

Acest dosar este prezentat exclusiv pentru informare.
Stimate cititor!

Daca DVS doriti sa copiat acest dosar, el urmeaza a
fi inlaturat fara intirziere, imediat dupa ce ati facut
cunostinta cu continutul lui.

Copiind si pastrand dosarul in cauza,
DVS va asumati toata responsabilitatea
in conformitate cu legislatia in vigoare.

Toate drepturile de autor asupra dosarului dat
se pastreaza dupa detinatorul de drept.

Orice utilizare in scopuri comerciale sau alte
scopuri, cu exceptia utilizarii in scopuri de informare
prealabila este interzisa.

Publicarea acestui document nu atrage dupa sine nici
un fel de cistig comercial.

Insa astfel de documente contribuie rapid la ridicarea
profesionalismului si spiritualitatii
cititorilor si serveste drept reclama a editiilor de
hirtie a acestor documente.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ГиСМ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по лабораторным работам дисциплины
«Инженерная геодезия»

Часть 2
ТЕОДОЛИТЫ



Ижевск 2004

С о с т а в и т е л и: канд. техн. наук, проф. *Н.И.Невзоров*;
преподаватель ИМТ *Г.Н.Хохрякова*

Одобрено методическим советом инженерно-строительного факультета

Методическое пособие предназначено для студентов строительных специальностей всех форм обучения:

- 290300 – «Промышленное и гражданское строительство»;
- 290500 – «Городское строительство и хозяйство»;
- 290700 – «Теплогазоснабжение и вентиляция»;
- 290800 – «Водоснабжение и водоотведение»;
- 291300 – «Механизация и автоматизация строительства»;
- 291400 – «Проектирование зданий»

Методическое пособие по лабораторным работам дисциплины
«Инженерная геодезия» - Ч. 2: Теодолиты.- Ижевск: ИжГТУ, 2004.-56с.

Методическое пособие состоит из трех частей. В первой части «Нивелиры» подробно рассмотрены вопросы устройства, проверок и юстировок данных приборов, а также их применения в строительной практике. Особое внимание уделено погрешностям измерения и построения превышений и методам их ослабления.

Во второй части «Теодолиты» рассмотрены вопросы устройства, исследования, проверок и юстировок теодолитов. Подробно рассмотрены погрешности измерения горизонтальных и вертикальных углов и даны рекомендации по их ослаблению.

Методическое пособие составлено на основе многолетнего опыта проведения лабораторных занятий на инженерно-строительном факультете ИжГТУ и других вузов страны. Оно не заменяет учебники и другие виды учебных пособий, а призвано конкретизировать перечень лабораторных работ с учетом имеющейся инструментальной базы и учебного времени, отводимого на лабораторные занятия новым ГОС на подготовку инженеров строительного направления. В пособии приведено описание, назначение и области применения лазерных теодолитов, выпускаемых зарубежными фирмами.

