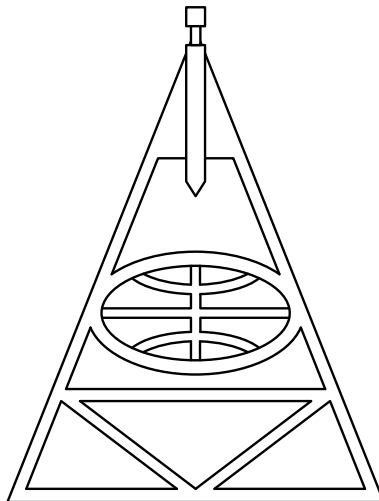


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра городского кадастра и геодезии



ГЕОДЕЗИЯ

Измерение углов теодолитом

*Методические указания по изучению курса и
для выполнения лабораторных работ*

Вологда
2016

Геодезия. Измерение углов теодолитом: методические указания по изучению курса и для выполнения лабораторных работ. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 35 с.

Методические указания предназначены для студентов всех направлений и специальностей, изучающих дисциплины "Геодезия", "Инженерная геодезия", для выполнения лабораторных работ и учебной геодезической практики. Содержат общие сведения о теодолитах, порядок выполнения проверок, способы измерения углов и решения некоторых инженерно-геодезических задач.

Составлено на основе изданных в 2009 году методических указаний "Измерение углов теодолитом" авторов Румянцевой Е.М. и Суворовой Н.Н..

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: Попов Ю.П., старший преподаватель,
Суворова Н.Н., старший преподаватель

Рецензент: Михалевич Н.В., доцент кафедры ПГС, ВоГУ

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕОДОЛИТАХ	4
2. ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ТЕОДОЛИТОМ	5
3. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ.....	6
3.1. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ТЕОДОЛИТА.....	6
3.2. ОТСЧЁТНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	8
3.3. УСТРОЙСТВО ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ.....	9
3.4. УСТРОЙСТВО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО УРОВНЯ.....	10
4. ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТА	10
4.1. ПОВЕРКА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТИ ОСИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО УРОВНЯ НА АЛИДАДЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГА К ОСНОВНОЙ ОСИ ТЕОДОЛИТА (ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ 1).....	12
4.2. ПОВЕРКА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТИ ВИЗИРНОЙ ОСИ К ОСИ ВРАЩЕНИЯ ТРУБЫ (ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ 2).....	13
4.3. ПОВЕРКА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ТРУБЫ К ОСНОВНОЙ ОСИ ТЕОДОЛИТА (ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ 3).....	14
4.4. ПОВЕРКА ПОЛОЖЕНИЯ СЕТКИ НИТЕЙ (ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ 4).....	16
5. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ	17
6. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ	19
6.1. СПОСОБ ПРИЁМОВ.....	19
6.2. СПОСОБ "ОТ НУЛЯ" (СОВМЕЩЕНИЯ НУЛЕЙ ЛИМБА И АЛИДАДЫ).....	21
6.3. СПОСОБ КРУГОВЫХ ПРИЁМОВ	22
6.4. СПОСОБ ПОВТОРЕНИЙ.....	23
7. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ.....	24
7.1. ПОВЕРКА ВЕРТИКАЛЬНОГО КРУГА ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕОДОЛИТА.....	26
8. ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО АЗИМУТА	26
9. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ НИТЯНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ	27
10. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ.....	28
10.1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КРЕНОМ СООРУЖЕНИЙ	28
10.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА	30
10.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СООРУЖЕНИЯ	32
11. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	35

Общие сведения о теодолитах

Угловые измерения являются одним из основных элементов при производстве геодезических работ: измерение углов на местности производится при создании плановых и высотных съёмочных сетей, топографических съёмках, в процессе изысканий линейных сооружений, при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, кадастровых съёмках, обмерах памятников архитектуры и т. д. Измерения в основном выполняются теодолитом и тахеометром.

Теодолит [гр. *theaomí* рассматриваю + *dolichos* длинный] – геодезический инструмент для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов.

Тахеометр [гр. *tachys (tacheos)* быстрый, скорый + ...метр] – геодезический инструмент, разновидность теодолита, снабженный дальномером.

С помощью теодолита можно измерить, а также построить на местности горизонтальные и вертикальные углы, определить магнитный азимут направления, расстояния. Теодолитом с уровнем на зрительной трубе можно выполнять геометрическое нивелирование.

В нашей стране маркировка теодолитов осуществляется по государственному стандарту (ГОСТ), например 4Т15КП:

4 – обозначает модификацию прибора;

Т – теодолит;

15 – средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом 15";

К – наличие компенсатора;

П – прямое изображение в зрительной трубе.

ГОСТ делит теодолиты на четыре группы:

- ▶ первая – высокоточные, $m_{\beta} < 1''$ (Т1);
- ▶ вторая – точные, $1'' < m_{\beta} < 3''$ (Т2);
- ▶ третья – средней точности, $3'' < m_{\beta} < 10''$ (Т5);
- ▶ четвертая – технические, $m_{\beta} > 10''$.

По устройству теодолиты подразделяют на электронные и оптические (оптические в свою очередь подразделяют на повторительные и с поворотным кругом). Теодолиты с повторительной системой осей имеют зажимной и наводящий винты лимба горизонтального круга. Это характерно для теодолитов технической точности.

Основные характеристики некоторых теодолитов, широко применяемых в инженерно-геодезических работах, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Теодолиты		Точность измерения угла (сек.)	Увеличение зрительной трубы (крат)	Особенности
Оптические	ЗТ5КП (Россия)	5	30	Электроосвещение шкал, с оптическим центриром
	4Т15КП (Россия)	15	30	Прямое изображение, оптический компенсатор, оптический центрир
	Т30 (Россия)	30	20	Повторительный, обратное изображение, штриховой микроскоп
	2Т30П (Россия)	30	20	Прямое изображение
	ЗТ30П (Россия)	30	20	Высокопроизводительный, многофункциональный, работает при t° от $+50^{\circ}$ до -40°C , штриховой микроскоп
	4Т30П (Россия)	30	20	Специальный винт для перестановки лимба
Электронные	DT 500F SOKKIA (Япония)	5	30	Односторонний дисплей
	DT 600 SOKKIA (Япония)	7	26	Односторонний дисплей
	VeGa TED – 20 (Россия)	20	30	Прямое изображение, рабочая температура от -20° до $+50^{\circ}\text{C}$

2. Правила обращения с теодолитом

Теодолит является сложным и точным измерительным прибором и требует бережного обращения и тщательного ухода.

Прежде чем выполнять какое-либо действие с прибором, необходимо изучить устройство основных частей теодолита.

Качество измерений во многом зависит от состояния прибора, поэтому при работе с теодолитом следует строго соблюдать следующие правила:

1. Штатив устанавливают над точкой так, чтобы его высота соответствовала росту наблюдателя, а столик (головка) штатива был в положении, близком к горизонтальному. После этого на столик штатива ставят теодолит и закрепляют его станковым винтом. Нельзя оставлять теодолит не прикрепленным станковым винтом даже на короткий промежуток времени. Закрепление станковым винтом должно быть таким, чтобы подъёмные винты вращались без особых усилий. При переносе теодолита с одной станции измерений на другую инструмент остается прикрепленным к штативу. Переносить теодолит на штативе следует только в вертикальном положении.

2. Необходимо следить за тем, чтобы подъёмные винты, а также наводящие винты работали своей средней частью. Поэтому не следует допускать ввинчивания или вывинчивания этих винтов до упора.

3. Движение наводящих винтов следует заканчивать ввинчиванием, а не вывинчиванием.

4. Незакреплённая зрительная труба и круги теодолита должны вращаться легко (без усилий). Во время работы с прибором не следует допускать прикосновения к оптическим деталям зрительной трубы и оптического микроскопа.

5. Освещённость поля зрения микроскопа должна быть достаточной, но не излишней. Освещённость регулируют поворотом и наклоном зеркала подсветки. Окуляр отсчётного микроскопа должен быть тщательно установлен по глазу до резкой видимости отсчётного индекса или шкалы.

3. Устройство теодолитов технической точности

3.1. Основные части теодолита

Каждый теодолит независимо от сложности его устройства или вида имеет: градуированный горизонтальный круг (*лимб*), *алидаду* горизонтального круга с *цилиндрическим уровнем*, *подъёмные винты*, *зажимные* и *наводящие винты*, *зрительную трубу* на подставках (колонках), *вертикальный круг*.

Дополнительно к теодолиту прилагают: штатив, накладной уровень, ориентир-буссоль, отвес, бленду, окулярную насадку, линзовую насадку на объектив, электроосвещение отсчётных шкал.

Теодолит имеет два угломерных круга: горизонтальный и вертикальный. Круги сделаны из оптического стекла и закрыты металлическим кожухом (рис. 1, а, части 3 и 6). Круги имеют равномерную мерительную угловую шкалу в виде штрихов, которая называется лимбом.

По лимбу отсчитываются величины измеряемых углов. Лимб горизонтального круга оцифрован по ходу часовой стрелки от 0 до 360° через 1°. Алидада горизонтального круга имеет элементы отсчётного устройства и две колонки, несущие ось вращения зрительной трубы с вертикальным кругом. Ось алидады совпадает с осью лимба горизонтального круга. На защитном корпусе алидады укреплен цилиндрический уровень.

Оцифровка вертикального круга у разных марок теодолитов различна. Вертикальный круг теодолита Т30 оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 360°. Поскольку лимб вертикального круга теодолита жёстко скреплён со зрительной трубой, диаметр 0-180° располагается параллельно визирной оси трубы. Нулевой отсчёт по вертикальному кругу с учётом места нуля соответствует горизонтальному положению зрительной трубы. Теодолит 4Т30П (2Т30П и др.) имеет секторную положительную (от 0° до 75°) и отрицательную (от 0° до – 75°) оцифровку.

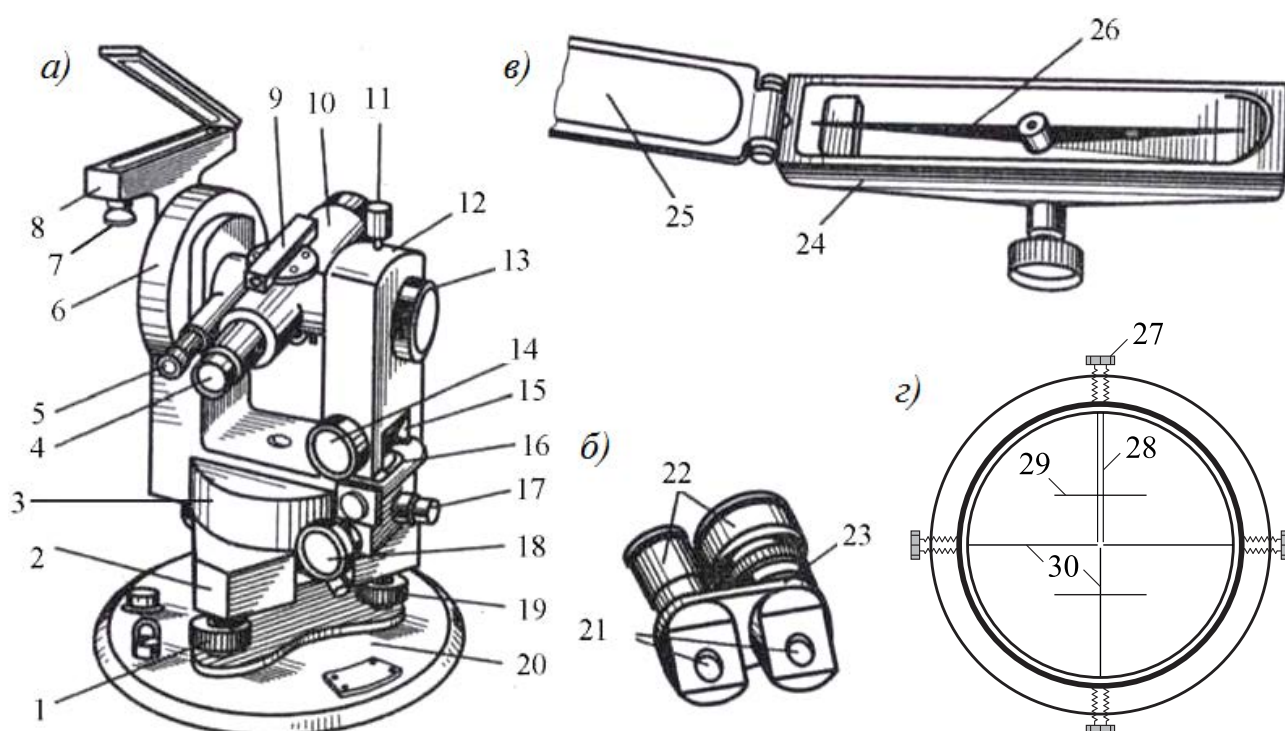


Рис. 1. Теодолит 2Т30:

а) внешний вид:	1 – подъёмный винт; 2 – подставка; 3 – горизонтальный круг; 4 – окуляр зрительной трубы; 5 – окуляр отсчётного микроскопа; 6 – вертикальный круг; 7 – зажимной винт стрелки буссоли; 8 – ориентир-буссоль; 9 – визир; 10 – зрительная труба; 11 – зажимной винт трубы; 12 – колонка; 13 – кремальера; 14 – наводящий винт зрительной трубы; 15 – юстировочный винт уровня; 16 – уровень; 17 – зажимной винт алидады горизонтального круга; 18 – наводящий винт алидады; 19 – зажимной винт лимба горизонтального круга; 20 – основание;
б) окулярная насадка:	21, 22 – призмы; 23 – обойма;
в) ориентир-буссоль:	24 – корпус; 25 – зеркало; 26 – магнитная стрелка;
г) сетка нитей:	27 – юстировочные винты; 28 – биссектор; 29 – дальномерные штрихи; 30 – основные штрихи

Теодолиты выпусков последних лет снабжены компенсаторами – специальными устройствами, приводящими в горизонтальное положение нулевой индекс алидады вертикального круга.

