2) Действуя боковыми исправительными винтами сетки нитей 1 и 2 (рис. 2.9, б) сетки, последнюю перемещают до совмещения пересечения нитей с изображением точки (рис. 2.9, в).

3) После исправления поверку повторяют.

Лабораторная работа №6. Измерение горизонтальных углов

Цель работы: освоить методику измерения горизонтальных углов и обработки полученных результатов, приобрести начальные навыки измерения углов.

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

- установка теодолита в рабочее положение (центрирование, горизонтирование подставки, установку зрительной трубы для наблюдений);
- измерение горизонтальных углов;
- обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

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

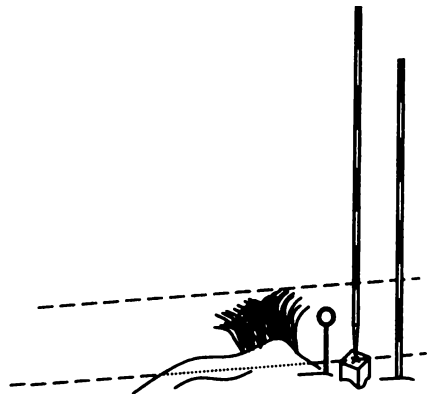
а) центрирование - установка центра горизонтального круга над вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса или оптического центрира перемещением ножек штатива с последующим передвижением прибора на головке штатива. Погрешность центрирования зависит от требуемой точности выполняемых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

б) горизонтирование подставки – приведение плоскости лимба горизонтального круга в горизонтальное положение, т.е. установка оси вращения теодолита в отвесное (вертикальное) положение с помощью цилиндрического уровня.

в) при установке трубы для наблюдений необходимо:

- а) добиться четкого изображения сетки нитей вращением диоптрийного кольца;
- б) вращением кремальеры – четкого изображения наблюдаемого предмета;
- в) устранить параллакс сетки нитей.

Для закрепления сторон измеряемого угла используют вехи либо специальные визирные марки.



Вехи устанавливаются на следующую и предыдущую точки хода вертикально позади кола так, чтобы они находились в створе наблюдаемого направления.

При измерении горизонтального угла на вехи наводят вертикальную нить сетки. Наведение выполняют строго по центру вехи так, чтобы пересечение нитей находилось в нижней ее части, т.е. как можно ближе к поверхности земли. Этим исключается погрешность за неперпендикулярность установки вехи.

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

Для измерения горизонтальных углов применяют способы *приёмов* (отдельного приёма), *круговых приёмов*, *повторений*, *всевозможных комбинаций*, *«от нуля»*. Рассмотрим некоторые из них.

Способ приёмов. Полный прием состоит из двух полуприёмов, т.е. угол измеряется при двух положениях вертикального круга теодолита (КЛи КП). Теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла, точке В.

- Первый полуприём начинают, например, при КЛ. При **закрепленном лимбе** наводят трубу на правую точку А (см. схему в таблица 2.3), берут отсчёт и записывают его в журнал.

- Наводят зрительную трубу на точку С и берут отсчёт. Угол β_1 , полученный при КЛ, вычисляется как разность отсчетов по горизонтальному кругу по формуле

$$\beta_1 = A - C. \quad (2.3)$$

- Перед вторым полуприёмом смещают лимб на несколько градусов (2-3°) и закрепляют его. Эти действия позволяют обнаружить возможные грубые ошибки при отсчитывании по лимбу и уменьшить инструментальные погрешности. Переводят трубу через зенит и при КП, визируют на точки С и А, соответственно берут отсчёты по горизонтальному кругу и вычисляют значение угла из второго полуприема. При измерении углов соблюдают требование: измерения должны быть симметричны относительно среднего момента времени.

Результаты измерений записывают в специальный журнал (табл. 2.3)

Таблица 2.3 – Журнал измерения горизонтальных углов

Схема измеряемого угла β	Вершина угла	Круг	№ точки наблюдения	Отсчеты по горизонтальному кругу	Горизонтальный угол	
					измеренный	средний
	В	КЛ	А	185° 58'	60° 58'	60° 58,5'
			С	125° 00'		
		Перестановка лимба				
		КП	С	307° 39'	60° 59'	
			А	8° 38'		

Внимание: если отсчёт на правую точку меньше отсчёта на левую, к нему прибавляют 360°.

При измерении горизонтальных углов в теодолитных ходах расхождение значений угла из двух полуприёмов не должно превышать $|\beta_1 - \beta_2| \leq 2t \leq 1'$.

При выполнении этого условия из двух значений угла вычисляют среднее значение

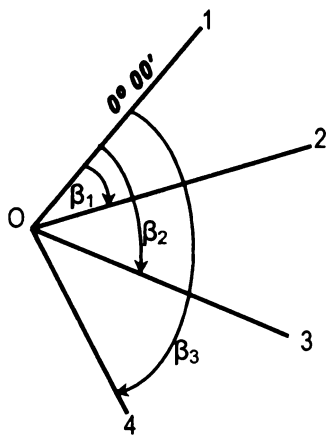
$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}, \quad (2.4)$$

которое принимают за окончательное значение измеренного угла.

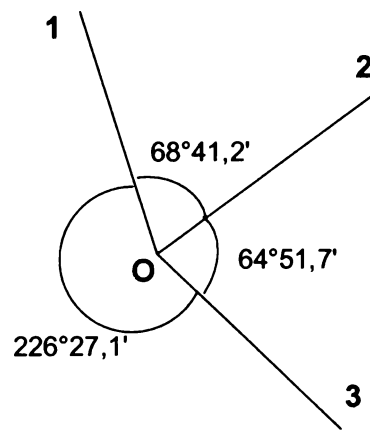
Способ круговых приёмов используется в случае, когда в одной точке сходится более двух направлений (рис. 2.10).

Данный способ применяется при измерении горизонтальных углов в триангуляции; строительной геодезической сетке; в системах полигонометрических и теодолитных ходов с узловыми точками.

а)



б)



а) схема измерений; б) значения горизонтальных углов, вычисленных по измеренным направлениям

Рисунок 2.10 – Измерение горизонтальных углов способом круговых приёмов

Измерения выполняют в следующей последовательности.

- Рабочее положение теодолита устанавливают при КП. Работая винтами алидады, отсчёт по горизонтальному кругу устанавливают близким к нулю (но не меньше нуля) и закрепляют алидаду.
- Работая винтами лимба, визирную ось наводят на точку, принятую за исходную (например, 1 на рис. 2.10,б). Закрепляют лимб и проверяют отсчёт. Он должен оставаться близким к нулю. Полученный отсчёт записывается в графу 4 (табл. 2.4).
- При закреплённом лимбе вращают алидаду по ходу часовой стрелки и поочерёдно наводят визирную ось на точки 2, 3 и снова на 1 и при этом берут отсчёты по горизонтальному кругу, которые записывают в графу 4.
- Устанавливают рабочее положение теодолита КП (*не переставляя лимб*), наводят на точку 1, и, вращая теодолит против хода часовой стрелки, визируют на точки 3, 2 и 1. Отсчёты записывают в графу 4 снизу вверх. Вычисляют средние значения отсчётов, полученных при КП и КЛ, по формуле:

$$N = \frac{КЛ + (КП \pm 180^\circ)}{2}, \quad (2.5)$$

которые записывают в графу 5, причем градусы записывают при КП, а минуты средние из КП и КЛ. *Выше над средними значениями направлений записывают поправки за незамыкание горизонта.*

Контролем правильности измерений является графа 6. Колебания двойной коллимационной погрешности не должны превышать 1' при выполнении измерений теодолитами Т30, 2Т30 ($2C = КП - КП \pm 180^\circ$).