Методическое пособие может быть использовано студентами при прохождении учебной геодезической практики, а также в дальнейшей работе на производстве. Оно может оказать помощь в изучении инженерной геодезии студентам среднего профессионального образования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Требования к выполнению лабораторных работ.....	4
Некоторые правила действий над приближенными числами.....	5
1. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ	
1.1. Назначение и классификация теодолитов.....	7
1.2. Устройство теодолитов технической точности.....	9
1.3. Электронные теодолиты.....	13
<i>Лабораторная работа № 1. Устройство теодолитов.....</i>	<i>15</i>
2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕОДОЛИТОВ	
2.1. Определение угла поля зрения трубы.....	17
2.2. Определение угла поля зрения с помощью нивелирной рейки.....	18
2.3. Определение коэффициента нитяного дальномера.....	19
<i>Лабораторная работа № 2. Определение метрологических</i>	
<i>характеристик зрительной трубы теодолита.....</i>	<i>21</i>
3. ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ	
3.1. Основные геометрические оси теодолита.....	22
3.2. Поверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к оси вращения теодолита.....	24
3.3. Поверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения зрительной трубы.....	26
3.4. Поверка перпендикулярности оси вращения зрительной трубы к оси вращения теодолита.....	29
3.5. Поверка параллельности вертикальной нити сетки и оси вращения теодолита.....	30
<i>Лабораторная работа №3 Поверки и юстировки теодолита.....</i>	<i>31</i>
4. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ	
4.1. Принцип измерения горизонтальных углов.....	32
4.2. Методика измерения горизонтального угла способом отдельных приемов.....	33
4.3. Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов.....	34
<i>Лабораторная работа № 4. Измерение горизонтальных углов способом</i>	
<i>отдельных приемов.....</i>	<i>36</i>
4.4. Основные погрешности измерения горизонтальных углов.....	37
4.5. Измерение вертикальных углов.....	43
4.6. Погрешности измерения вертикальных углов.....	46
<i>Лабораторная работа № 5. Тригонометрическое нивелирование.....</i>	<i>47</i>
<i>Лабораторная работа №6. Определение высоты сооружения,</i>	
<i>недоступного для непосредственного измерения.....</i>	<i>49</i>
5. РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ	
5.1. Построение проектного горизонтального угла.....	50
5.2. Построение линии с проектным уклоном с помощью теодолита.....	52

Требования к выполнению лабораторных работ

Лабораторные работы являются важнейшим звеном подготовки специалистов строительного направления. Они предназначены для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях, приобретения навыков в обращении с геодезическими приборами, а также в обработке полученной информации. В результате выполнения заданий вырабатывается умение активно применять полученные знания в будущей самостоятельной работе, творчески относиться к процессу измерений, анализировать погрешности, сопровождающие процесс измерений, находить пути повышения надежности результатов.

Все результаты измерений следует записывать в таблицы с учетом точности измерительного прибора. Например, при измерении горизонтальных углов теодолитом Т30 запись отсчета по горизонтальному кругу 31° считается неправильной, так как точность прибора равна $30''$. Правильной будет запись $31^\circ 00' 00''$.

При измерении превышения способом геометрического нивелирования отсчет по рейке всегда является четырехзначным числом. Поэтому отсчет 2560 нельзя записать как 256, также как отсчет 0567 записать в виде 567.

Расстояние, измеренное рулеткой с точностью до сантиметров (например 56,00м), нельзя записать в виде 56 м, если даже число дециметров и сантиметров равно нулю или 56,000м. Результат должен быть записан в виде 56,00м. и т.д.

В процессе выполнения лабораторных работ должны выработаться не только умения и навыки работы с геодезическими приборами, но и бережное отношение к ним. Геодезические приборы являются сложными оптико-механическими или оптико-электронными устройствами. Поэтому во всех случаях нельзя прилагать больших усилий при закреплении отдельных частей приборов. Все винты имеют ограниченную резьбу. Нельзя прикасаться руками к оптическим деталям, это значительно ухудшает их светотехнические качества.

К каждому лабораторному занятию необходимо готовиться. Подготовку начинают с изучения соответствующего раздела по учебнику, конспекту лекций, данной методической разработке. В конце каждой лабораторной работы приведен перечень контрольных вопросов, на которые необходимо иметь ответы. Лабораторные работы оформляются на писчей бумаге формата А4.

Небрежно оформленная работа снижает качество выполнения, а следовательно и текущую оценку. Все работы должны быть защищены или в форме устной беседы с преподавателем, или в виде контрольной работы.

Количество и последовательность выполнения лабораторных работ определяет преподаватель в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Текущая и итоговая аттестация студентов по инженерной геодезии осуществляется на основе рейтинговой системы. Это означает, что преподавателем оценивается труд каждого студента по каждой лабораторной; расчетно-графической; контрольной работам в условных баллах. По окончании учебного года проводится заключительное рейтинговое занятие в письменной форме по билетам, состоящим из 10 вопросов. Оценка по предмету выводится как пропорциональное число от суммы набранных за год баллов. В случае несогласия студента с оценкой, он имеет право сдать дополнительно экзамен в устной форме. Экзаменационные вопросы определяет преподаватель из числа экзаменационных программных вопросов по дисциплине, содержащихся в учебной программе.