При работе теодолитом сокращенно именуют положение вертикального круга относительно зрительной трубы со стороны окуляра, а именно:

КП – положение вертикального круга справа;

КЛ – положение вертикального круга слева.

Для установки теодолита на местности применяют раздвижные штативы: деревянные или металлические. Для работы с техническими теодолитами типа Т30 используют более легкие металлические штативы.

3.2. Отсчётные устройства

Отсчётные устройства предназначены для считывания отсчётов по лимбам. Изображения отсчётных шкал кругов передаются в поле зрения отсчётного микроскопа с помощью системы преломляющих линз. Резкость изображения регулируется вращением кольца отсчётного микроскопа. Освещение кругов осуществляется световым лучом, отражаемым зеркалом подсветки.

Различают штриховые и шкаловые микроскопы. В штриховом микроскопе отсчёты по кругам определяют по положению *штриха* относительно делений лимбов (рис. 2, а), цена делений которых равна $10'$, поэтому отсчёты делают с точностью $1'$, оценивая десятые доли деления лимба на глаз. Шкаловый микроскоп имеет две отсчётные шкалы, изображение которых совмещается с изображением лимбов вертикального и горизонтального кругов. Длина шкалы (расстояние между крайними оцифрованными штрихами) равна градусному делению.

Шкалы имеют: 60 делений – цена деления $1'$ (Т15; Т15);

12 делений – цена деления $5'$ (2Т30П; 4Т30П).

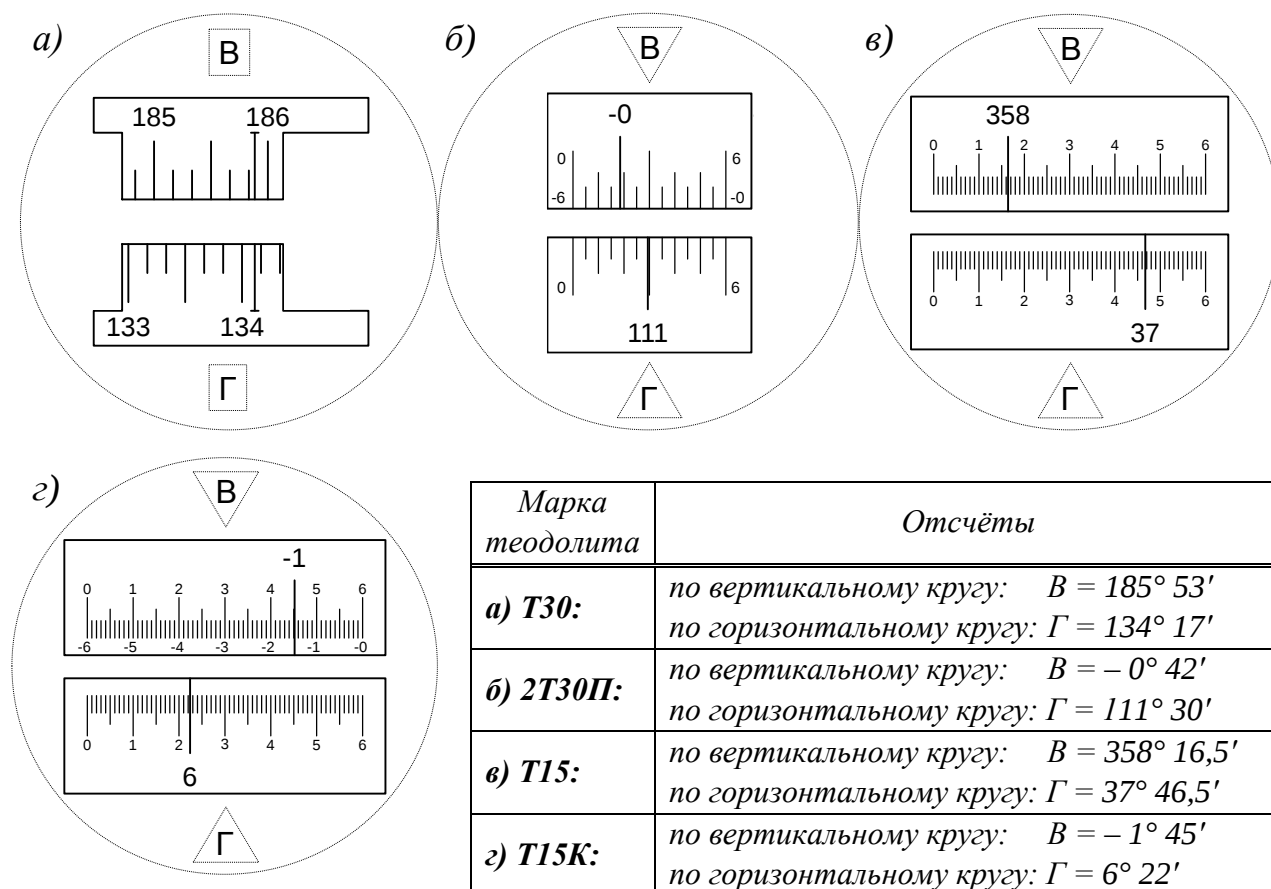


Рис. 2. Поля зрения штрихового и шкалового микроскопов теодолитов

Шкаловые отсчётные устройства вертикальных кругов теодолитов 2Т30П, 4Т30П, Т15К, 4Т15К имеют две части: без знака минус (для положительных углов наклона) и со знаком минус (для отрицательных углов наклона). Если в поле зрения микроскопа перед цифрами градусов стоит минус, то и считывание минут ведут по шкале от -0 до -6 (справа налево) (рис. 2, б). При положительном значении градусов считывание ведут по шкале от 0 до 6 (слева направо).

3.3. Устройство зрительной трубы

Зрительная труба (рис. 3) современного теодолита имеет внутреннюю фокусировку. Она состоит из оптических частей: объектив, фокусирующая линза, сетка нитей.

Поле зрения трубы называют пространство, видимое в трубу при неподвижном её положении (чем выше точность теодолита, тем меньше поле зрения). Прямая, соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей, называется *визирной осью* трубы. *Оптической осью* зрительной трубы называется прямая, соединяющая оптические центры объектива и окуляра. В исправленных теодолитах они совпадают.

В окулярной части зрительной трубы помещается стеклянная пластина с нанесённой на ней сеткой нитей (рис. 1, г). Чтобы отчётливо видеть сетку нитей, направляют зрительную трубу на освещённый светлый предмет (небо, стена, лист бумаги и т. п.), затем, вращая диоптрийное кольцо (6), замечают и выбирают наиболее отчётливое и ясное изображение сетки нитей. И эта установка трубы "по глазу" наблюдателя делается один раз на всё время наблюдений.

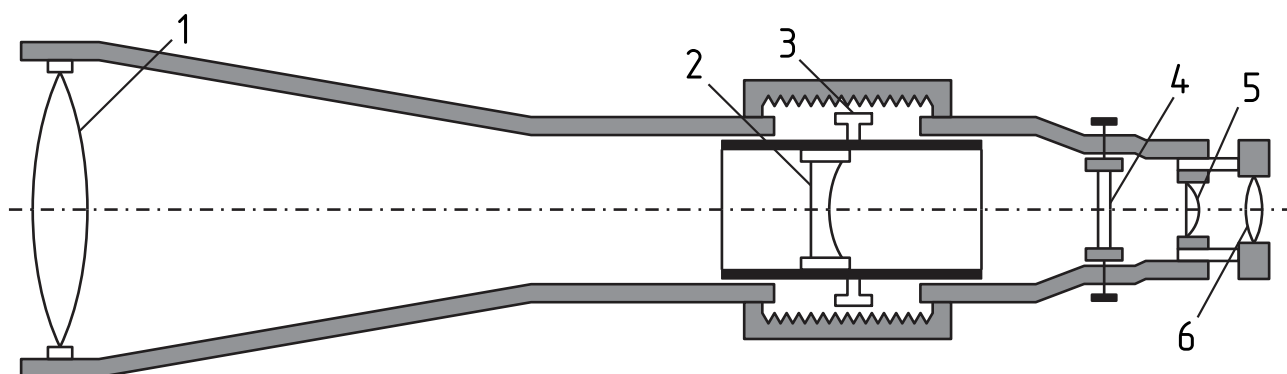


Рис. 3. Зрительная труба (разрез):

1 – объектив; 2 – фокусирующая линза; 3 – кремальера;
4 – сетка нитей; 5 – окуляр; 6 – диоптрийное кольцо;

После установки трубы "по глазу" наводят трубу на наблюдаемый предмет и вращают кремальеру (3), перемещают фокусирующую линзу (2) внутри

корпуса трубы до появления в поле зрения отчетливого изображения предмета. Так выполняется установка зрительной трубы "по предмету".

Наведение зрительной трубы на предмет начинают с совмещения креста визира с визирной целью (визирная цель должна появиться в поле зрения трубы). После попадания в поле зрения трубы визирной цели фиксируют направление, закрепляя зажимные винты алидады и трубы. Вращением фокусирующей кремальеры добиваются резкого изображения визирной цели. Наводящими винтами алидады и трубы совмещают центр сетки с изображением визирной цели.

3.4. Устройство цилиндрического уровня

Уровень состоит из заключенной в металлическую оправу, запаянной стеклянной ампулы цилиндрической формы, наполненной спиртом или серным эфиром (рис. 4).

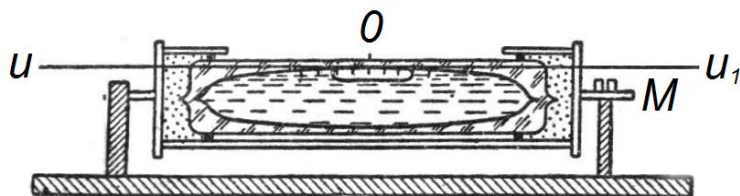


Рис. 4. Цилиндрический уровень

Часть пространства, заполненную парами этой жидкости называют пузырьком уровня. Внутренняя поверхность верхней части ампулы имеет строго сферическую форму. На верхней наружной её поверхности нанесена шкала с делениями. Середину шкалы называют *нуль-пунктом*. Ось цилиндрического уровня UU_1 – это касательная к сферической поверхности в нуль-пункте. При положении пузырька в нуль-пункте ось цилиндрического уровня горизонтальна. По уровню при алидаде горизонтального круга устанавливают основную ось теодолита в отвесное положение с помощью трёх подъёмных винтов. Наличие уровня на алидаде вертикального круга позволяет устанавливать её начальные штрихи горизонтально. В теодолитах, в маркировке которых индекс K , роль уровня выполняет оптический компенсатор.

4. Поверки теодолита

Геометрические условия, которым должно удовлетворять взаимное расположение частей теодолита, вытекают из того, что для непосредственного измерения теодолитом горизонтального угла плоскость внутренних краёв делений лимба должна быть горизонтальной, коллимационная плоскость зри-

тельной трубы – вертикальной, а центр лимба должен быть установлен на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла.