Таблица 2.4 – Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов

№ станции	№№ точек визирования	Положение круга	Отсчёт		2С	Направления
			полученный	средний		
1	2	3	4	5	6	7
Первый прием						
А	В	КЛ	0°02'	0'	-1,0'	0° 00,0'
		КП	180°01'	0°01,5'		
	С	КЛ	68°42'	+0,2'	-1,0'	68° 41,2'
		КП	248°43'	68°42,5'		
	D	КЛ	133°34'	+0,4'	0'	133° 32,9'
		КП	313°34'	133°34,0'		
	В	КЛ	0°01'	+0,5'	0'	0° 00,0'
		КП	180°01'	0°01,0'		
Незамыкание горизонта первого приема					-0,5'	при допуске $4t = \pm 2'$

В графе 7 получают направления, подсчитанные по формуле

$$n_i = N_i - N_1, \quad (2.6)$$

где $i = 1, 2, 3$ – номера направлений.

Используя вычисленные направления (графа 7 табл.2.4), вычисляют горизонтальные углы как разность соответствующих направлений (рис.2.10,б).

Повышения качества измерений можно достигнуть, если перед началом измерений делать два-три оборота алидадной части теодолита в направлении вращения. По возможности не менять фокусировку трубы и оптического микроскопа и положение зеркала подсветки. Стремиться все измерительные операции в приеме и программе наблюдений на пункте выполнять равномерно по времени. Контролировать в процессе измерений центрирование теодолита и положение пузырька цилиндрического уровня. Чтобы уменьшить влияние погрешностей в делениях угломерного круга между приемами (если выполняют несколько приемов высокоточными и точными теодолитами) осуществлять перестановку лимба на угол

$$\sigma = \frac{180^\circ}{n} + \gamma, \quad n - \text{число приемов}, \quad \gamma = 10'.$$

Способ «от нуля». После установки теодолита в вершине угла зрительную трубу наводят на левую точку и совмещают нуль лимба с нулем отсчетного устройства (отсчет по горизонтальному кругу $0^\circ 00'$). При работе с теодолитами, не имеющими рукоятки перевода лимба (Т30, 2Т30П), сначала на лимбе устанавливают нулевой отсчет, а затем осуществляют наведение на точку.

Открепляют алидаду и визируют на правую точку. Отсчет при наблюдении на правую точку дает значение измеряемого угла.

Этот способ имеет недостаток, так как результат измерения может быть искажен при наличии у теодолита коллимационной погрешности или наклона горизонтальной оси. При измерении полным приемом эти погрешности исключаются. Если инструментальные погрешности не превышают допустимых значений, способ «от нуля» применяется при съемке ситуации местности и разбивке основных осей зданий.

Лабораторная работа №7. Измерение вертикальных углов

Цель работы: освоить методику измерения углов наклона и обработки полученных результатов.

Вертикальный круг теодолитов Т30 и 2Т30. Измерение вертикальных углов

Вертикальные углы – углы, лежащие в вертикальной плоскости, измеряются при помощи вертикально расположенного круга с градусными делениями, центр круга – точка Т (рис. 2.11). **Вертикальный угол, отсчитанный от горизонтальной линии TF, называется углом наклона V.** Он считается положительным ($+V$), если направление визирования выше горизонта, и отрицательным ($-V$), если ниже. Вертикальный угол, отсчитанный от зенитного направления TB_1 , называется зенитным расстоянием (углы Z_1 и Z_2).

Рассмотрим измерение углов наклона техническими теодолитами. Лимб вертикального круга теодолита неподвижно скреплен с осью вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней, а отсчетный индекс остаётся неподвижным при любом положении зрительной трубы. Отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы называется **местом нуля (МО) вертикального круга.**

Вертикальный круг теодолита Т30 (рис. 2.12) скреплен со зрительной трубой по диаметру $90^\circ - 270^\circ$ и оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 360° .

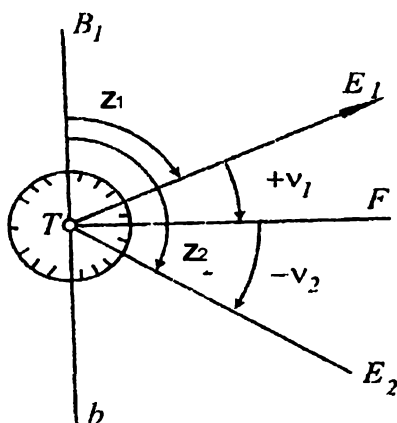


Рисунок 2.11 – Вертикальные углы

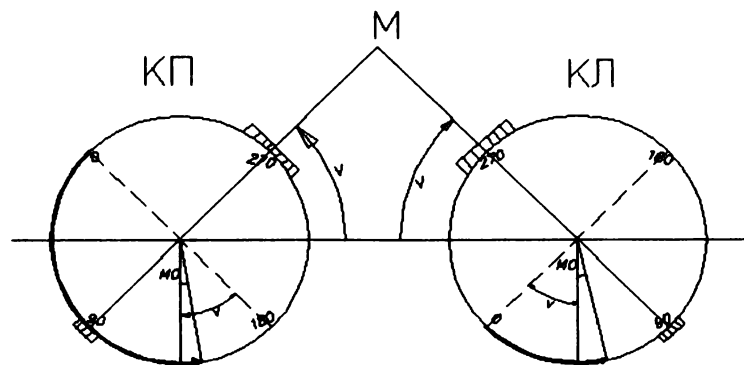


Рисунок 2.12 – Вертикальный круг теодолита Т-30

Для вычисления места нуля и углов наклона применяются формулы

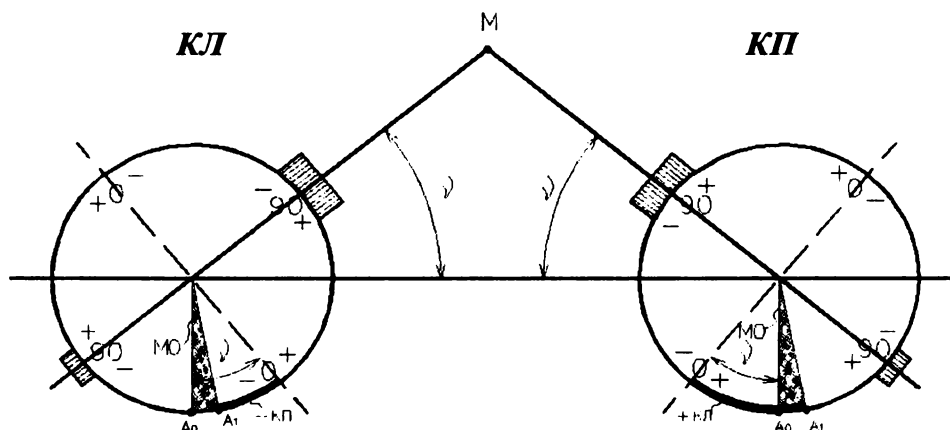
$$V = КЛ - МО, \quad V = МО - КП + 180°, \quad (2.7)$$

$$V = \frac{КЛ - КП + 180°}{2}, \quad (2.8)$$

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180°}{2}. \quad (2.9)$$

Следовательно, для определения величины МО нужно на одну и ту же точку навести зрительную трубу при КП и КЛ, взять отсчёты по вертикальному кругу и вычислить МО по формуле (3.9).

Вертикальный круг теодолита 2Т30 разделен на четыре прямоугольных сектора диаметрами +0°–0° и +90°–90°, скреплён со зрительной трубой по диаметру +90°–90° и оцифрован в обе стороны от 0° до 75°. Против хода часовой стрелки подписаны положительные значения, а по ходу часовой стрелки – отрицательные (рис. 2.13).