Некоторые правила действий над приближенными числами

Поскольку любой результат измерения является приближенным числом, то всегда важно знать на какую величину оно отличается от действительного. Чем ближе результат измерения к действительному, тем выше точность, и наоборот.

Для оценки погрешности приближенных чисел используют предельную погрешность $\Delta_{пр}$. Под предельной абсолютной погрешностью понимают всякое положительное число, не превышающее половины единицы последнего знака. Так, наибольшее значение абсолютной погрешности округления составляет 0,5 единицы последнего знака округленного числа.

В результатах измерений в качестве предельной абсолютной погрешности можно принимать точность отсчетной шкалы прибора, если не выполнялись специальные исследования по ее определению. В геодезических измерениях абсолютную погрешность широко применяют при оценке точности угловых измерений.

Для характеристики точности линейных измерений применяют, в основном, относительную погрешность $\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{l} \right|$, где Δ погрешность измерения, а l - результат измерения. При этом относительную погрешность выражают аликвотной дробью (дробь, у которой числитель всегда единица) $\varepsilon = 1/(l/\Delta)$.

Чем меньше относительная погрешность, тем с большей точностью получен результат. В других дисциплинах относительную погрешность записывают в процентах или промилях.

Поскольку все результаты измерений являются приближенными числами, то и все последующие арифметические действия с ними должны выполняться как с приближенными числами. В этом случае в основе анализа лежит понятие - количество верных значащих цифр.

Значащую цифру называют верной, если модуль погрешности её не превышает половины единицы разряда этой цифры. Например, при определении цены деления планиметра получили $s=0,09567883$. Как правильно записать окончательный результат? Здесь необходимо руководствоваться правилом: *ответ должен содержать столько значащих*

цифр, сколько их содержится в отсчетах по измерительной каретке, т. е. четыре значащих цифры. С учетом того, что нули, служащие только для обозначения десятичных разрядов, не являются значащими цифрами, правильная запись ответа будет $s=0,09568$ или $9,568 \cdot 10^{-2}$.

Приведем некоторые правила арифметических действий с приближенными числами.

При нахождении алгебраической суммы, когда слагаемые имеют разное количество десятичных знаков, необходимо придерживаться следующего порядка действий:

- выбрать компонент (слагаемое, уменьшаемое или вычитаемое) с наименьшим количеством **десятичных** знаков;
- все остальные компоненты округлить, оставив в них на один десятичный знак больше, чем их имеется в компоненте с наименьшим количеством десятичных знаков;
- выполнить арифметические операции (сложение и вычитание);
- полученный результат округлить, оставив в нем столько десятичных знаков, сколько их имеется в компоненте с наименьшим количеством десятичных знаков.

Пример. Определить длину линии, которая была разбита на отдельные отрезки, каждый из которых был измерен прибором со своей точностью. Так $d_1 = 10,4$ м, $d_2 = 0,485$ м, $d_3 = 104$ м. Искомая длина линии равна $d = 115$ м.

При умножении, делении, возведении в степень, извлечении корня необходимо следовать следующим правилам:

- осмотреть все числа, входящие в данное выражение, и выбрать компонент с наименьшим количеством **значащих** цифр;
- все остальные компоненты округлить, оставив в них на одну значащую цифру больше, чем их имеется в компоненте с наименьшим количеством значащих цифр;
- произвести требуемые вычисления;
- полученный результат округлить до стольких значащих цифр, сколько их имеется в грубейшем компоненте.

Пример. Для определения массы стеновой панели были измерены ее длина $a = 6003$ мм.; ширина $b = 2997$ мм.; высота $h = 302$ мм. и плотность бетона $q = 1,5$ т/м³. Тогда $P = a b h q = 8.1499188$ т. Как правильно записать результат вычисления? Так как наименьшее число значащих цифр содержится в компоненте плотности бетона (две цифры), то ответ будет содержать также только две значащие цифры, то есть $P = 8.1$ т.