<i>Оси теодолита:</i>
UU_1 – ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга
WW_1 – визирная ось
HH_1 – ось вращения зрительной трубы
ZZ_1 – основная ось инструмента

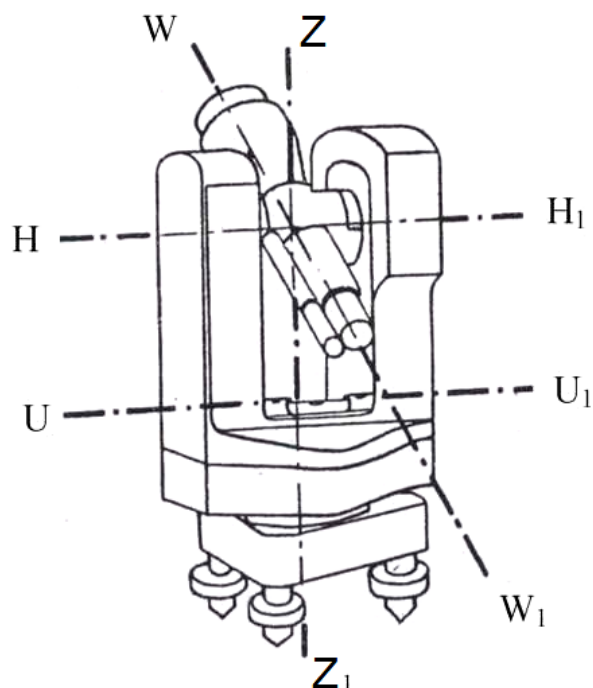


Рис. 5. Схема относительного расположения осей теодолита

Геометрические условия расположения осей теодолита:

1. Ось цилиндрического уровня UU_1 алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к основной оси инструмента ZZ_1 (рис. 5).
2. Визирная ось WW_1 должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы HH_1 .
3. Ось вращения HH_1 зрительной трубы должна быть перпендикулярна к основной оси инструмента ZZ_1 .
4. Вертикальная нить сетки нитей должна находиться в коллимационной плоскости трубы.

Дополнительные геометрические условия вытекают из теории измерения вертикальных углов.

Для выяснения, соответствует ли теодолит заданным условиям, проводят проверки. Перед этим основную ось теодолита ZZ_1 приводят в отвесное положение с помощью трех подъёмных винтов и цилиндрического уровня. Для достижения этого условия вращением двух подъёмных винтов, по направлению которых установлен уровень, приводят пузырёк в нуль-пункт. Вращением алидады горизонтального круга на 90° устанавливают уровень в направлении третьего подъёмного винта и, действуя им, вновь приводят пузырёк в нуль-пункт.

Проверки выполняют при закреплённом лимбе. При несоблюдении соответствующих требований теодолит регулируют исправительными винтами.

4.1. Проверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга к основной оси теодолита (геометрическое условие 1)

При измерении горизонтального угла основная ось ZZ_1 инструмента должна быть установлена в отвесном положении (рис. 5), т. е. инструмент должен быть *нивелирован*. Такая установка оси ZZ_1 осуществляется при помощи подъёмных винтов и уровня на алидаде горизонтального круга. При этом необходимо, чтобы ось UU_1 цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга была перпендикулярна к основной оси вращения теодолита.

Проверка этого условия выполняется в следующем порядке:

а) вращением алидады устанавливают проверяемый уровень по направлению, приблизительно параллельному линии, проходящей через два подъёмных винта (рис. 6, а);

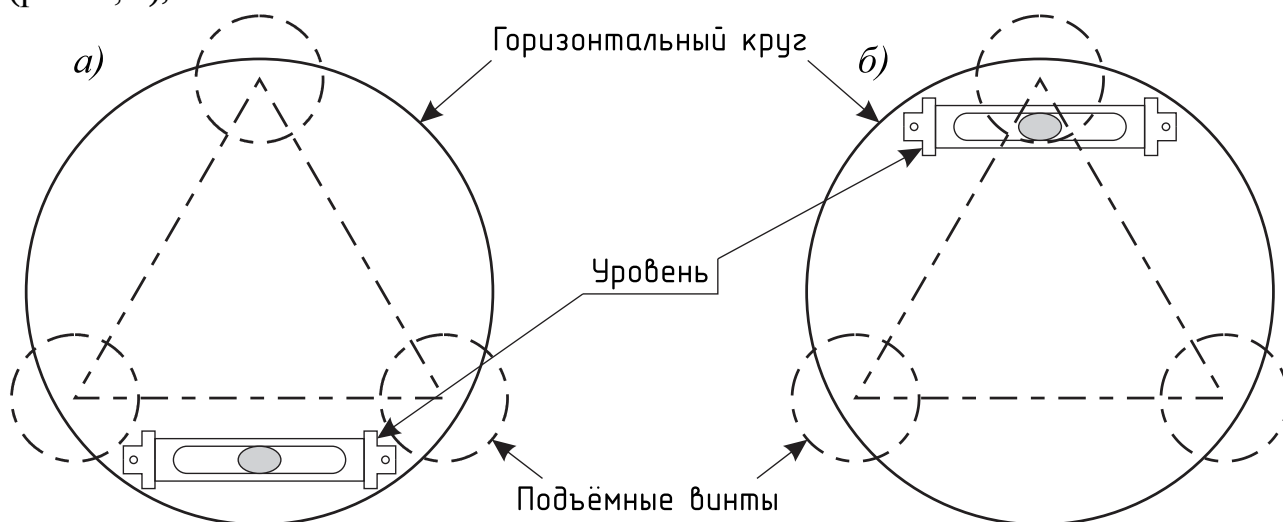


Рис. 6. Проверка уровня алидады горизонтального круга

б) вращая эти два винта в противоположных направлениях, приводят пузырёк уровня на середину ампулы (в нуль-пункт);

в) поворачивают алидаду на 180° (рис. 6, б). Если пузырёк проверяемого уровня отклонится от нуль-пункта, то с помощью исправительного винта М (рис. 4) уровня перемещают пузырёк по направлению к нуль-пункту на половину отклонения: тем самым ось цилиндрического уровня будет приведена в положение, перпендикулярное к оси вращения инструмента.

Для приведения оси вращения теодолита в отвесное положение перемещают пузырёк уровня точно в нуль-пункт, пользуясь теми подъёмными винтами, по направлению которых установлен уровень.

После этого поверку повторяют, повернув алидаду на 180° ; пузырёк уровня должен оставаться в нуль-пункте, либо отклоняться от него не более чем на *одно* деление. Если этого не произошло, то опять перемещают пузырёк уровня на половину отклонения с помощью исправительного винта и устанавливают его в нуль-пункте вращением подъёмных винтов.

4.2. Поверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы (геометрическое условие 2)

При соблюдении этого условия визирная ось трубы образует *коллимационную плоскость* PP_1 , перпендикулярную к оси вращения трубы NN_1 (рис. 7).

Если данное условие не выполнено, то визирная ось при вращении трубы образует с плоскостью PP_1 угол c , называемый *коллимационной ошибкой*.

Определение коллимационной ошибки выполняют в следующей последовательности:

а) при круге справа наводят трубу центральным перекрестием сетки на чётко видимую точку, расположенную на высоте инструмента (если для этой цели выбирают точку, расположенную на значительном удалении, то при таком выборе эта точка всегда будет близка к горизонту инструмента, а зрительная труба при этой поверке будет занимать примерно горизонтальное положение);

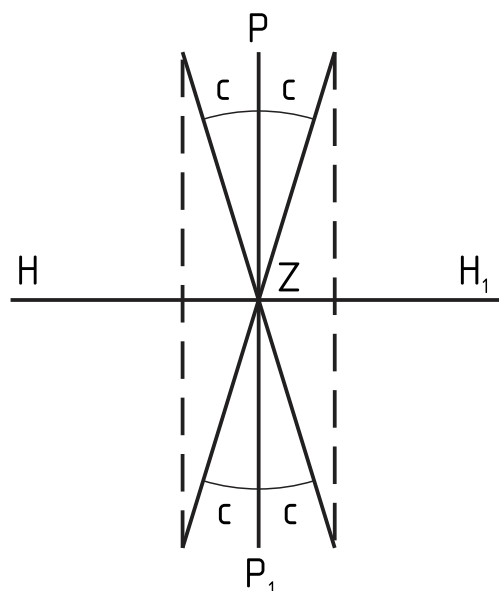


Рис. 7. Поверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы

б) производят отсчёт по горизонтальному кругу (**КП**);

в) переводят трубу через зенит и, отпустив зажимной винт алидады, вращением её вновь наводят трубу при круге слева (**КЛ**) на ту же точку;

г) производят отсчёт по горизонтальному кругу.

Вычисляют коллимационную ошибку:

$$c = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2}.$$

Однако описанные действия по определению коллимационной ошибки не имеют необходимого контроля, так как из выполненных наблюдений получено лишь одно значение коллимационной ошибки.

Поэтому для контроля определения c наблюдение выполняют второй раз на других частях лимба или наблюдение выполняют на две точки. Записи и вычисления ведут по образцу, приведенному в таблице 2.

Определение коллимационной ошибки и её исправление

№ точки	Отсчёты по горизонтальному кругу		Разность $2c = \text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ$
	КП	КЛ	
До исправления			
P ₁	0° 22′	180° 20′	– 2′
P ₂	180° 24′	0° 20′	– 4′
После исправления			
P ₂	180° 22′	0° 21′	– 1′
P ₁	0° 20′	181° 21′	+ 1′

Если величина c окажется больше двойной точности теодолита, то следует исправить положение визирной оси.

Для исправления коллимационной ошибки вычисляют среднее значение из отсчётов при двух положениях круга во втором приёме или при визировании на вторую точку, например,

$$E = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} + 180^\circ}{2} = \frac{180^\circ 24' + 0^\circ 20' + 180^\circ}{2} = 0^\circ 22',$$

которое свободно от коллимационной ошибки, и устанавливают алидаду так, чтобы отсчёт по горизонтальному кругу был равен вычисленному значению E . Так как при наведении трубы на точку отсчёт был равен 0° 20', то после установки наводящим винтом алидады отсчёта 0° 22' перекрестие сетки нитей сойдёт с наблюдаемой точки на величину c , равную – 2'. Слегка ослабив верхний исправительный винт и вращая боковые винты сетки нитей, передвигают её до совмещения перекрестия сетки с изображением наблюдаемой точки P₂. После этого сетку нитей закрепляют исправительными винтами и вновь повторяют поверку.

Определение коллимационной ошибки в теодолите Т30 следует выполнять, пользуясь двумя точками, расположенными в одном створе с теодолитом, но по разные его стороны. Визирования на каждую точку производят при двух положениях (справа и слева) вертикального круга.

4.3. Поверка перпендикулярности оси вращения трубы к основной оси теодолита (геометрическое условие 3)

Ось НН₁ вращения зрительной трубы (рис. 5) должна быть перпендикулярна к оси вращения инструмента ZZ₁. Если условие выполнено, то проектирующая коллимационная плоскость инструмента – вертикальна, что необходимо для непосредственного измерения горизонтального угла.