А₀ и А₁– положение отсчётного индекса при МО=0 и при МО≠0 соответственно

Рисунок 2.13 – Вертикальный круг теодолита 2Т30

Место нуля вертикального круга для теодолита 2Т30 и последующих модификаций вычисляется по формуле

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2} \quad (2.10)$$

Таблица 2.5 – Определение МО и вертикальных углов

Теодолит	№ станций	№ точек визирования	Круг	Отсчёты	Место нуля МО	Угол наклона V
1	2	3	4	5	6	7
Т30	1	6	КЛ	4° 38'	1,0'	4° 37,0'
		6	КП	175° 24'		
		7	КЛ	3° 52'	1,0'	3° 53,0'
		7	КП	176° 10'		
2Т30	2	8	КЛ	3° 19'	– 2,5'	3° 21,5'
		8	КП	–3° 24'		
		9	КЛ	6° 41'	– 3,0'	6° 44,0'
		9	КП	–6° 47'		

Значение вертикального угла можно вычислить по формулам:

$$V = КЛ - МО, \quad (2.11)$$

$$V = МО - КП. \quad (2.12)$$

Решая (2.11) и (2.12) относительно V и МО, получим:

$$V = \frac{КЛ - КП}{2}. \quad (2.13)$$

Для удобства вычисления углов наклона можно значение МО свести к нулю. Чтобы у теодолита *установить МО равное нулю*, вычисляют правильный отсчет по вертикальному кругу, считая что $МО = 0^\circ$:

- для теодолита Т30: $КЛ = V$; $КП = 180^\circ - V$;
- для теодолитов 2Т30 и последующих модификаций: $КЛ = +V$; $КП = -V$.

Далее вращением наводящего винта зрительной трубы устанавливают вычисленный отсчет по вертикальному кругу, вследствие чего пересечение сетки сместится с точки в вертикальной плоскости. Работая вертикальными винтами сетки 3 и 4 (рис. 2.9, б), совмещают центр сетки нитей с изображением точки.



Для измерения вертикального угла необходимо навести трубу на определяемую точку и взять отсчеты по вертикальному кругу при КЛ и КП. Контролем качества при измерении вертикальных углов является постоянство значения места нуля.

На рис. 2.14 показано измерение угла наклона на местности с использованием теодолита и вехи.

Рисунок 2.14 – Измерение угла наклона на местности

Если угол измерен при двух положениях вертикального круга, то МО не влияет на правильность измерения вертикального угла. Вертикальный угол можно вычислить по формуле 2.9 или 2.13.

Лабораторная работа №8. Определение превышений и высоты здания тригонометрическим нивелированием

Цель работы: освоить методику определения превышений из тригонометрического нивелирования и обработки полученных результатов.

Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование позволяет определить превышение между точками по измеренному углу наклона и расстоянию.

Для определения превышения между точками 1 и 2 (рис. 2.15) над точкой 1 устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, измеряют высоту инструмента i – расстояние по отвесной линии от точки 1 до оси вращения зрительной трубы теодолита (помечена черной точкой на кремальере) с помощью нивелирной рейки с точностью до 0,01 м, в точке 2 устанавливают нивелирную рейку.

По черной стороне рейки по средней нити отсчитывают *высоту визирования* V – расстояние от пятки рейки до средней горизонтальной нити сетки. Нитяным дальномером измеряют наклонное расстояние D от теодолита до рейки. С помощью вертикального круга теодолита полным приемом (КЛ и КП) измеряют вертикальный угол наклона V .

Формулы тригонометрического нивелирования запишем, используя рис. 2.15

$$h + V = h' + i \quad (2.14)$$

или

$$h = h' + i - V. \quad (2.15)$$

При измеренном горизонтальном расстоянии d получим $h' = d \cdot \operatorname{tg} V$ или $h' = \frac{D}{2} \cdot \sin 2V$ при измеренном наклонном расстоянии D .

Таким образом, превышение вычисляется по формуле

$$h = d \cdot \operatorname{tg} V + i - V + f = \frac{D}{2} \cdot \sin 2V + i - V + f, \quad (2.16)$$

где f – поправка за рефракцию и кривизну Земли, которая вводится в измеренное превышение при расстоянии 400 м (достигает величины 1 см и более).

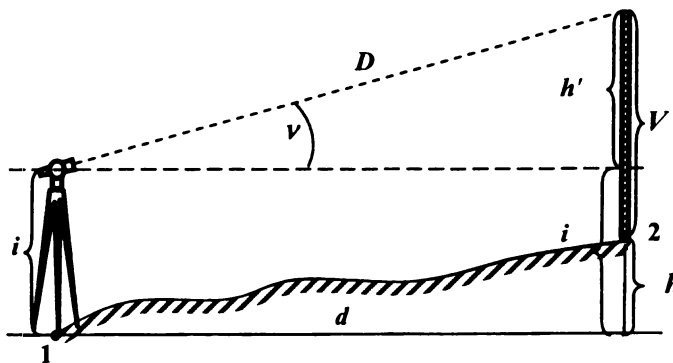


Рисунок 2.15 – Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование по точности соответствует геометрическому нивелированию III класса, если вертикальные углы измерены точными теодолитами и расстояния стальными или лазерными рулетками, светодальномерами. Погрешность определения превышений методом тригонометрического нивелирования может быть уменьшена за счет повышения точности измерения углов наклона и расстояний более точными геодезическими приборами.

Тригонометрическое нивелирование позволяет определять высотное положение точек местности в процессе тахеометрической съемки.

Высоту сооружения (отдельных элементов зданий и сооружений) также можно определить, используя тригонометрическое нивелирование (рис. 2.16).

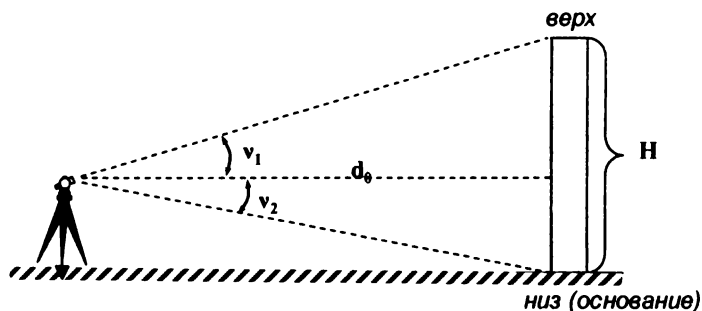


Рисунок 2.16 – Определение высоты сооружения

Если есть возможность определить расстояние до необходимой точки (например, грани колонны или плоскости стены здания), то на удалении около полутора - двух высот здания устанавливают теодолит, которым измеряют с одной станции углы наклона v_1 и v_2 (рис. 2.16), а рулеткой – длину d_0 от теодолита до точки или её проекции на уровень пола. Высоту H вычисляют по формуле $H = d_0 \cdot (tg v_1 + tg v_2)$. Высоту определяют дважды. Расхождение значений высоты из двух определений не должно быть более $1/2000$.

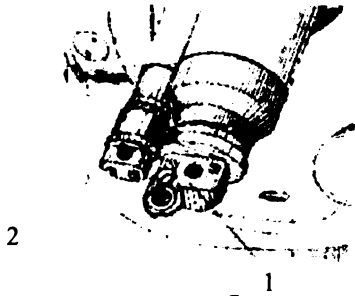
Измерение магнитного азимута на местности

В комплект теодолита входят: цилиндрический уровень, ориентир-буссоль и окулярные насадки.