Правило округления. В приближенных вычислениях в результате оставляют только значащие цифры. Если отбрасываемая цифра является 5, то последняя оставшаяся цифра должна быть четной. Например, требуется округлить до метров два результата измерения $s_1 = 34,5$ м и $s_2 = 33,5$ м. Получим $s_1 = 34$ м и $s_2 = 34$ м.

1. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ

1.1. Назначение и классификация теодолитов

Теодолит это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных углов, вертикальных углов и длин линий.

Теодолиты находят широкое применение на всех стадиях строительного производства. Так на стадии изысканий инженерных сооружений они предназначены для:

- создания опорных геодезических сетей и съемочного обоснования;
- привязки геологических и других разведочных выработок;
- топографических съёмок.

На строительной площадке теодолиты используются для:

- создания разбивочной геодезической основы;
- перенесения на местность основных осей зданий и инженерных сооружений;
- передачи осей на монтажные горизонты;
- установки строительных конструкций в отвесное положение;
- выверки вертикальности конструкций;
- съемки построенных конструкций с целью составления исполнительного генерального плана.

На стадии эксплуатации инженерных сооружений теодолит необходим для наблюдений за смещением сооружений в плане и для измерения крена.

В соответствии с ГОСТ 10529 – 79 все теодолиты по точности разделены на три группы:

- 1) высокоточные теодолиты служат для измерения горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью от 0,5 до 2";
- 2) точные теодолиты предназначены для измерения горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью от 2 до 7";
- 3) технические теодолиты - для измерения горизонтальных углов со средней квадратической погрешностью от 10 до 30".

Кроме классификации по точности, теодолиты подразделяются:

- по области применения (геодезические, маркшейдерские);
- по физической природе носителя информации (механические, оптические, электронные, кодовые);
- по конструкции (простые, повторительные, с уровнем при вертикальном круге, с компенсатором).

Названные выше признаки классификации нашли свое отражение в маркировке теодолитов. Так высокоточные теодолиты имеют маркировку Т05, Т1, 3Т2КП; точные 2Т5, 2Т5КП; технические 4Т15П и 4Т30П.

Маркировка теодолитов включает следующие обозначения. Цифра перед буквой Т означает номер модификации прибора данной серии. Цифры после буквы Т характеризуют точность измерения горизонтального угла одним полным приемом в секундах. Буква К означает, что вертикальный круг

данного теодолита имеет компенсатор углов наклона основной оси. Буква П означает, что зрительная труба имеет прямое изображение.

Так как геодезические измерения выполняют в различных физико-географических условиях и в различное время года, то к теодолитам предъявляют жесткие требования к обеспечению высокой точности и производительности труда при выполнении угловых измерений в любых условиях. Они должны быть удобны и просты в обращении, позволять выполнять поверки и юстировки в полевых условиях непосредственно исполнителем.

Представленная на рис.1 серия теодолитов, выпускаемых Уральским оптико-механическим заводом, в основном, удовлетворяет запросы строительной отрасли на любой стадии строительства.

Теодолит 3Т2КП позволяет измерять горизонтальные углы со средней квадратической погрешностью $m_B = 2''$. Его применяют для измерения углов в триангуляции, полигонометрии, в геодезических сетях сгущения, при установке в проектное положение особо ответственных строительных конструкций и при монтаже элементов конструкций машин и механизмов.