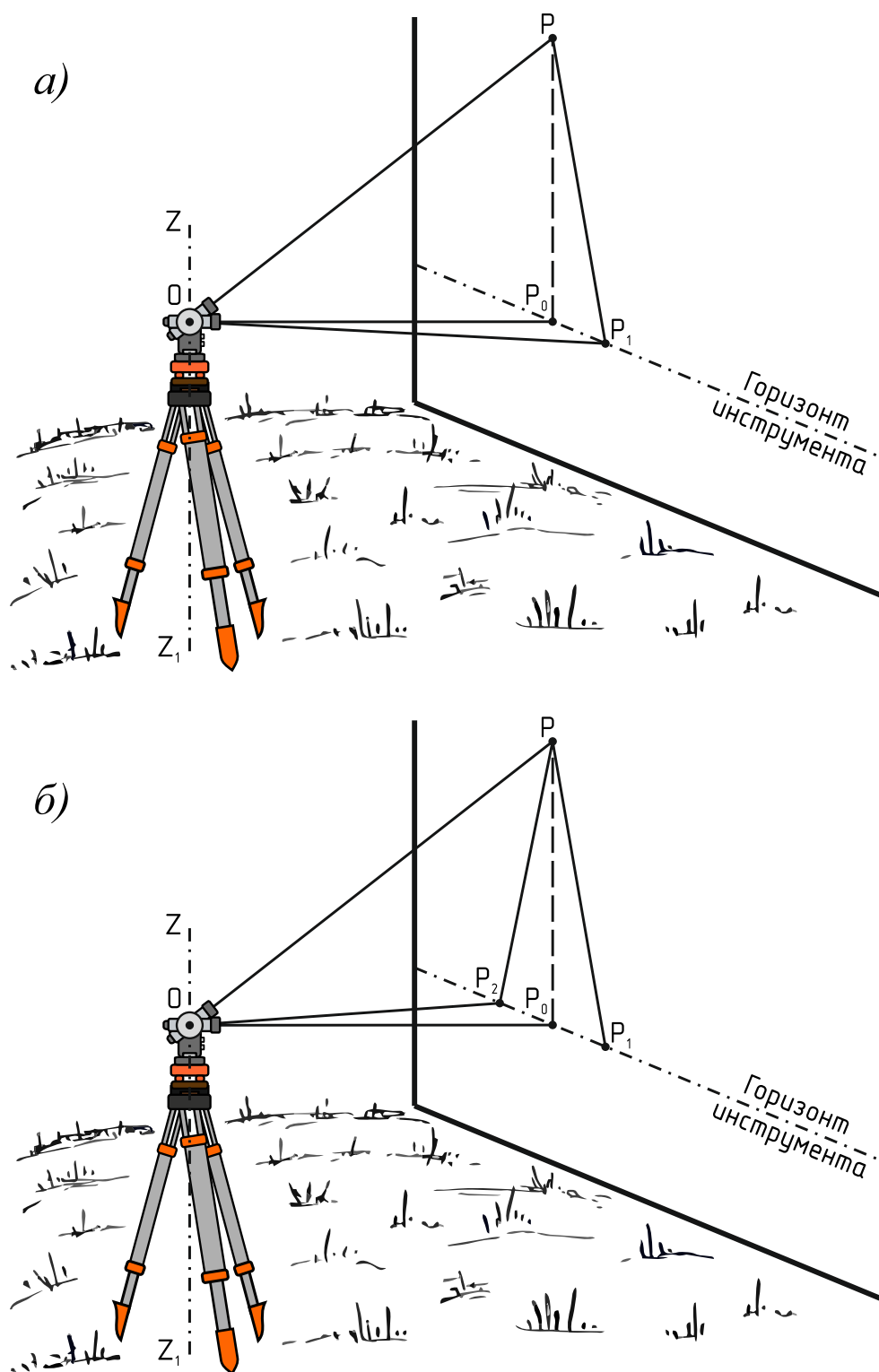


Рис. 8. Проверка перпендикулярности оси вращения трубы к основной оси инструмента

Для проверки выполнения этого условия инструмент устанавливают на расстоянии 20-40 м от стены (рис. 8), на которой выбирают высоко расположенную точку Р.

Наводят зрительную трубу на эту точку, закрепляют алидаду горизонтального круга. Затем, наклоняют трубу до примерно горизонтального положения и отмечают на стене первую проекцию перекрестия сетки нитей (точка P_1 на рис. 8, а). Далее переводят трубу через зенит, открепляют алидаду и снова визируют на ту же точку P , затем снова наклоняют трубу до примерно горизонтального положения и, при закрепленной алидаде, намечают на стене вторую проекцию перекрестия сетки нитей (точка P_2 на рис. 8, б). Если расстояния между проекциями P_1 и P_2 не более ширины биссектора сетки нитей или отношение отрезков $\frac{PP_0}{OP_0} \leq \frac{1}{6000}$, то условие выполнено. При нарушении условия теодолит направляют в мастерскую на ремонт.

Однако работать прибором с данной неисправностью можно, необходимо все измерения выполнять при двух положения круга. Так как средняя точка P_0 отрезка P_1P_2 расположена на одной вертикальной линии, проходящей через проектируемую, то в среднем из отсчётов по лимбу, взятых после наведения на точку при двух кругах, влияние наклона оси вращения трубы исключается.

4.4. Проверка положения сетки нитей (геометрическое условие 4)

Одна из нитей сетки должна находиться в коллимационной плоскости трубы. Для проверки положения нитей сетки наводят зрительную трубу на хорошо видимую точку (F на рис. 9, а). Если при вращении трубы вокруг её оси изображение точки F будет перемещаться по нити mk (рис. 9, б, в), то сетка установлена верно.

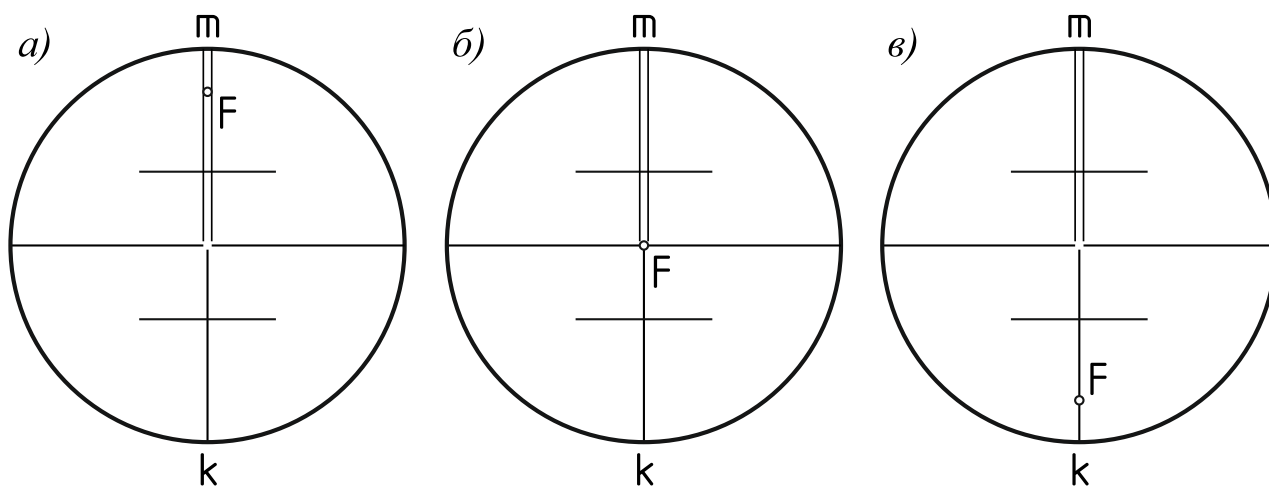
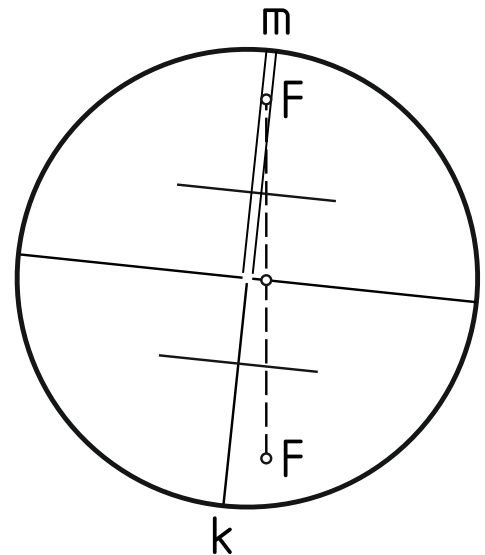


Рис. 9. Проверка положения сетки нитей

Если при вращении трубы изображение точки будет сходиться с вертикальной нити сетки (рис. 10), то необходимо оправу сетки нитей

поставить в правильное положение. Для этого снимают колпачок с окулярного колена зрительной трубы, отпускают винты, скрепляющие оправу сетки нитей с корпусом трубы. Затем поворачивают оправу сетки до выполнения условия, после чего закрепляют винты и надевают колпачок на трубу. После исправления сетки повторно делают вторую поверку.

Рис. 10. Неправильное положение сетки



Эту поверку можно выполнять с помощью нитяного отвеса, совмещая нити сетки и отвеса. На расстоянии около 10 м от теодолита подвешивают отвес и совмещают нити сетки и отвеса.

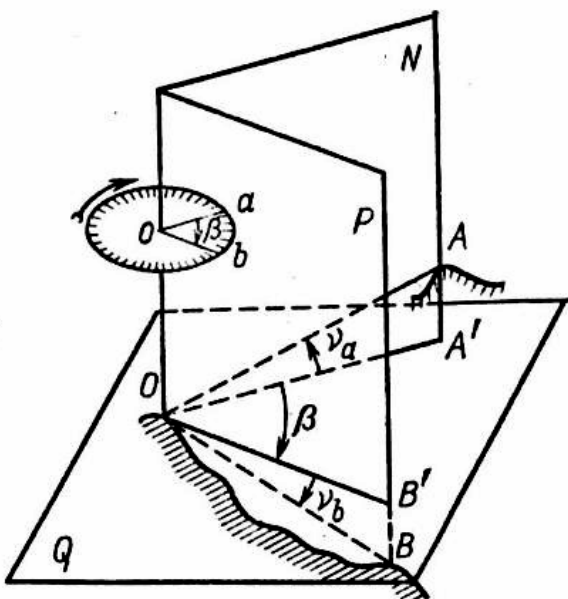
При нарушении условия поверки исправление можно не делать, достаточно визировать на наблюдаемые объекты только перекрестием сетки нитей.

5. Измерение углов

Горизонтальным углом называют двугранный угол, ребро которого образовано отвесной линией, проходящей через данную точку.

Вертикальным углом (или углом наклона) ν называют угол, лежащий в вертикальной плоскости, проходящей через заданное направление и его проекцию на горизонтальную плоскость.

Все измерения теодолитом выполняются только после установки прибора в рабочее положение: *центрирования и нивелирования*.



Для измерения горизонтального угла АОВ (рис. 11) теодолит необходимо установить в вершине угла – на пункте О, так, чтобы основная ось инструмента была отвесна, т. е. проходила через вершину О измеряемого угла. Для этого на пункте О предварительно устанавливают штатив с таким расчётом, чтобы его головка заняла горизонтальное положение, а центр отверстия головки совпадал с вертикалью, проходящей через центр пункта О.

Рис. 11. Принцип измерения горизонтальных углов на местности

Центрирование. Устанавливают штатив над вершиной угла при помощи отвеса, который опускают на нити до центра пункта через отверстие в головке штатива или со станového винта. Длину нити отвеса подбирают так, чтобы от отвеса до поверхности земли оставалось примерно 2 см. Необходимые перемещения штатива осуществляют утапливанием ножек в грунт, либо изменением длины ножек штатива (при этом горизонтальность верхней поверхности головки штатива определяют глазомерно).

Нивелирование. После центрирования штатива окончательно закрепляют на его головке станovým винтом теодолит и, пользуясь подъёмными винтами и уровнем на алидаде горизонтального круга, нивелируют инструмент. Для этого устанавливают уровень по направлению двух подъёмных винтов, вращая их в разные стороны, приводят пузырёк в нуль-пункт, после чего, повернув алидаду на 90° , устанавливают уровень по направлению третьего подъёмного винта, которым приводят пузырёк в нуль-пункт. Теодолит считается нивелированным, если при любом положении уровня относительно подъёмных винтов его пузырёк отклоняется от нуль-пункта не больше чем на одно деление.

Нитяным отвесом, подвешенным на крючке станového винта, проверяют положение основной оси вращения инструмента относительно центра знака О.

При работе с теодолитом, имеющим оптический центрир, после предварительного центрирования по нитяному отвесу, теодолит перемещают по головке штатива до совмещения изображения точки, обозначающей вершину измеренного угла, с центром окружностей оптического центрира. Центрирование в этом случае выполняется точнее, чем при использовании нитяного отвеса. При необходимости переместить теодолит в том или ином направлении ослабляют становой винт и выполняют перемещение по верхней поверхности головки штатива до установления отвеса над вершиной О. Далее теодолит снова нивелируют. Таким образом, центрирование и нивелирование теодолита выполняют несколькими последовательными приближениями. Чем короче сторона измеряемого угла, тем тщательнее следует центрировать теодолит.