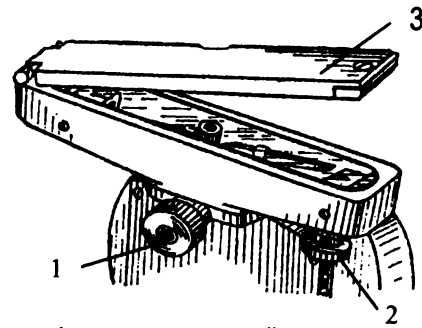
Уровень, входящий в комплект, устанавливают на зрительную трубу теодолита вместо одного оптического визира 4 для установки визирной оси зрительной трубы горизонтально при выполнении нивелирования.

Окулярные насадки применяются для удобства наблюдения предметов, расположенных под углами более 45° к горизонту. Насадки надевают на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа (рис. 2.17). Окулярная насадка представляет собой призму, изменяющую направление визирной оси на 80° , которая свободно вращается в обойме. Насадка на зрительную трубу снабжена откидным светофильтром для визирования на Солнце.

Ориентир-буссоль (рис.2.18) служит для измерения магнитных азимутов и устанавливается в специальный паз, расположенный на корпусе вертикального круга теодолита. Положение магнитной стрелки наблюдают в зеркале 3, которому придают нужный наклон. Магнитную стрелку в нерабочем состоянии зажимают вращением винта 2, расположенного в нижней части корпуса буссоли. Северный конец стрелки окрашен в темно-синий цвет. Для уравнивания стрелки на южном конце установлен передвижной грузик.



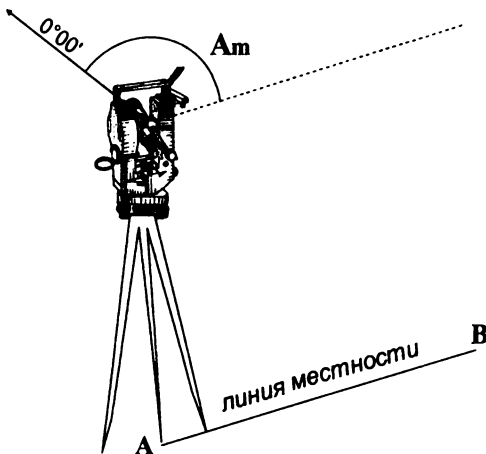
1 – на зрительную трубу,
2 – на микроскоп
Рисунок 2.17 – Окулярные насадки



1 – закрепительный винт;
2 – фиксирующий (зажимной) винт магнитной стрелки; 3 – зеркало.

Рисунок 2.18 – Ориентир-буссоль

Для измерения магнитного азимута линии устанавливают, горизонтируют и центрируют теодолит на точке А, являющейся началом ориентируемой линии.



Рабочее положение теодолита устанавливают «круг лево» и крепят к нему буссоль. Совмещают нули лимба и алидады и в таком положении закрепляют алидаду. Открепив лимб, вращают теодолит в ту или другую сторону до совмещения магнитной стрелки со штрихом буссоли и закрепляют лимб. Убедившись, что отсчет по горизонтальному кругу остался равным $0^{\circ}00'$ (нуль по северному направлению магнитного меридиана). Далее открепляют алидаду и, вращая теодолит по ходу часовой стрелки, наводят на точку, которая является концом ориентируемой линии, и берут отсчет по горизонтальному кругу. Полученный отсчет и будет значением магнитного азимута.

Рисунок 2.19 – Измерение магнитного азимута

Контрольные вопросы по разделу «угловые измерения»

1. Как классифицируются теодолиты?
2. Перечислите основные части теодолита.
3. Какие бывают уровни и каково их устройство?
4. Перечислите основные оси теодолита.
5. Дайте определение оси цилиндрического уровня и цены его деления.
6. Охарактеризуйте устройство зрительной трубы.
7. Что называется визирной осью зрительной трубы?
8. Что такое коллимационная погрешность?
9. Как осуществляют фокусировку зрительной трубы?
10. Опишите порядок установки теодолита в рабочее положение.
11. Как производят отсчет по штриховому и шкаловому микроскопам?
12. Из каких действий складывается установка трубы для наблюдений?
13. Назовите поверки теодолита и порядок их выполнения.
14. Сформулируйте геометрические условия, которым должно отвечать взаимное расположение осей теодолита.
15. Как устраняют обнаруженные в результате проверок погрешности?
16. Порядок измерения горизонтального угла способом приемов?
17. В каких случаях для измерения углов используется способ круговых приемов и как он выполняется?
18. Каково назначение вертикального круга?
19. Что такое угол наклона?
20. Что называется местом нуля вертикального круга?
21. По каким формулам определяют место нуля?
22. Формулы, схема и точность тригонометрического нивелирования?
23. Можно ли определить расстояние между точками при помощи теодолита?
24. Какие измерения теодолитом необходимо выполнить, чтобы определить превышения между точками методом тригонометрического нивелирования?
25. Как измерить магнитный азимут линии с помощью ориентир-буссоли?

3. Линейные измерения

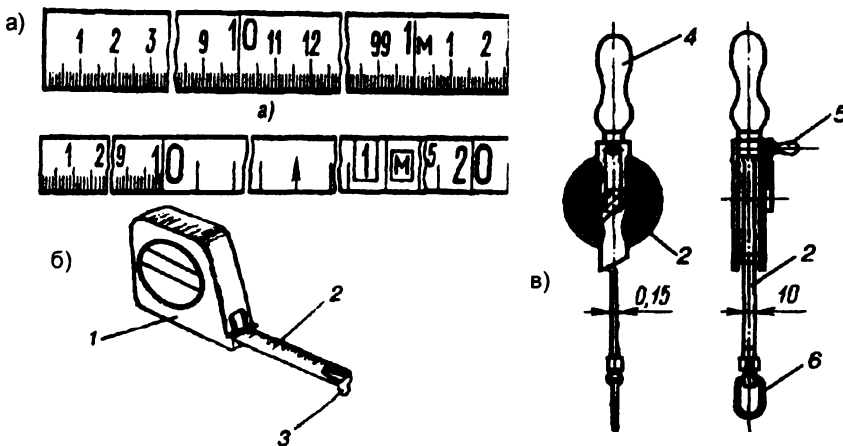
Для измерения длин линий можно использовать мерные проволоки, землемерные ленты, стальные и лазерные рулетки, нитяной дальномер, различные свето- и радиодальномеры, электронные тахеометры. Линии измеряют на горизонтальной, наклонной и вертикальной плоскости. Измерения производят непосредственно – металлическими, деревянными метрами, рулетками, землемерными лентами и специальными проволоками, а также косвенно – электронными, нитяными дальномерами, свето- и радиодальномерами.

Непосредственное измерение расстояний. Мерные приборы

Для геодезических измерений используют **стальные рулетки** (рис. 3.1) длиной 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10...12 мм, толщиной 0,15...0,30 мм. *Тесёмочными рулетками не пользуются при выполнении геодезических измерений.*

На полотне рулетки нанесены штрихи – деления через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре. В последнем случае все остальное полотно размечено сантиметровыми штрихами.