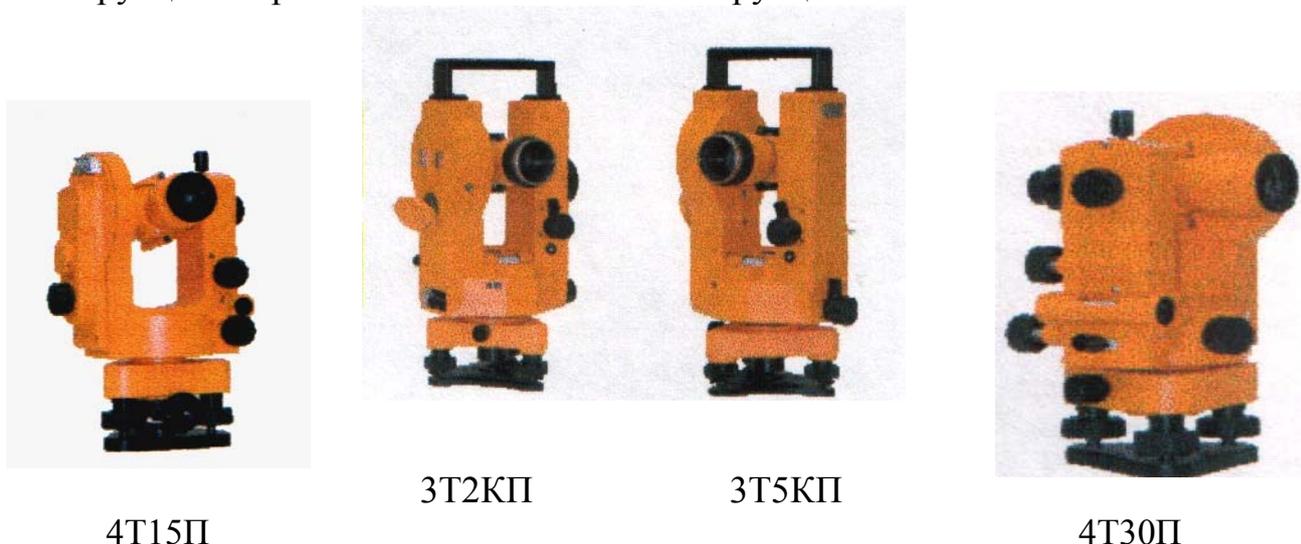


Рис. 1. Теодолиты, выпускаемые Уральским оптико-механическим заводом

Теодолит 3Т5КП применяют при измерении горизонтальных углов в геодезических сетях сгущения со средней квадратической погрешностью не превышающей $5''$. В строительной практике это наиболее широко распространенный прибор как на стадии изысканий (создание геодезической разбивочной основы, развитие съемочного обоснования, съемочные работы и т. д.), так и при монтаже строительных конструкций. Данная марка теодолитов широко используется при контроле вертикальности построенных сооружений и определения их крена.

Теодолиты технической точности серии 4Т (4Т15П и 4Т30П) предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов при выполнении тахеометрических и теодолитных съемок. Они находят широкое применение при монтаже строительных конструкций. Эти теодолиты компактны и просты в работе.

Их основные достоинства:

- Съемная подставка с встроенным оптическим центриром;
- Зрительная труба имеет прямое изображение;
- Перестановка лимба осуществляется вращением специального винта;
- Работоспособность не нарушается в любых климатических условиях;
- Малый вес и современный дизайн.

Краткие технические характеристики теодолитов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики теодолитов

Показатели	3Т2КП	3Т5КП	4Т15П	4Т30П
Увеличение зрительной трубы, крат	30	30	20	20
Световой диаметр объектива, мм	40	40	17	17
Угол поля зрения,	1 ⁰ 35'	1 ⁰ 35'	2 ⁰	2 ⁰
Наименьшее расстояние визирования, м	0,9	0,9	1,2	1,2
Диапазон работы компенсатора вертикального круга	4'	4'		
Цена деления отсчетного микроскопа	1"	1'	5'	5'
Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла	2"	5"	15"	30"
Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла	2,4"	5"	15"	30"
Масса теодолита с подставкой, кг	4,7	4,3	3,5	3,5

1.2. Устройство теодолитов технической точности

Несмотря на то, что перечисленные приборы различаются по точности измерения горизонтальных углов, все они имеют примерно одинаковое устройство. На рис. 2 показан теодолит технической точности 4Т30П. Он состоит из следующих основных частей:

- горизонтальный круг;
- вертикальный круг;
- зрительная труба;
- подставка с тремя подъемными винтами,
- цилиндрический уровень.