Установка визирных знаков на пунктах. Так как все центры пунктов А, В, С (рис. 12) располагаются почти вровень с поверхностью земли, то непосредственно из точки В нельзя увидеть центры точек А и С. Поэтому при измерении углов устанавливают на пунктах А и С визирные знаки (вехи, мерные шпильки, рейки и марки). Вехи и мерные шпильки ставят острием на центр знака и удерживают их в отвесном положении. Рейку устанавливают так, чтобы середина её основания совпадала с центром пункта, а сама рейка занимала вертикальное положение. Визирную марку, закрепленную на головке штатива, центрируют над знаком нитяным отвесом так же, как теодолит. Чем короче стороны измеряемого угла, тем более тщательно должно быть центрирование визирных знаков над центром пунктов.

6. Измерение горизонтальных углов

Измерение горизонтальных углов теодолитом может быть выполнено различными способами: 1) приёмов, 2) "от нуля", 3) круговых приёмов, 4) повторений.

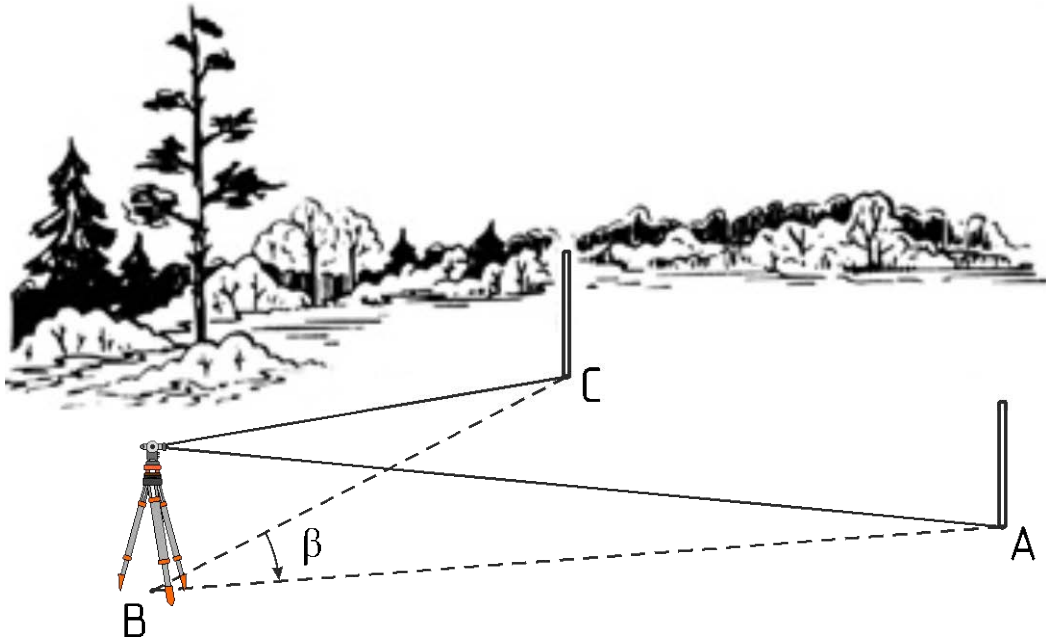


Рис. 12. Измерение горизонтального угла

6.1. Способ приёмов

При инженерных работах наиболее распространенными являются *способ приёмов*. Для измерения угла этим способом приводят теодолит в рабочее положение и, закрепив лимб, вращением алидады наводят зрительную трубу на правую точку А (рис. 13, а). При измерениях следует учитывать, что точка В (рис. 13) является вершиной двух горизонтальных углов β и β_2 , которые в сумме равны 360° . Следует определить, какой именно угол измеряется (левый или правый).

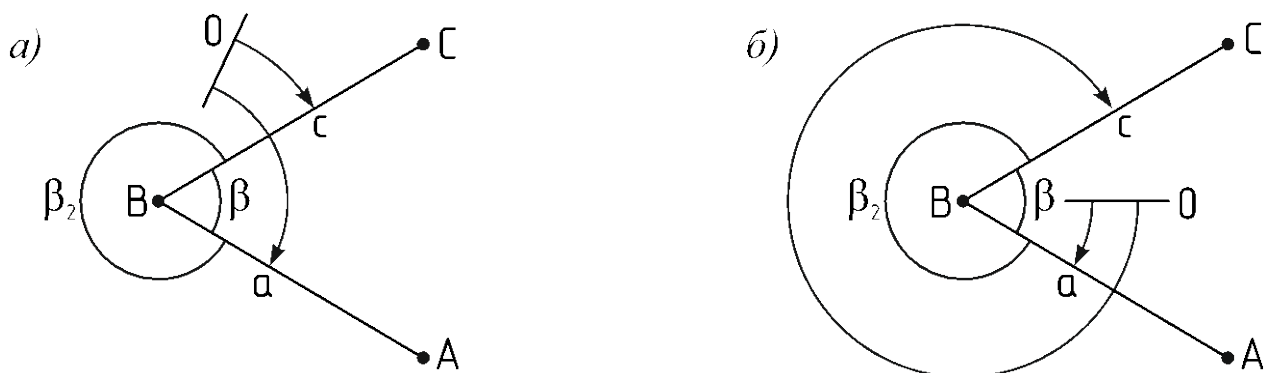


Рис. 13. Схема измерения угла способом приёмов при размещении нуля лимба:
а) вне измеряемого угла; б) внутри измеряемого угла

Взяв отсчёт по горизонтальному кругу a , вращением алидады наводят на левую точку С и берут отсчёт c . Величина измеряемого угла

$$\beta = a - c.$$

Если нуль лимба расположен внутри измеряемого угла (рис. 13, б), то к меньшему отсчёту следует прибавить 360° , тогда

$$\beta = (a + 360^\circ) - c.$$

Выполненные действия составляют *один полуприём*.

Для определения значения угла β следует: из отсчёта, полученного при визировании на точку А ($110^\circ 30,5'$) (таблица 3), вычесть отсчёт, полученный при визировании на точку С ($66^\circ 12,0'$).

Таблица 3

Журнал измерения горизонтальных углов способом приёмов
Теодолит 2Т30

Название точки стояния	Название точек визирования	Отсчёт по горизонтальному кругу	Угол	Среднее значение угла
В	А	110° 30,5′	44° 18,5′	44° 18,2′
	КЛ С	66° 12,0′		
	А	20° 29,5′	44° 18,0′	
	КП С	336° 11,5′		

Пример расчёта углов:

при КЛ:

$$\begin{array}{r} 110^\circ 30,5' \\ - 66^\circ 12,0' \\ \hline 44^\circ 18,5' \end{array}$$

при КП:

$$\begin{array}{r} 20^\circ 29,5' \\ + 359^\circ 60,0' \\ - 336^\circ 11,5' \\ \hline 44^\circ 18,0' \end{array}$$

С целью обеспечения контроля измерения угла и для повышения точности выполняют *второй полуприём*. Для этого перед его началом переводят трубу через зенит и, при произвольном положении лимба, отпустив зажимной винт алидады, визируют на точку А. Сделав отсчёт ($20^\circ 29,5'$) по горизонтальному кругу и записав его в журнал, отпускают зажимной винт алидады, вращая её, визируют на точку С и производят отсчёт ($336^\circ 11,5'$) по горизонтальному кругу, который также записывают в журнал. На этом заканчивается второй полуприём измерения угла. Два полуприёма составляют *один приём*.

Если расхождение между вычисленными значениями угла, измеренного

первым и вторым полуприёмами, не превышает двойной точности отсчётного устройства, то вычисляют окончательное значение угла, измеренного одним приёмом, равное среднему арифметическому из результатов измерений в полуприёмах. Если значения угла в полуприёмах отличаются друг от друга больше чем на двойную точность отсчётных устройств, то следует проверить устойчивость штатива, достаточность затяжки станкового винта. После этого измерение угла повторяют.

Измерение угла полным приёмом исключает возможность грубых ошибок, а также сводит к минимуму влияние различных источников погрешностей: инструментальных, визирования, центрирования и др.

6.2. Способ "от нуля" (совмещения нулей лимба и алидады)

Для удобства вычисления значения угла его измерения обычно ведут при следующих установках лимба. В первом полуприёме предварительно вращая алидаду совмещают индекс (или нулевой штрих шкалы) отсчётного микроскопа со штрихом нулевого деления на лимбе, а затем, закрепив алидаду и отпустив зажимной винт лимба, наводят трубу на точку С и производят отсчёт ($0^{\circ}01'$; таблица 4) по горизонтальному кругу.

Таблица 4

Журнал измерения горизонтальных углов способом "от нуля"

Теодолит Т30

Название точки стояния	Название точек визирования	Отсчёт по горизонтальному кругу	Угол	Среднее значение угла
В	С	0° 01′	148° 22′	148° 12,5′
	КЛ А	148° 23′		
	С	90° 02′	148° 21′	
	КП А	238° 23′		

Для точного наведения на точку С в этом случае пользуются наводящим винтом лимба. Затем, отпустив зажимной винт алидады, приближенно наводят трубу на пункт А, закрепляют зажимной винт алидады и после точного наведения с помощью микрометрических винтов алидады и трубы производят отсчёт ($148^{\circ}23'$) по лимбу.

Значение угла СВА вычисляют как разность второго и первого отсчётов:

$$148^{\circ} 23' - 0^{\circ} 01' = 148^{\circ} 22'.$$

Во втором полуприёме начальный отсчёт делают близким к 90° или 100° .

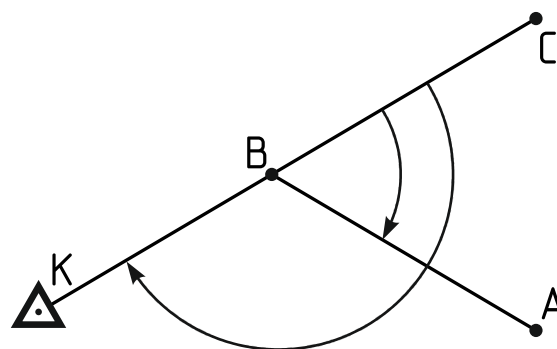
Этот способ применяют при тахеометрической съёмке местности.

6.3. Способ круговых приёмов

В практике угловых измерений бывают случаи, когда при одной точке необходимо измерить не один угол, а несколько. Например, такие случаи возникают при привязке теодолитных и тахеометрических ходов к пунктам опорной геодезической сети (рис. 14). При этом для измерения горизонтальных углов СВА, АВК, КВС применяют *способ круговых приёмов*.

Сущность этого способа состоит в следующем. Установив над точкой В теодолит, а на точках А, К, С – визирные знаки, совмещают нулевой штрих шкалы отсчётного устройства инструмента со штрихом нулевого деления лимба и, отпустив зажимной винт последнего, наводят на начальный пункт С.

Рис. 14



Произведя отсчёт ($0^{\circ} 00,0'$; таблица 5), отпускают зажимной винт алидады и движением её по ходу часовой стрелки наводят на визирный знак пункта А. Сделав отсчёт ($74^{\circ} 34,0'$) по горизонтальному кругу, движением алидады в направлении движения часовой стрелки наводят трубу на визирный знак точки К и делают отсчёт по горизонтальному кругу ($172^{\circ} 14'$). Затем, продолжая вращение алидады в направлении движения часовой стрелки, снова наводят трубу на визирный знак начального пункта С и производят отсчёт ($0^{\circ} 00,0'$) по горизонтальному кругу.

Таблица 5

Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов.

Теодолит 2Т30

Название точки стояния	Название точек визирования	Отсчёты по горизонтальному кругу		Средние значения отсчётов	Приведённое направление	$2с = КЛ - КП - 180^{\circ}$
		КЛ	КП			
В	С	$0^{\circ} 00,0'$	$180^{\circ} 01,0'$	$0^{\circ} 00,4'$ $0^{\circ} 00,5'$	$0^{\circ} 00,0'$	$-1,0'$
	А	$74^{\circ} 34,0'$	$254^{\circ} 34,5'$	$74^{\circ} 34,2'$	$74^{\circ} 33,8'$	$-0,5'$
	К	$172^{\circ} 14,0'$	$352^{\circ} 15,5'$	$172^{\circ} 14,8'$	$172^{\circ} 14,4'$	$-1,5'$
	С	$0^{\circ} 00,0'$	$180^{\circ} 00,5'$	$0^{\circ} 00,2'$	$0^{\circ} 00,0'$	$-0,5'$

Полученный отсчёт не должен отличаться от первоначального более чем на удвоенную точность горизонтального круга. На этом заканчивается первый *полуприём* наблюдений.