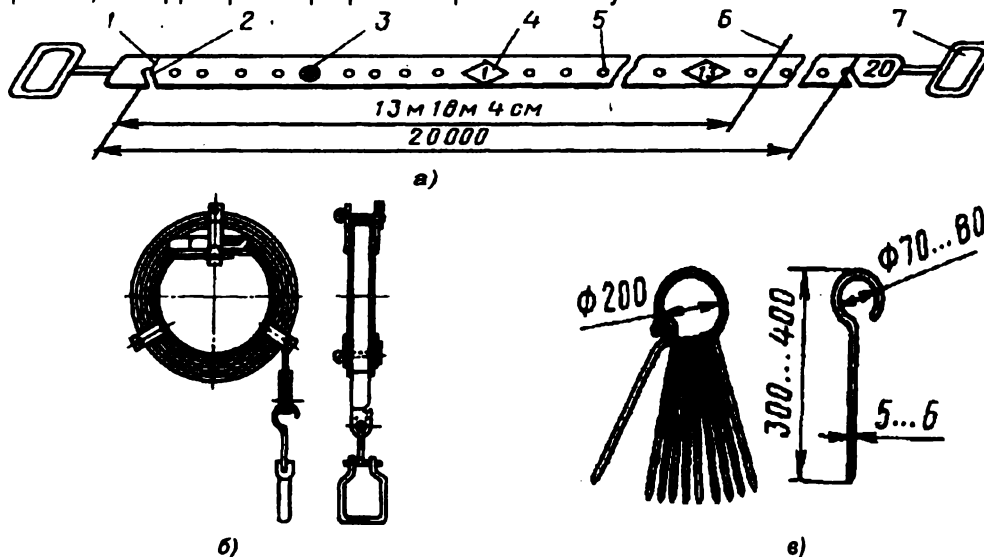
У рулеток с сантиметровыми делениям отсчёт берут до 0,1 деления, или до 1 мм, у рулеток с миллиметровыми делениями (рис. 3.1, а) – до 0,1 мм. Цифры у метровых делений даны с размерностью метров – буквой м. Стальные рулетки выпускают либо с полотном, намотанным на крестовину (вилку) (рис. 3.1, в) либо в футляре (рис. 3.1, б). Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине – желобковыми. Для транспортировки и хранения рулетки её наматывают на металлическое кольцо (вилку).



а – виды делений; б – карманная автоматически сматывающаяся; в – на вилке;
1 – футляр, 2 – полотно, 3 – Г-образные окончания для фиксации; 4, 5 – ручки, 6 – кольцо
Рисунок 3.1 – Стальные рулетки

Длинномерные рулетки типа РК (на крестовине) и РВ (на вилке) применяют в комплекте с приборами для натяжения – пружинными динамометрами обеспечивающими натяжение рулеткам до 100 Н (равное усилию 10 кг).

Землемерная лента ЛЗ (рис. 3.2) представляет собой стальную полосу длиной 20, 24, 30 и 50 м, шириной 20-30 мм и толщиной 0,5 мм. Для транспортировки и хранения ленту наматывают на металлическое кольцо.



а – при измерении; б – на кольце; в – набор шпилек на кольце;
1 – штрих, 2 – вырез, 3 – заклёпка (через 0,5 м), 4 – пластина (метровые деления), 5 – отверстие (через 0,1 м), 6 – линия, до которой выполнено измерение, 7 – ручка
Рисунок 3.2 – Землемерная лента

Землемерная шкаловая лента ЗЛШ имеет на концах шкалы с миллиметровыми делениями, длины отрезков со шкалами равны 10 см. Номинальной длиной ленты является расстояние между нулевыми штрихами шкал.

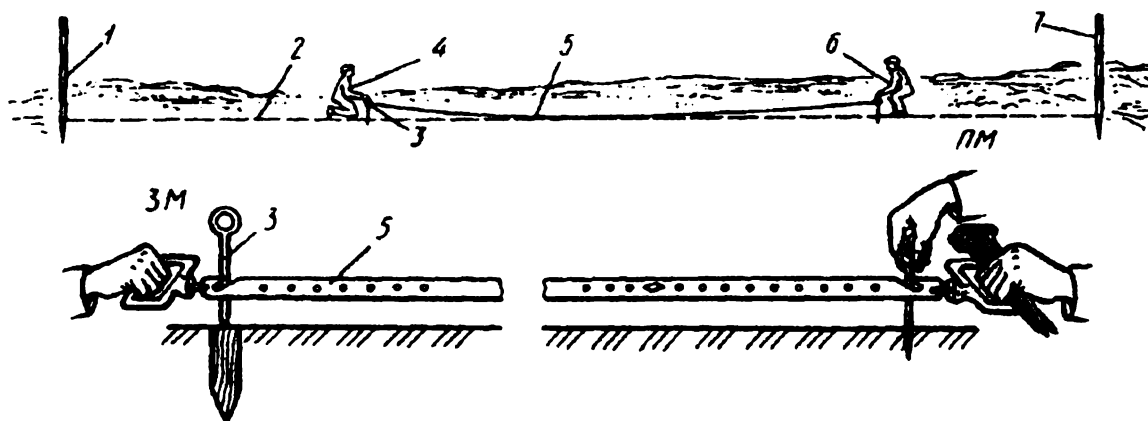
В комплекты ЛЗ и ЗЛШ входят наборы шпилек (от 6 до 11 штук) – металлических стержней с заостренными концами и кольцами-ручками (рис. 3.2,в). Для переноски шпильки надевают на проволочное кольцо.

Для некоторых видов точных измерений применяют специальные **инварные проволоки**. Инвар обладает малым коэффициентом линейного расширения в зависимости от температуры, повышенной твердостью и упругостью. На концах проволоки закреплены специальные шкалы-линейки с наименьшими делениями 1 мм. На остальной части проволоки маркировки длины нет. Поэтому проволоками измеряют расстояния, равные длине между штрихами (24 м), а расстояния, не кратные 24 м, измеряют инварными рулетками (точность отсчитывания 0,2 мм).

В практике применяют ряд других приборов и инструментов для непосредственного измерения линий: длинномеры (измерения аналогичны измерениям проволоками); нутромеры; катетометры – специальные приборы для измерения небольших (до 1 м) вертикальных отрезков с очень высокой точностью (0,006...0,050 мм); измерительные микроскопы.

Измерение линий состоит в том, что мерный прибор (ленту, рулетку) последовательно откладывают между начальной и конечной точками измеряемой линии (рис. 3.3). Измерение линии АВ выполняют два мерщика в прямом направлении («прямо»).

Для контроля линию измеряют второй раз («обратно»), за начало измерений принимают точку В, а за конечную – точку А.



1, 7 – вехи; 2 – створ измеряемой линии; 3 – шпилька; 5 – лента;
4, 6 – задний и передний мерщики

Рисунок 3.3 – Измерение линии с помощью землемерной ленты

Чтобы избежать грубых ошибок при измерении, выполняют следующие действия:

1. Подсчитывают, сколько шпилек у заднего и переднего мерщиков, чтобы удостовериться, что в сумме они составляют комплект.

2. Следят, чтобы при измерении остатка r отсчёт выполнялся от нулевого деления ленты.

3. При отсчитывании делений на середине ленты следят, чтобы лента не была перекручена, так как при этом можно спутать число целых метров. Например, вместо отсчета 9 м отсчитать 11 м.

4. Чтобы уменьшить погрешность измерения, ленту укладывают в створ измеряемой линии с помощью теодолита.

Измеренную 20-метровой лентой длину линии D вычисляют по формуле

$$D = 20(n-1) + r, \quad (3.1)$$

где n – число шпилек у заднего мерщика; r – остаток.

За окончательное значение принимают среднее арифметическое от измерений «прямо» и «обратно».

Измерения считают выполненными правильно, если расхождение результатов измерений «прямо» и «обратно» не превышает:

а) 1:3 000 от измеренной длины – при благоприятных условиях измерений (твердое покрытие);

б) 1:2 000 – при средних условиях измерений (ровная поверхность грунта);

в) 1:1 000 – при неблагоприятных условиях измерений (болотистая, кочковатая заросшая местность и т. п.).

Измерения линий рулетками производят аналогично. Однако фиксация концов измеренных отрезков при работе рулеткой может выполняться (вешкой, шпильками, гвоздем, остро отточенным карандашом на бетоне и т. п.).

Как правило, результат измерений линии отличается от действительного ее размера. В измеренную длину вводят поправки за компарирование; температуру.