Горизонтальный круг состоит из лимба и алидады. Лимб представляет собой стеклянный круг с нанесенными градусными делениями от 0° до 360°, а на алидаде нанесена отсчетная шкала (рис.3). Шкалы лимба и алидады горизонтального и вертикального кругов передаются в поле зрения отсчетного микроскопа. Шкала горизонтального круга отмечена буквой Г, а вертикального – буквой В.

Алидада горизонтального круга имеет закрепительный винт 9 и наводящий винт 14, который служит для точного наведения сетки нитей на визирную цель. Лимб горизонтального круга данной модели не имеет закрепительного и наводящего винтов, но может быть переставлен на любой угол с помощью барабана 8 (рукоятка перевода лимба).

Лимб вертикального круга посажен на одной оси со зрительной трубой и поворачивается на такой же угол, что и зрительная труба. Алидада остается на месте. На этом основывается принцип измерения углов наклона.

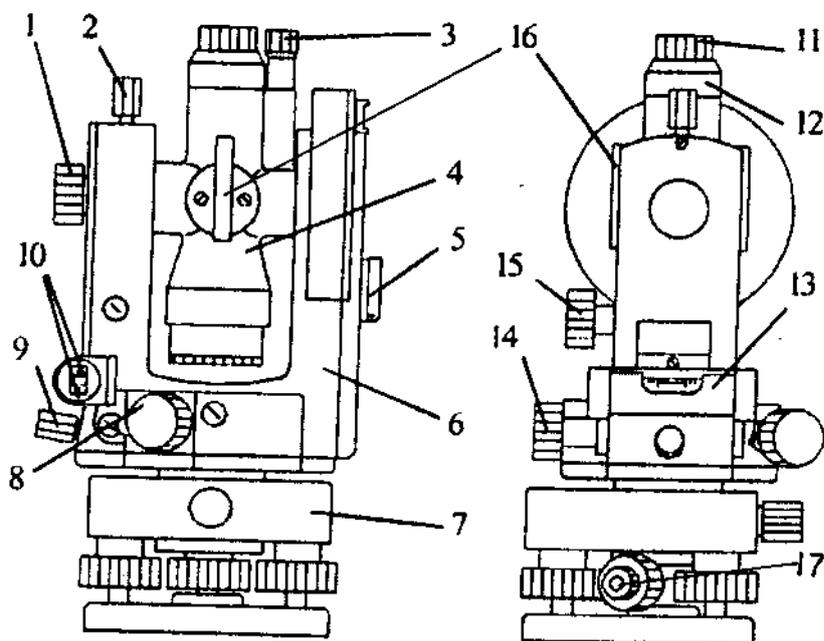


Рис. 2. Теодолит 4Т30П.

1 – кремальера (барaban фокусировки); 2 – закрепительный винт зрительной трубы; 3 – окуляр микроскопа; 4 – зрительная труба; 5 – зеркало для подсветки шкал отсчетного микроскопа; 6 – колонка; 7 – подставка (трегер); 8 – барабан перестановки лимба горизонтального круга; 9 – закрепительный винт алидады; 10 – юстировочные (исправительные) винты цилиндрического уровня; 11 – окуляр зрительной трубы; 12 – защитный колпачок сетки нитей; 13 – цилиндрический уровень; 14 – наводящий винт алидады; 15 – наводящий винт зрительной трубы; 16 – коллиматорный визир; 17 – оптический центрир.