Все отсчёты записывают в журнал измерения горизонтальных углов (таблица 5). После этого переводят трубу через зенит и движением алидады *против хода часовой стрелки* последовательно наводят зрительную трубу на визирные знаки, установленные на пунктах С, К и А, заканчивая это движение повторным наведением на начальный пункт С, делают отсчёты ($180^\circ 00,5'$, $352^\circ 15,5'$, $254^\circ 34,5'$ и $180^\circ 01,0'$) и записывают в журнал.

Примеры расчёта средних значений отсчётов:

<u>Точка С:</u> $\begin{array}{r} 0^\circ 00,0' \\ + 180^\circ 01,0' \\ - 180^\circ 00,0' \\ \hline 0^\circ 01,0' \\ \div \quad \quad 2 \\ \hline 0^\circ 00,5' \end{array}$	<u>Точка А:</u> $\begin{array}{r} 74^\circ 34,0' \\ + 254^\circ 34,5' \\ - 180^\circ 00,0' \\ \hline 148^\circ 68,5' \\ \div \quad \quad 2 \\ \hline 74^\circ 34,2' \end{array}$	<u>Точка К:</u> $\begin{array}{r} 172^\circ 14,0' \\ + 352^\circ 15,5' \\ - 180^\circ 00,0' \\ \hline 344^\circ 29,5' \\ \div \quad \quad 2 \\ \hline 172^\circ 14,8' \end{array}$	<u>Точка С:</u> $\begin{array}{r} 0^\circ 00,0' \\ + 180^\circ 00,5' \\ - 180^\circ 00,0' \\ \hline 0^\circ 00,5' \\ \div \quad \quad 2 \\ \hline 0^\circ 00,2' \end{array}$
---	---	---	---

Выполненные операции составляют *один приём*. Вычислив средние значения отсчётов, находят среднее из средних значений отсчётов:

$$(0^\circ 00,5' + 0^\circ 00,2') / 2 = 0^\circ 00,4',$$

соответствующее наведению на начальный пункт С. Это среднее вычитают из средних отсчётов, сделанных при визировании на пункты С, А, К, получая приведённые направления, представляющие собой значения углов:

$$CBA = 74^\circ 34,2' - 0^\circ 00,4' = 74^\circ 33,8',$$

$$CBK = 172^\circ 14,8' - 0^\circ 00,4' = 172^\circ 14,4'.$$

Значение угла АВК равно разности приведенных направлений:

$$172^\circ 14,4' - 74^\circ 33,8' = 97^\circ 40,6'.$$

При необходимости повысить точность результатов углы измеряют несколькими приёмами, выполняя перестановку лимба между приёмами на $(180^\circ - n)$, где n – число приёмов.

Дополнительным контролем является постоянство двойной коллимационной ошибки $2c$, колебания которой не должны превышать удвоенной точности отсчётного устройства.

6.4. Способ повторений

Для повышения точности измерения горизонтального угла применяют *способ повторений*. При способе повторений угол измеряется несколько раз в каждом полуприёме путём последовательного откладывания этого угла на лимбе. При этом для уменьшения ошибки отсчитывания по лимбу, отсчёт

снимают только при начальном наведении на одну из точек (начальный отсчёт c) и конечном наведении на вторую точку (конечный отсчёт a). Тогда величина угла будет равна

$$\beta = \frac{a - c}{n},$$

где n – число повторений.

7. Измерение вертикальных углов

Измерение вертикальных углов (углов наклона) производится с помощью вертикального круга теодолита, исходное положение которого считают такое **КП** или **КА**, при котором отсчёты по нему увеличиваются с поднятием визирной оси над горизонтом. Принято различать положительные от 0° до 90° и отрицательные от 0° до -90° углы наклона (рис. 15).

Измерение вертикальных углов, так же, как и горизонтальных, начинают с установки теодолита в рабочее положение. Перед измерениями углов необходимо определить место нуля, то есть выполнить поверку вертикального круга. Главным условием, которому должен удовлетворять вертикальный круг, является постоянство места нуля. *Местом нуля* (M_0) называют отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы, и если на алидаде вертикального круга имеется уровень, то его пузырёк должен находиться в нуль-пункте.

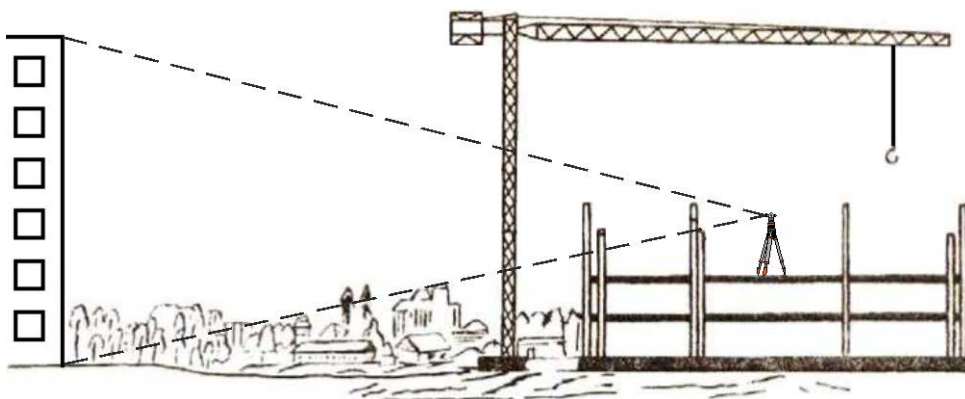


Рис. 15. Измерение вертикального угла

Если теодолит не имеет уровня при алидаде вертикального круга, перед снятием отсчёта подъёмными винтами приводят пузырёк уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт.

Поскольку ось этого уровня расположена параллельно коллимационной плоскости трубы, то при измерении угла наклона целесообразно устанавливать так, чтобы один из подъёмных винтов расположился в направлении линии визирования.

При наличии уровня его пузырёк выводят в нуль-пункт винтом алидады вертикального круга, и если теодолит снабжён компенсатором, то визирная ось трубы устанавливается автоматически.

Последовательность действий при измерении угла наклона:

а) открепляют зажимные винты алидады горизонтального круга и трубы и наводят последнюю от руки на точку угла наклона линии визирования, на которую должен быть измерен, после чего зажимные винты закрепляют;

б) вращением подъёмного винта, установленного в направлении линии визирования, приводят пузырёк уровня на алидаде в нуль-пункт;

в) с помощью наводящих винтов алидады и трубы точно наводят последнюю на точку;

г) убедившись в неизменном положении пузырька уровня, делают отсчёт по вертикальному кругу.

Перечисленные действия составляют полуприём. Если известно значение места нуля M_0 , то можно ограничиться измерением угла наклона v одним приёмом. Однако из-за возможного изменения M_0 под влиянием различных причин измерение угла наклона выполняют вторым полуприёмом. Для этого переводят трубу через зенит и выполняют те же действия, что и в первом полуприёме. Далее вычисляют по формулам значение M_0 и v . Записи отсчётов и вычисления M_0 и v ведут в таблице 6.

Таблица 6

Журнал измерений вертикальных углов. Теодолит Т30

Названия		Отсчёты по вертикальному кругу		Место нуля, M_0	Угол наклона, v
станции	точки наблюдения	КЛ	КП		
В	С	$3^\circ 46'$	$176^\circ 18'$	$0^\circ 02'$	$+ 3^\circ 44'$
	А	$355^\circ 34'$	$184^\circ 32'$	$0^\circ 02'$	$- 4^\circ 31'$

Для теодолитов значение M_0 и v вычисляют по формулам в таблице 7.

Таблица 7

Т30, основное положение вертикального круга: КЛ	Т15, основное положение вертикального круга: КП	2Т30, 2Т30П, 4Т30П, Т15К, основное положение вертикального круга: КЛ
$v = \frac{КЛ - КП \pm 180^\circ}{2}$	$v = \frac{КП - КЛ \pm 180^\circ}{2}$	$v = \frac{КЛ - КП}{2}$
$M_0 = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2}$	$M_0 = \frac{КП + КЛ \pm 180^\circ}{2}$	$M_0 = \frac{КЛ + КП}{2}$

В зависимости от вида работ и требуемой точности углы наклона измеряют либо одним полуприёмом, либо одним или несколькими приёмами.

7.1. Поверка вертикального круга технического теодолита

Из вышеперечисленных формул для определения значения места нуля необходимо измерить один и тот же угол наклона v при круге справа и слева. Чтобы убедиться в постоянстве M_0 необходимо определить его значение из наблюдений нескольких точек (таблица 7). Значения M_0 не должны отличаться друг от друга более чем на удвоенную точность вертикального круга, за окончательное значение M_0 принимают среднее арифметическое. При больших колебаниях M_0 инструмент следует направить в ремонт. Для удобства вычисления угла наклона M_0 обычно приводят к значению, близкому к 0° .

У теодолита исправление места нуля выполняют перемещением по вертикали оправы сетки нитей. Для этого визируют на одну и ту же удалённую и расположенную на уровне горизонта точку при двух положениях круга и производят отсчёты по вертикальному кругу. Затем вычисляют значение угла наклона и устанавливают вертикальный круг на соответствующий отсчёт.

Приведя подъёмными винтами подставки пузырьёк уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт, отпускают один из боковых винтов сетки нитей и, действуя вертикальными исправительными винтами оправы сетки, совмещают горизонтальную нить главного перекрестия сетки с изображением наблюдаемой точки. После закрепления оправы сетки нитей поверку повторяют.

При поверках теодолита целесообразно одновременно с определением коллимационной ошибки проверять постоянство места нуля.

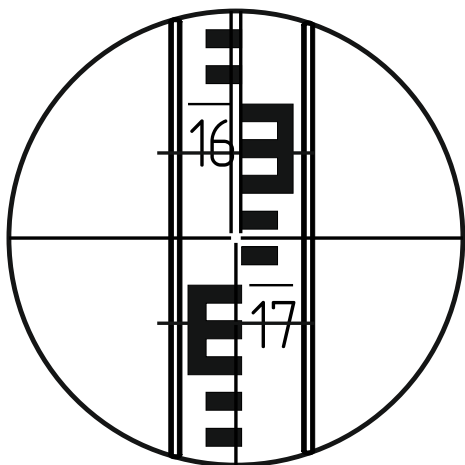
8. Измерение магнитного азимута

Магнитный азимут направления измеряют при помощи ориентир буссоли (рис. 1, а, в). После установки буссоли в специальный паз вертикального круга и приведения теодолита в рабочее положение, устанавливают по горизонтальному кругу нулевой отсчёт и закрепляют алидаду. Открепив лимб и освободив магнитную стрелку буссоли, ориентируют зрительную трубу на север. Закрепив лимб, его наводящим винтом добиваются точного совпадения северного конца магнитной стрелки с нулевым штрихом шкалы буссоли. При этом положении обеспечивается совпадение нулевых штрихов буссоли и лимба с северным направлением магнитного меридиана. Открепляют алидаду и ориентируют зрительную трубу теодолита в ориентируемом направлении. Отсчёт по горизонтальному кругу будет соответствовать искомому магнитному азимуту направления.

9. Измерение расстояний нитяным дальномером

В зрительной трубе теодолита и нивелира верхний и нижний горизонтальные (дальномерные) штрихи сетки нитей образуют нитяной дальномер.

Для того чтобы определить горизонтальное проложение линии MN, в точке М устанавливают угломерный прибор (теодолит), а в точке N – вертикально стоящую нивелирную рейку. Визирование на рейку сопровождается наклоном визирной оси зрительной трубы на угол ν . Отсчёт по средней линии сетки нитей соответствует высоте наведения (ν) на рейку. Наблюдатель через окуляр зрительной трубы снимает по шкале рейки нижний и верхний отсчёты (рис. 16), разность (n) которых соответствует отрезку АВ.



*Рис. 16. Поле зрения трубы теодолита:
отсчёт по нижней нити равен 1721 мм,
отсчёт по верхней нити равен 1629 мм*

Если бы рейку наклонить на угол ν , то разность отсчётов была бы равна

$$n_0 = A_0B_0 = n \cdot \cos \nu,$$

а наклонное расстояние

$$S = k \cdot n_0 + c = k \cdot n \cdot \cos \nu + c,$$

где k – коэффициент дальномера, обычно равен 100,

c – постоянная дальномера, близкая к нулю.