Поправки за компарирование и температуру вычисляют по формулам

$$\Delta D_K = (\Delta l_K / l_0) \cdot D, \quad (3.2)$$

$$\Delta D_t = D \cdot \alpha(t - t_K), \quad (3.3)$$

где Δl_K – поправка в длину мерного прибора; l_0 – номинальная длина мерного прибора (например, 20 м); D – измеренное значение длины линии; α – коэффициент температурного расширения материала, из которого изготовлен мерный прибор (стали); t – температура во время измерения; t_K – температура компарирования.

Результаты измерений линий чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т. е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят обычно по поверхности рельефа или наклонной плоскости, поэтому в измеренные расстояния вводят поправку за наклон, её определяют по формуле

$$\Delta D_v = -2D \cdot \sin^2 \frac{v}{2} \approx -\frac{h^2}{2D}, \quad (3.4)$$

где v – угол наклона линии к горизонту, h – превышение (разность высот концов измеренной линии).

Измерение длин линий нитяным дальномером

Дальномерами называются геодезические приборы, с помощью которых расстояние между двумя точками измеряют косвенным способом. Дальномеры подразделяют на оптические и электронные. Оптические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом. Электронные дальномеры – на электронно-оптические (светодальномеры) и радиодальномеры.

Простейший оптический дальномер с постоянным углом – нитяной дальномер (рис. 3.4) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов.

В поле зрения трубы (рис. 3.4) прибора видны три горизонтальные нити. Две из них, расположенные симметрично относительно средней нити, называются *дальномерными*. Нитяной дальномер применяют в комплекте с шашечной нивелирной рейкой, разделенной на сантиметровые деления.

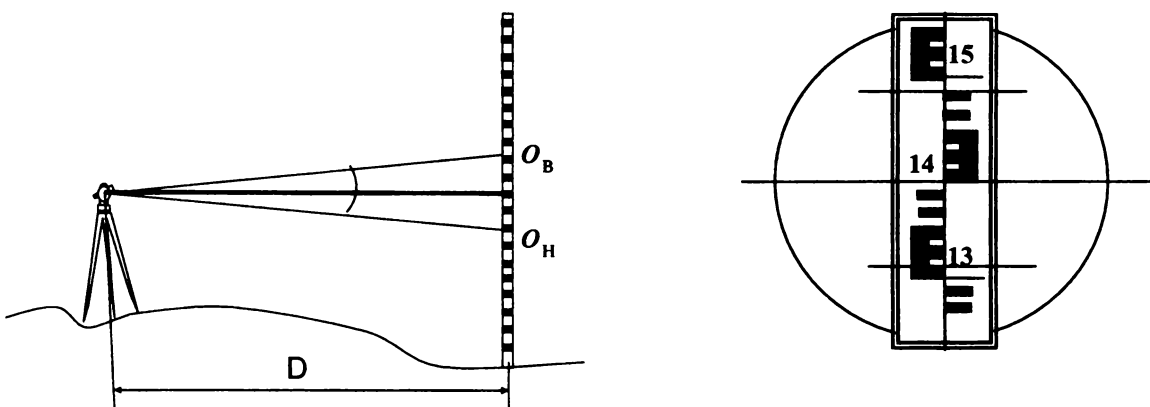


Рисунок 3.4 – Определение расстояний нитяным дальномером

Отсчеты по дальномерным нитям равны: 1490 и 1310.

Разность отсчетов составит $n = O_B - O_H = 1490 - 1310 = 180 \text{ мм}$.

Расстояние вычислим по формуле $D = K \cdot n = 100 \cdot 180 = 18000 \text{ мм} = 18,0 \text{ м}$,

где $K=100$ – коэффициент дальномера.

Точность измерений нитяным дальномером составляет в относительной мере 1:300 – 1:500. Очевидно, что такая точность линейных измерений допустима при топографической съемке нечетких контуров (границ лесов, болот и др.).

Светодальномерные измерения

В основе электронных средств линейных измерений (рис.3.5) лежит известное из физики соотношение между измеряемым расстоянием D , скоростью распространения электромагнитных колебаний v и временем распространения электромагнитных колебаний t от передатчика вдоль измеряемой линии и обратно к приёмнику.

Из-за особенностей излучения, приема и распространения радиоволн радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Светодальномеры же, использующие электромагнитные колебания светового диапазона, широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений. Для измерения расстояния AB (рис. 3.5) в точке A устанавливают светодальномер, а в точке B — призменный отражатель. Световой поток посылается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор.

Если измерить время прохождения световых волн от светодальномера до отражателя и обратно, при известной скорости распространения световых волн можно вычислить искомую длину линии по формуле

$$D = D_i + c = V \cdot \frac{t}{2} + c, \quad (3.5)$$

где c – постоянная дальномера, указанная в паспорте прибора.

Время распространения световых волн может быть определено как прямым, так и косвенным методом.

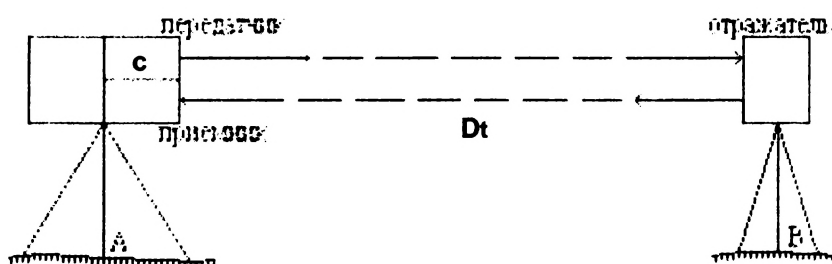
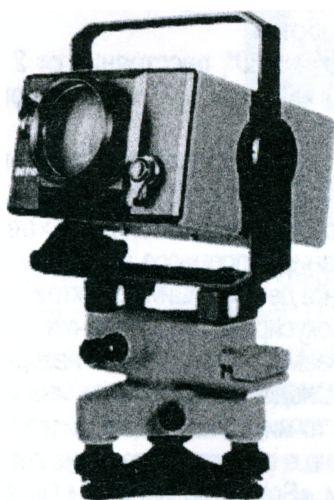


Рисунок 3.5 – Светодальномер 2СТ10, принцип измерения расстояния светодальномером

Прямое определение промежутка времени осуществляется в дальномерах, называемых импульсными. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового импульса по отношению к моменту его излучения. *Косвенное определение* времени прохождения световых волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называют фазовыми. С внедрением полупроводниковых лазерных источников излучения и цифровых методов измерения разности фаз появились импульсно-фазовые светодальномеры, в основе которых лежит фазовый метод измерения временного интервала при импульсном методе излучения. Примером импульсно-фазового может служить топографический светодальномер СТ5.

Улучшенным вариантом светодальномера СТ5 является светодальномер 2СТ10. Его технические характеристики: средняя квадратическая погрешность измерения расстояний $5 \text{ мм} + 3 \text{ мм/км}$; диапазон измерения $0,2 \text{ м} \dots 10 \text{ км}$; диапазон рабочих температур $+40^\circ\text{C} \dots -30^\circ\text{C}$; масса прибора – $4,5 \text{ кг}$. Управление процессом измерения обеспечивается встроенной микроЭВМ. Результаты измерения с учетом поправки за температуру воздуха и атмосферное давление высвечиваются на цифровом табло и могут быть введены в регистрирующее устройство. В приборе имеется звуковая сигнализация обнаружения отраженного от отражателя сигнала, готовности результата измерения и разряженности источника питания. В комплект входят отражатели, штативы, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, набор инструментов.

В инженерной геодезии применяют и высокоточные светодальномеры. Уральский оптико-механический завод выпускает светодальномеры «Топаз СП22» и СПОЗ (ДК001). Для маркшейдерских работ в шахтах используют светодальномер МСД-1М во взрывобезопасном исполнении.