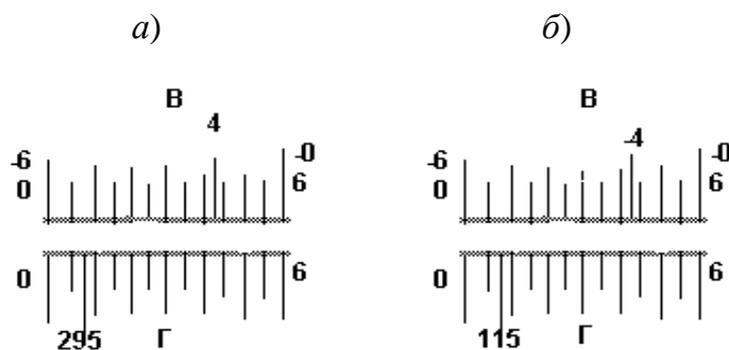


Рис. 3. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 4Т30П при положительном (а) и отрицательном (б) угле наклона трубы

Цена деления шкалы алидады как горизонтального, так и вертикального кругов равна 5. Градусный штрих, проекция которого попадает на шкалу

алидады, одновременно является отсчетным штрихом. На рис.3а отсчет по горизонтальному кругу равен $295^{\circ}07,5'$, а на рис.3б соответственно $115^{\circ}07,5'$.

Шкала лимба вертикального круга имеет оцифровку от 0° до 60° и от -0° до -60° . Поэтому при отсчете по вертикальному кругу необходимо сначала посмотреть, какой знак стоит перед градусным штрихом лимба. По умолчанию принимается, что отсутствие знака соответствует положительному числу. Отсчет в этом случае необходимо снимать от положительного нуля шкалы алидады до положительного градусного штриха, находящегося на шкале алидады. И наоборот, если у градусного штриха подписан знак минус, то за начало отсчета принимают -0 . На рис.3а отсчет по вертикальному кругу равен $4^{\circ}43,0'$, а на рис.3б он равен $-4^{\circ}17,5'$.

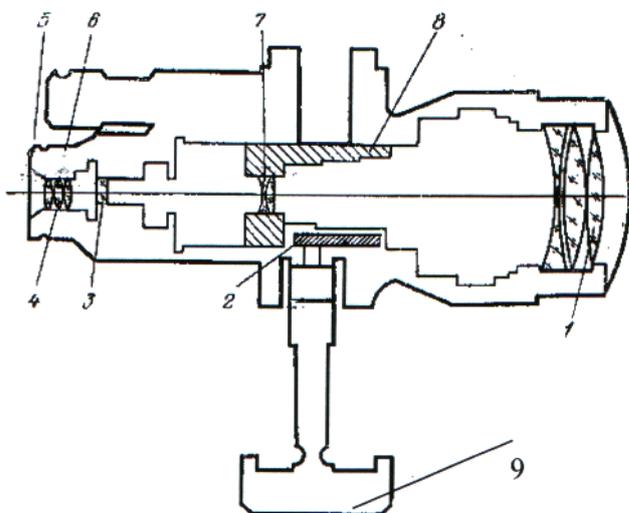


Рис.4. Зрительная труба теодолитов серии Т15 (Т30)

1 - объектив; 2 - зубчатая рейка; 3 - сетка нитей; 4 - окуляр; 5 - диоптрийное кольцо; 6 - предохранительный колпачок сетки нитей; 7 - фокусирующая линза; 8 - оправка фокусирующей линзы; 9 - кремальера

Зрительная труба (рис.4) состоит из трех линзового не склеенного объектива 1, двух компонентной склеенной фокусирующей линзы 7, плоскопараллельной пластинки с нанесенной на нее сеткой нитей 3 и четырех линзового окуляра 4. Линзовые компоненты строго центрированы и помещены в литом корпусе зрительной трубы. Перемещение оправы 8 фокусирующей линзы осуществляется при помощи зубчатой рейки 2 и шестеренки, вращаемой кремальерой 9, которая вынесена за колонку теодолита 1 (рис.2). Изменение положения фокусирующей линзы изменяет фокусное расстояние объектива, что позволяет видеть резкое изображение визирной цели, на каком бы расстоянии от теодолита она не находилась. Наименьшее расстояние фокусировки составляет 1,2м. Диаметр выходного зрачка окуляра равен 1,4 мм.

Сетка нитей (рис.5) служит для точного наведения визирной оси зрительной трубы на визирную цель. Она представляет собой плоскопараллельную пластинку, на которой нанесены три горизонтальных и

одна вертикальная нить. Для повышения точности визирования вертикальная нить в одной половине имеет биссектор (двойную нить). При измерении горизонтальных углов визирную цель обязательно вводят в биссектор.