Умножив наклонное расстояние S на косинус угла ν , получим горизонтальное проложение линии MN:

$$d = k \cdot n \cos^2 \nu + c \cdot \cos \nu.$$

Прибавив и отняв $c \cdot \cos^2 \nu$, после преобразований получим

$$d = (k \cdot n + c) \cdot \cos^2 \nu + 2c \cdot \cos \nu \cdot \sin^2(\nu / 2).$$

Вторым слагаемым по его малости пренебрежем. Получим

$$d = (Kn + c) \cdot \cos^2 \nu.$$

Например, если имеем нижний и верхний отсчёты по рейке (рис. 17) и угол наклона визирной линии, равный $20^\circ 18'$, то горизонтальное проложение этой линии будет равно:

$$d = (100 \cdot (1721 - 1629)) + 0) \cdot \cos^2 20^\circ 18' = 8093 \text{ мм} = 8,09 \text{ м}.$$

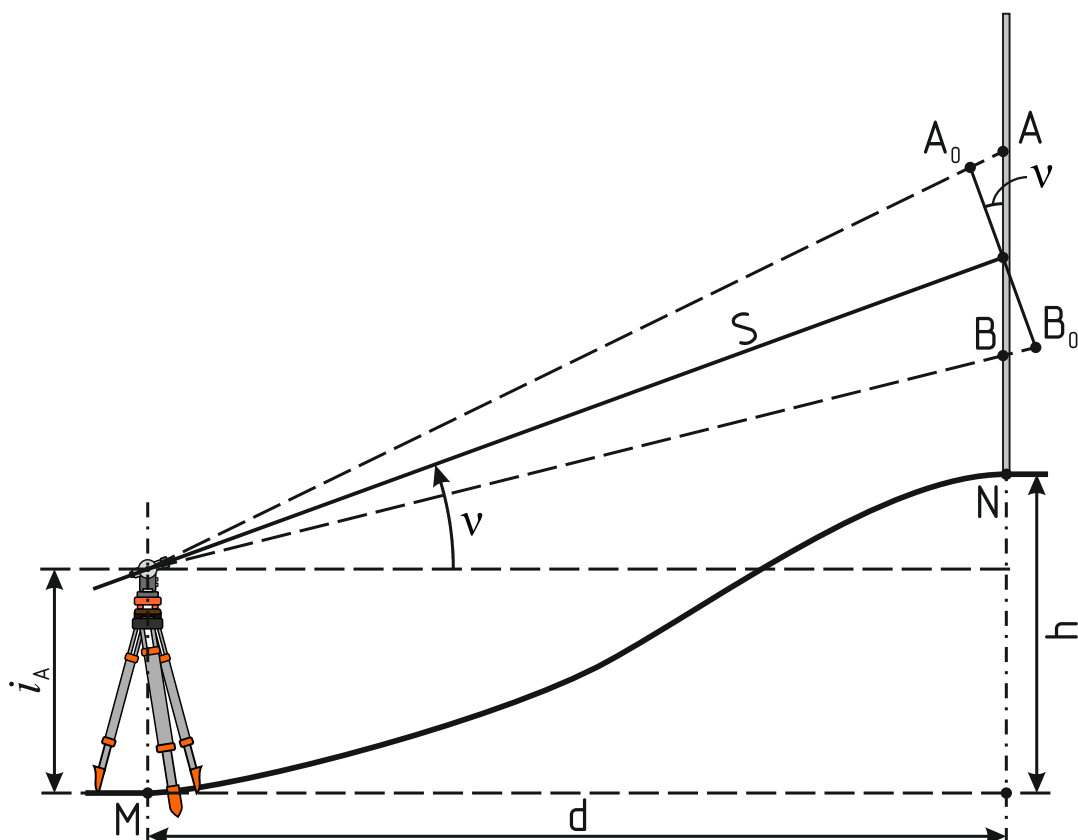


Рис. 17. Измерение нитяным дальномером наклонного расстояния

Относительная погрешность измерения расстояний нитяным дальномером составляет примерно $\frac{1}{300}$.

10. Инженерно-геодезические задачи

10.1. Наблюдения за креном сооружений

Креном называют отклонение сооружения от проектного положения в вертикальной плоскости. Причиной его возникновения обычно является неравномерная осадка основания сооружения. Геометрическая сущность измерения крена сводится к определению взаимного положения двух точек сооружения (например, точки A и B на рис. 18), которые по техническим условиям проекта должны лежать на одной отвесной линии. Наиболее простым способом полная угловая величина крена γ может быть получена проецированием точки A на горизонтальную плоскость. Измерив превышение h точки A над точкой B и длину проекции d можно найти

$$\gamma = \arctg \frac{d}{h}.$$

Одним из способов определения крена угла здания является способ горизонтальных углов, при котором с опорных пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях измеряют горизонтальные углы между опорным направлением и направлениями на верхнюю и нижнюю точки угла здания. По разнице измеренных углов и горизонтальному проложению от станции до наблюдаемой точки находят составляющие крена по осям и полную величину крена.

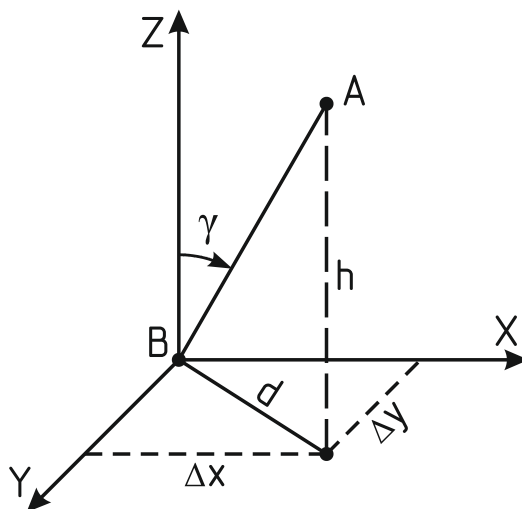


Рис. 18. Определение крена сооружения

Может быть рекомендована упрощённая методика, заключающаяся в том, что специальные пункты стабильного ориентирования не выбирают и углы между опорными направлениями и направлениями на наблюдаемые точки не измеряют. Вместо этого берут отсчёты по горизонтальному кругу (лимбу), соответствующие направлениям на верхнюю и нижнюю точки угла сооружения. В данном случае, так как лимб теодолита в процессе наблюдений неподвижен, линию, соответствующую его нулевому отсчёту можно рассматривать в качестве опорного направления.

Таким образом, работу по измерению крена угла здания выполняют в следующей последовательности. После установки теодолита в рабочее положение на станции 1 (рис. 19) производят наведение визирного луча на верхнюю и нижнюю точку угла здания. По значениям соответствующих отсчётов на горизонтальном круге теодолита определяют разностный угол (угловое смещение), который при отсутствии крена должен быть равен нулю. Для повышения точности эту операцию производят при двух положениях вертикального круга.

Знак и величина углового смещения характеризуют направление и степень отклонения конструкции от вертикали: при положительном значении угла верхняя точка отклонена вправо относительно нижней, а при отрицательном – влево.

Для определения отклонения в линейной мере (линейного горизонтального смещения) измеряют расстояние от теодолита до угла здания и используют тригонометрические формулы.

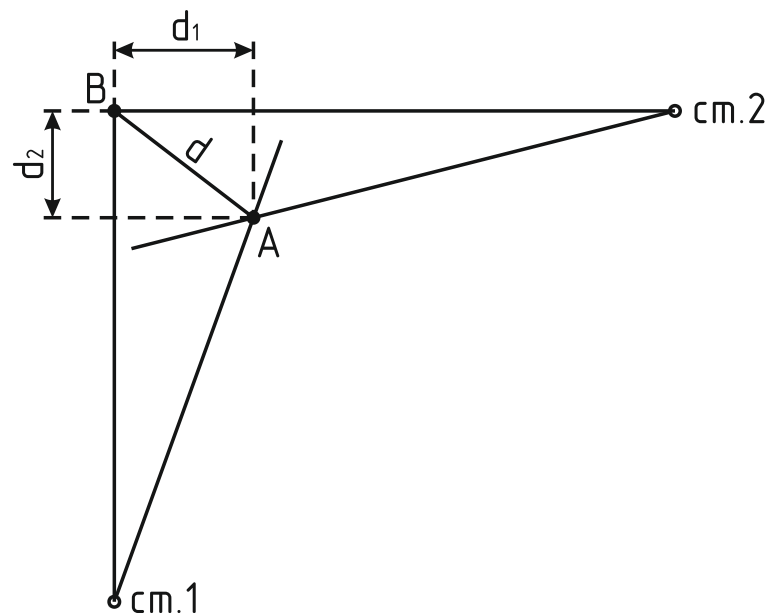


Рис. 19. Определение крена сооружения по упрощенной методике

В некоторых случаях может быть использован метод вертикального проецирования, заключающийся в том, что после наведения визирного луча на верхнюю точку сооружения или угла здания (точка А) луч опускают до уровня нижней точки (В) и с помощью линейки или рейки, расположенной перпендикулярно к визирному лучу, непосредственно измеряют линейное горизонтальное смещение d .

Значение угла крена находится, как было уже отмечено выше, через отношение полного линейного горизонтального смещения к высоте объекта.

При этом $d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$, высота может быть найдена попутно с использованием способа тригонометрического нивелирования.

10.2. Определение крена сооружений башенного типа

Для определения крена сооружений башенного типа (дымовых труб, эстакад, опор линий электропередач и др.), зачастую имеющих форму усеченного конуса или пирамиды, производят измерение положения оси сооружения в верхней и нижней точках (рис. 20).

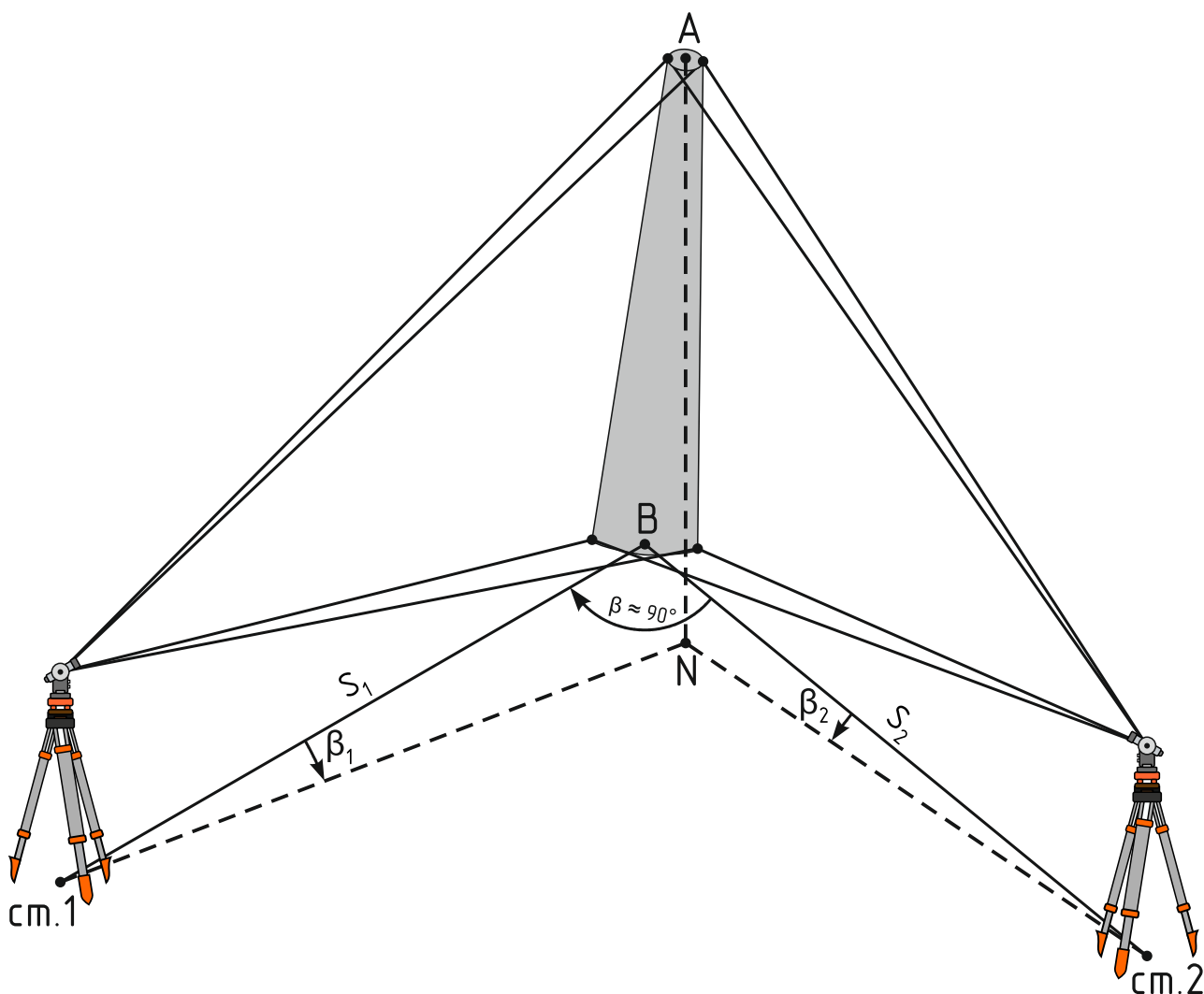


Рис. 20. Схема определения крена сооружения

Теодолит поочередно устанавливают на двух станциях, расположенных на расстоянии, превышающем высоту сооружения в 1,5-2 раза, с таким расчетом, чтобы вертикальные плоскости визирования (коллимационные плоскости) составляли прямой угол.