Электронные тахеометры и лазерные дальномеры

При изысканиях и строительстве линейных сооружений широкое применение находят **электронные тахеометры**, объединяющие в себе электронный (кодовый) теодолит и светодальномер, микропроцессор и регистрирующее устройство (карту памяти).

Микропроцессор позволяет автоматизировать процесс измерения и управления прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

С помощью тахеометра можно измерять горизонтальные и вертикальные углы (зенитные расстояния); наклонные дальности и горизонтальные проложения, определять превышения и приращения координат между точками местности.

Геодезические задачи решаются с учетом поправок на кривизну Земли, рефракцию атмосферы, температуру и давление, разность высот штативов прибора и отражателя. Информация об угловых значениях выдается в гонах или в градусах. Датчик углов прибора – кодовый, накопительного типа. В комплект тахеометра входят отражатели, штативы, источники питания, разрядно-зарядное устройство, принадлежности для юстировки прибора и ухода за ним.

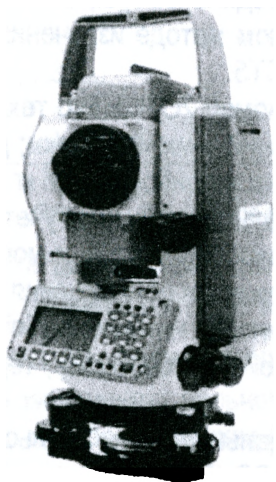
Электронные тахеометры предназначены для выполнения крупномасштабных топографических съемок при изысканиях; создания сетей планово-высотного обоснования и разбивочных сетей; автоматизированного решения различных инженерно-геодезических задач при помощи прикладных программ; при инвентаризации земель; для создания и обновления земельного, лесного и др. кадастров. Тахеометром можно производить измерения в полярных и прямоугольных системах координат. Помимо основного назначения, тахеометр может успешно использоваться при испытаниях конструкций сооружений и определении горизонтальных и вертикальных смещений объектов. Результаты измерений могут быть записаны в карту памяти и переданы в персональный компьютер для дальнейшей обработки.

Электронные тахеометры, различные по точности измерения углов от 0,5" до 20", расстояний от 2 до 10 мм и с внутренней памятью, размещающей результаты наблюдений до 10000 точек выпускают фирмы США, Германии, Швеции, Швейцарии, Японии, России, Китая и др.

В настоящее время изготавливают светодальномеры и электронные тахеометры с пассивным отражением, которые измеряют расстояния до предметов без призмического отражателя, т. е. используют отражательные свойства самих предметов. Такие приборы с успехом применяются при разбивочных работах в строительстве, при монтаже оборудования, контроле положения конструкций и оборудования в процессе эксплуатации, для обмера зданий и сооружений, измерений недоступных расстояний, мониторинга деформаций объектов.

В традиционных измерениях светодальномером призма используется для фокусировки и отражения лучей обратно к приемнику излучения на приборе. В безотражательном методе излучаемый тахеометром лазерный сигнал отражается от диффузной поверхности объекта во всех направлениях. Следовательно, величина вернувшегося сигнала в прибор становится меньше. Кроме того, нет точно заданной точки, до которой произведено измерение; результатом измерения является расстояние, которое было усреднено в области попадания лазерного луча. Электронные тахеометры фирмы «Leica» (Швейцария), «Topson» и «Sokkia» (Япония), «Trimble» (США) в безотражательном режиме могут измерять расстояния до бетонных и деревянных покрытий до 300 м; на коротких расстояниях с более высокой точностью (расстояния 30–80 м с погрешностью 2-3 мм). Например, тахеометр Trimble M3 (рис. 3.6) позволяет измерять расстояния с отражателем и без него.

Существуют роботизированные электронные тахеометры, например, «Геодиметр 640» фирмы «Геотроникс» (Швеция), который по заданной программе сам находит положение отражателей, измеряет расстояние до них, горизонтальные и вертикальные углы и вычисляет координаты каждого отражателя.



Технические характеристики:

- точность измерения углов - 5",
- точность измерения расстояний - 5 мм + 2 мм/км без отражателя, 3 мм + 2 мм/км по призме ;
- дальность: до 210 м без отражателя, 5000 м по одной призме
- двухосевой автоматический компенсатор $\pm 3'$,
- память 10000 строк данных;
- односторонний ЖК дисплей со светодиодной подсветкой;
- температурный режим: -20...+50°C;
- IP56; русифицирован.

Рисунок 3.6 – Электронный тахеометр Trimble M3

Лабораторная работа № 9. Измерение расстояний, площадей и объемов с помощью лазерной рулетки

Цель работы: изучить возможности малогабаритного лазерного дальномера и получить практические навыки работы с ним.

В настоящее время для быстрого и точного измерения коротких расстояний на строительных площадках, в помещениях используют **лазерные рулетки** (рис.3.7). Эти приборы с помощью видимого лазерного луча позволяют производить измерения без отражателя, что очень удобно для определения длины, ширины, высоты объектов внутри помещения, недоступных или опасных объектов. Прибор имеет встроенные устройства для вычисления периметра, площади и объема, а также для сложения и вычитания расстояний.

Например, лазерные дальномеры Laser DISTO фирмы «Leica» (Швейцария) – контактные безотражательные дальномеры, позволяющие измерять расстояния от 30 до 200 м. При изменении расстояний свыше 30 м применяется специальная отражающая пластина, позволяющая фокусировать отраженный сигнал и тем самым повысить точность измерения расстояния. Отражающая пластина (визирная мишень) может быть использована при измерении расстояний 40-50 м – серая сторона, на расстояниях до 100 м – коричневая сторона со специальным отражающим слоем.

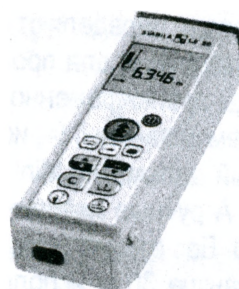
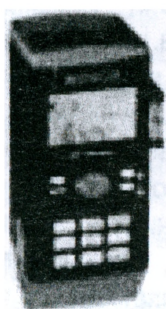


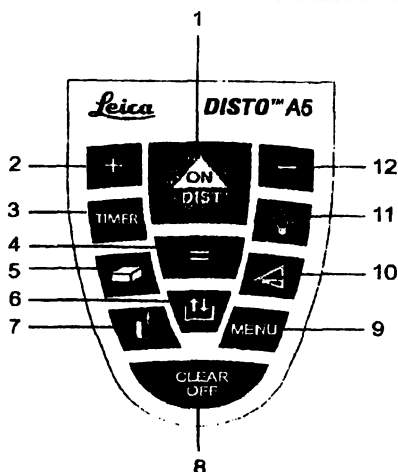
Рисунок 3.7 – Внешний вид лазерных рулеток

В настоящее время фирма Leica Geosystems производит следующие модификации лазерных дальномеров пятого поколения: DISTO lite 5, DISTO A5, DISTO plus 5, DISTO special 5, DISTO D5 (с видеовизиром и датчиком угла наклона).

Так, лазерный дальномер DISTO A5 позволяет производить замеры расстояний, площадей и объемов путем прямого выбора соответствующих режимов на клавиатуре. Прибор создает видимое лазерное пятно, имеет встроенный уровень, 2-х кратный оптический визир, специальную позиционную скобу для измерения расстояний из острых углов и от кромок, подсветку экрана, таймер для измерения с задержкой. DISTO A5 имеет набор дополнительных вычислительных функций и позволяет запоминать 20 последних результатов измерений и вычислений. Технология Power Range позволяет производить измерения расстояний до 100 м без использования визирной пластины с погрешностью ± 2 мм.

На рис. 3.8 показан пульт управления (клавиатура) лазерной рулеткой DISTO™A5 фирмы Leica.

Технические характеристики: дальность измерений 0,05 ... 200м;
точность измерения $\pm(1,5$ мм ... 2мм).



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

Рисунок 3.8 – Клавиатура лазерной рулетки DITO™A5

Прибор оснащен оптическим визиром, который размещен на его правой стороне. Визир особенно полезен при измерении расстояний до отдаленных объектов. Функция (MENU) позволяет выбрать различные установки прибора, которые сохраняются в его памяти после выключения прибора. Для выбора операции нажимают клавишу MENU несколько раз. Выбор операции подтверждают клавишей [=]. Дальнейшее изменение выбранной операции осуществляется кнопкой [+] или [-] и подтверждается клавишей [=].

При измерении расстояний нажимают клавишу DIST, включая этим лазер. Лазер направляют на объект, расстояние до которого необходимо измерить, снова нажимают клавишу DIST. Измеренное расстояние высвечивается на дисплее. Прибор позволяет определить максимальные и минимальные расстояния до объекта справа и слева от центра; площадь, объём и т.д.

Клавиша TIMER предназначена для задержки измерений. Её нажимают и удерживают до требуемого времени задержки (5-60 сек), далее нажимают клавишу DIST. На дисплее будет высвечиваться время (в секундах) до начала измерения. Отсчёт последних 5 секунд сопровождается звуковым сигналом. При последнем сигнале произойдёт измерение.

Для измерения площади нажимают клавишу 5 до появления на дисплее знака «□». Далее измеряют длину и ширину, оставляя лазерный луч включённым. После второго измерения все результаты измерений высвечиваются на дисплее снизу вверх.

Подобным же образом определяют объём после высвечивания знака «» нажатием клавиши 5.

Клавиша 6 предназначена для просмотра 20 значений измерений в обратном порядке. Для этого её нужно нажать дважды кратковременно, используя клавишу «плюс» или «минус» просматривают содержание памяти, нажатием клавиши 4 [=] используют выбранный результат для дальнейших вычислений.

Безотражательный дальномер Mini Meter 100 фирмы Sokkia (Япония) предназначен для установки на теодолиты 2Т и 3Т. А ручные лазерные дальномеры MM30 и MM30R обеспечивают автоматическое измерение расстояний. Без отражателя прибор применяется для измерения расстояний до 30 м, для измерения расстояний свыше 30 м используют отражающую марку MRT1, входящую в комплект. При этом дальность действия возрастает до 100 м. Точность измерений составляет $\pm 3 \dots 8$ мм. Для устойчивости MM30 может быть установлен на обычный или фотографический штатив. Эти приборы применяются для измерений как внутри помещений, так и снаружи.

Используется также американский ручной лазерный дальномер Trimble HD150, диапазон измерения расстояний составляет от 0,3 м до 150 м. Точность измерения находится в пределах ± 2 мм при измерениях расстояний до 30 м и ± 3 мм при расстояниях свыше 30 м. Дальномер позволяет делать до 30 000 измерений.

Применение лазерных рулеток эффективно также при выполнении обмеров зданий в процессе эксплуатации, при измерении небольших участков при инвентаризации земель, для рекогносцировок и предварительных привязок, других геодезических работ для целей землеустройства и земельного кадастра.

Измерение недоступных расстояний

Длины линий, которые нельзя измерить непосредственно мерной лентой или рулеткой (овраги, реки, насыпи и части строений), можно определить косвенным путем (рис.3.9). Например, при обмерах зданий, когда верхние части фасадов и интерьеров труднодоступны для непосредственных измерений, целесообразно строить различные геометрические схемы, чтобы заменить линейные измерения угловыми или их комбинациями и получить искомое значение расстояния аналитически.

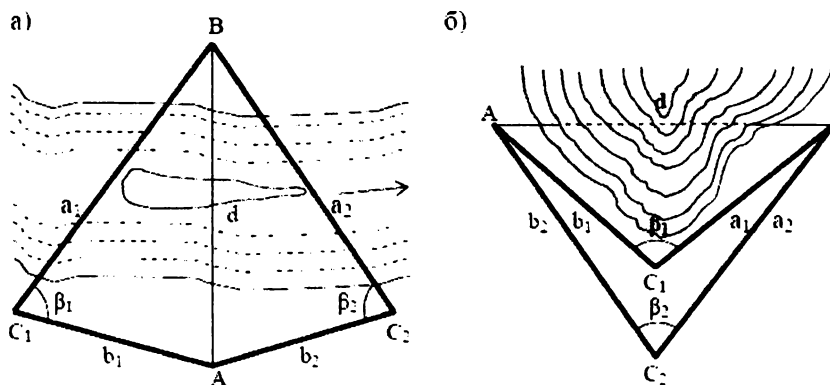


Рисунок 3.9 – Определение недоступных расстояний

Наиболее распространенный способ – разбивка на местности двух треугольников, в которых измеряют углы, а также стороны (базисы) с относительной погрешностью не более $1/2000$. Тогда недоступное расстояние можно вычислить по теореме синусов (рис.3.9,а) или косинусов (рис.3.9,б).

Точность определения неприступных расстояний во многом зависит от формы треугольника. Наилучшим считается равносторонний треугольник.

Для повышения точности и исключения грубых погрешностей длину неприступной линии рекомендуется определять из двух треугольников. Расхождение в длине недоступного расстояния, вычисленного из двух треугольников, не должно превышать $1/2000$ величины этого расстояния.

Контрольные вопросы по разделу «линейные измерения»

1. Какие приборы применяют для измерения линий?
2. Перечислите мерные приборы.
3. Каков порядок измерения длины линии мерной лентой?
4. Какова точность определения расстояний мерными приборами?
5. Какие способы косвенного определения расстояний Вам известны?
6. Что такое нитяной дальномер?
7. Какова точность определения расстояний по нитяному дальномеру?
8. В чем сущность измерения расстояний светодальномерами?
9. Каковы возможности лазерных рулеток?
10. Что такое безотражательный режим?
11. Из каких частей состоит электронный тахеометр?
12. В чем состоят преимущества электронного тахеометра?
13. От чего зависит точность измерения расстояний светодальномером, лазерной рулеткой и электронным тахеометром?
14. Как определяют недоступные расстояния?

Литература

1. Зеленский, А.М. Инженерная геодезия (курс лекций) / А.М. Зеленский, Г.В. Фолитар. – Брест: БрГТУ, 2007.
2. Инженерная геодезия для вузов / Под ред. Д.Ш. Михелева – М.: Академия, 2006.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.– М.: Недра, 1990.
4. Нестеренок, М.С. Геодезия / М.С. Нестеренок, В.Ф. Нестеренок, А.С. Позняк. – Минск, Университетское, 2001.
5. Перфилов, В.Ф. Геодезия / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогарева, Н.В. Усова. – М.: Высшая школа, 2006.
6. Современные электронные геодезические приборы: Информ. обзор / Сост. Д.А.Чиж, С.И. Помелов. – Мн.: БелНИЦзем, 2005.
7. Хаметов, Т.И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений. – М.: Издательство АСВ, 2002.
8. Черкас, Л.А. Инженерная геодезия (лабораторный практикум) / Л.А. Черкас, Л.Ф. Зуева. – Гродно, ГрГУ, 2011.

Учебное издание

Составители:

*Зуева Людмила Фёдоровна
Кандыбо Светлана Николаевна
Синякина Наталья Васильевна*

Лабораторный практикум

«Геодезические измерения»

для студентов строительных специальностей

Ответственный за выпуск: Зуева Л.Ф.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Стереотипное издание.

Подписано к печати 20.12.2012 г. Формат 60x84 1/8. Бумага «Снегурочка».

Усл. п. л. 5,11. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 150 экз. Заказ № 700.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.