Расстояние от стоянки теодолита до центра основания сооружения измеряют рулеткой или светодальномером.

При невозможности непосредственного измерения линии, её определяют как неприступное расстояние. Высоту сооружения определяют с помощью тригонометрического нивелирования.

На каждой станции при каком-то положении вертикального круга (например, при **КА**) берут четыре отсчёта по горизонтальному кругу теодолита: два по верхним краям сооружения и два – по нижним. Полусуммы отсчётов позволяют определить положение оси вверху и внизу. Если сооружение в рассматриваемой плоскости крена не имеет, то полусуммы отсчётов вверху и внизу совпадут. Расхождение в полусуммах показывает наличие крена сооружения.

Разность полусумм дает проекцию углового крена вертикальной оси сооружения на горизонтальную плоскость $\beta_1^{\text{КП}}$. После выполнения аналогичной процедуры при другом положении вертикального круга (**КП**) получают $\beta_1^{\text{КП}}$. При получении допустимого расхождения между этими двумя значениями, которое обычно ограничивается величиной $2t$, где t – точность отсчётного устройства теодолита, вычисляют среднее значение β_1 .

Величину линейного смещения верхней точки оси сооружения относительно нижней точки, измеренную со станции 1, определяют по формуле:

$$d_1 = S_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1,$$

где S_1 – горизонтальное расстояние от станции 1 до оси сооружения.

Величину линейного смещения в перпендикулярной плоскости визирования определяют аналогичным образом со станции 2:

$$d_2 = S_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2.$$

Полная величина линейного горизонтального смещения равна

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}.$$

Угловой крен при наличии высоты сооружения h вычисляют по формуле:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{d}{h}.$$

10.3. Определение высоты сооружения

Высоту сооружения определяют по вертикальным углам ν и горизонтальным расстояниям S . Для определения вертикальных углов и расстояний вблизи сооружения разбивают базис b , расстояние до базиса должно быть не менее высоты сооружения. Горизонтальные углы в точках М и N должны быть более 30° , базис измеряют в прямом и обратном направлении с относительной погрешностью $\frac{1}{2000}$.

На местности кольями или дюбелями закрепляют станции 1 и 2, в них по очереди устанавливают теодолит и вертикальные углы на самую высокую точку сооружения ν_N и на основание сооружения ν_M при двух положениях трубы (**КЛ** и **КП**). В этих же точках измеряют горизонтальные углы полным приёмом β_1 и β_2 .

Из треугольников AMB и ANB (рис. 21) по теореме синусов вычисляют горизонтальные расстояния S :

$$S_1 = \frac{b \cdot \sin \beta'_1}{\sin \gamma_1}; \quad S'_1 = \frac{b \cdot \sin \beta_1}{\sin \gamma_1}; \quad S_2 = \frac{b \cdot \sin \beta'_2}{\sin \gamma_2}; \quad S'_2 = \frac{b \cdot \sin \beta_2}{\sin \gamma_2}.$$

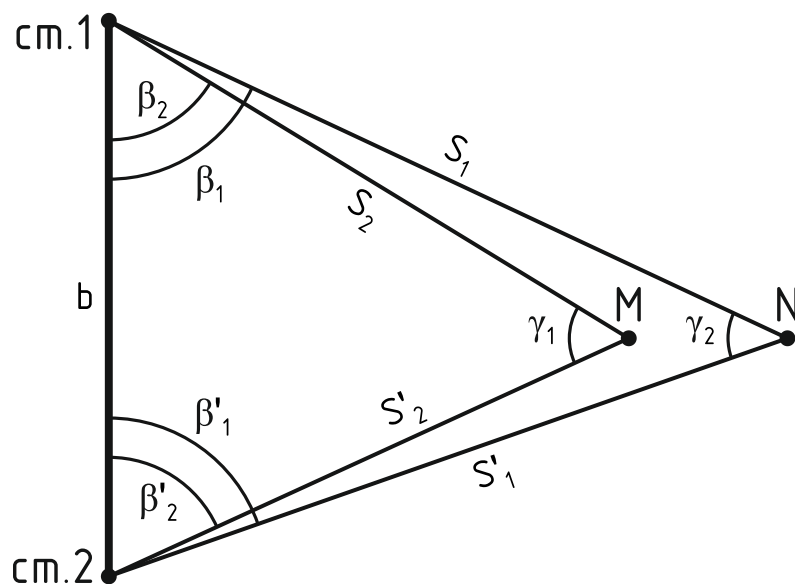


Рис. 21. Схема определения высоты сооружения

Высоты сооружения с обеих станций находят исходя из вычисленных превышений (рис. 22):

$$h_1 = S_M \cdot \operatorname{tg} v_M; \quad h'_1 = S'_M \cdot \operatorname{tg} v'_M; \quad h_2 = S_N \cdot \operatorname{tg} v_N; \quad h'_2 = S'_N \cdot \operatorname{tg} v'_N;$$

$$H_1 = h_1 + h_2; \quad H_2 = h'_1 + h'_2.$$

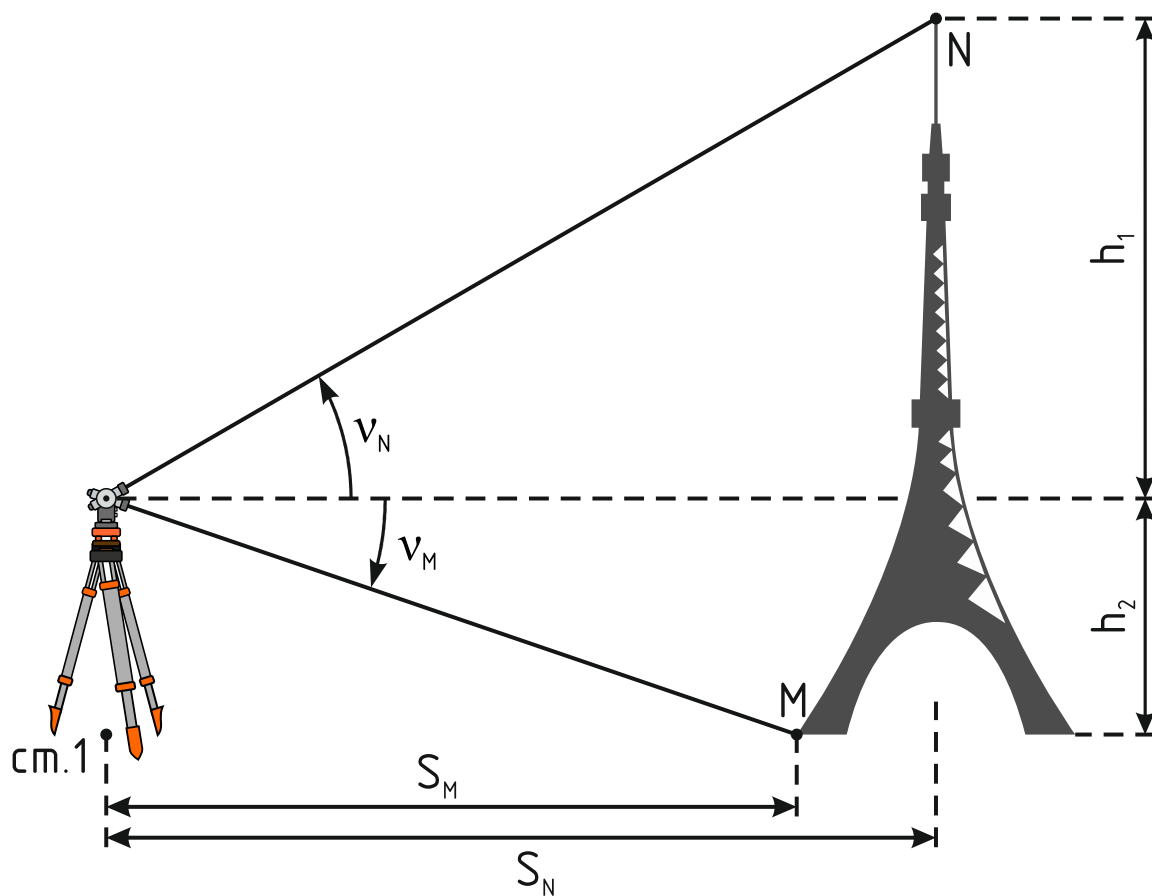


Рис. 22. Схема определения высоты сооружения

Допустимое расхождение в значениях высот не должно превышать 8 мм.

$$H = H_1 + H_2.$$

Среднее значение H и будет являться высотой сооружения.

11. Вопросы для самоконтроля

1. Что измеряют теодолитом (дайте определения)?
2. Назовите типы технических теодолитов.
3. Назовите оси теодолита и дайте определение каждой из них.
4. Что такое нуль-пункт цилиндрического уровня?
5. Теодолит имеет прямое изображение, компенсатор, средняя квадратическая погрешность измерения угла $5''$, с оптическим центриром. Назовите марку данного теодолита согласно ГОСТу.
6. Изложите порядок действий при установке трубы для наблюдений.
7. Вычислите приведённые направления, если при вершине О измерения горизонтальных углов были выполнены способом круговых приёмов. Результаты измерений приведены в таблице ниже.

Точка		Отсчёты по горизонтальному кругу	
стояния	визирования	КП	КЛ
О	А	$0^\circ 02'$	$180^\circ 03'$
	В	$68^\circ 38'$	$248^\circ 56'$
	С	$159^\circ 55'$	$339^\circ 56'$
	А	$0^\circ 03'$	$180^\circ 03'$

8. По отсчётному микроскопу взяты отсчёты: Г: $122^\circ 32'$, В: $-4^\circ 22,3'$. Определите точность (или тип) теодолита.
9. Как часто и при каких условиях выполняют поверки теодолита?
10. Когда выполняют установку прибора в рабочее положение?
11. Определите M_0 по отсчётам: **КЛ** = $3^\circ 27'$, **КП** = $-3^\circ 29'$.
12. Определите коллимационную погрешность по отсчётам: **КЛ** = $4^\circ 12'$, **КП** = $184^\circ 14'$.
13. Изложите порядок измерения горизонтальных углов способами: приёмов, "от нуля", круговых приёмов. Каковы области применения этих способов?
14. Каково основное требование, предъявляемое к вертикальному кругу теодолита?
15. Что влияет на точность измерения углов?

Библиографический список

1. Неумывакин, Ю. К. Практикум по геодезии: учебник для вузов / Ю. К. Неумывакин. – 5-е изд., стер. – Москва: Академия, 2008. – 478 с.
2. Геодезия: учеб. для вузов по направлению "Геодезия и землеустройство" / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, В. Д. Фельдман; под ред. Д. Ш. Михелева. – 11-е изд., перераб. – Москва: Академия, 2012. – 495 с.: ил.
3. Геодезия: измерение углов теодолитом: методические указания по изучению курса: ФЭ, ИСФ: специальности: 120303, 270205, 270109, 270105, 270102 / сост. Е. М. Румянцева, Н. Н. Суворова. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 27 с.: ил.
4. Перфилов, В. Ф. Геодезия: учебник по направлению "Архитектура" / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Высш. шк., 2008. – 351 с.: ил.
5. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Г. А. Федотов. – Изд. 5-е, стер. – Москва: Высш. шк., 2009. – 462 с.

Подписано в печать 29.02.2016.	Усл. печ. л. 2,2	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ №	_____.

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6