Средняя нить *с* служит для наведения на визирную цель при измерении

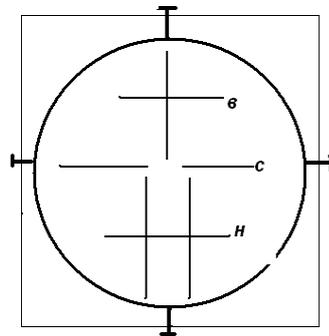


Рис.5. Сетка нитей

вертикальных углов. Верхняя нить *в* и нижняя *н* предназначены для измерения длин линий и являются составной частью нитяного дальномера.

Вращением диоптрийного кольца 5 (рис.4) или 11 (рис.2) добиваются резкого изображения сетки нитей независимо от остроты зрения наблюдателя. Для близорукого или дальнозоркого глаза окуляр может перемещаться в пределах ± 5 диоптрий.

Сетка нитей теодолитов серии Т30 имеет четыре исправительных винта, с помощью которых можно изменять ее положение в зрительной трубе. Это необходимо при юстировке коллимационной погрешности и места нуля вертикального круга. Исправительные винты сетки нитей закрыты защитным колпачком 12 (рис.2).

Мнимая линия, соединяющая перекрестие сетки нитей и оптический центр объектива называется визирной осью зрительной трубы.

Цилиндрический уровень 13 (рис.2) служит для приведения в горизонтальное положение плоскости лимба горизонтального круга (или в отвесное положение оси вращения теодолита).

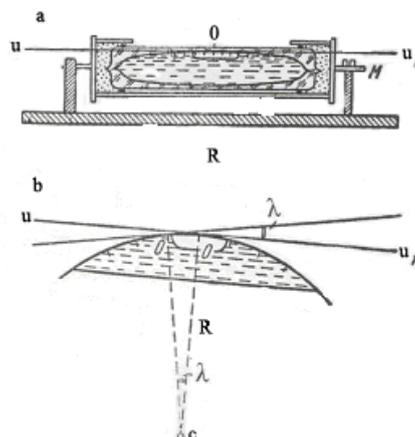


Рис. 6. Цилиндрический уровень

Он представляет собой стеклянную ампулу (рис.6), внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге радиуса R . Его величина зависит от назначения уровня и может принимать размеры от 3 до 200м. У теодолита 4Т30П величина радиуса равна около 10м.

Касательная $ии_1$ (рис.6б) к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте называется осью цилиндрического уровня.

Когда пузырек уровня находится в нуль-пункте, ось $ии_1$ занимает горизонтальное положение, а следовательно и плоскость лимба также займет горизонтальное положение. На ампуле нанесена шкала с расстоянием между штрихами 2мм. Угол λ , на который наклонится ось уровня при смещении пузырька на одно деление называется ценой деления. Это основная метрологическая характеристика уровня.

Связь радиуса кривизны и цены деления уровня имеет вид

$$\lambda = l \times \rho / R, \quad (1)$$

где l – линейная величина одного деления уровня (2мм);

R – радиус кривизны внутренней поверхности ампулы;

$\rho = 206265''$ -число секунд в радиане.

Уровень имеет исправительные винты 10 (рис.2), с помощью которых его можно наклонять в вертикальной плоскости на небольшие углы.

Приведение пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт осуществляется подъемными винтами трегера (подставки) теодолита.

1.3.Электронные теодолиты

Основным недостатком выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью теодолитов является сложность автоматизации процесса снятия отсчетов по угломерным кругам, а значит устранения погрешностей субъекта в этом процессе. Это связано с установившейся традицией деления лимба на 360 частей (градус), или 400 частей (гон). С точки зрения автоматизации снятия отсчета по измерительному кругу наиболее приемлемым является деление круга на 1000 частей. В этом случае появляется возможность путем оптико-электронного сканирования круга автоматизировать процесс угловых измерений и повысить приборную точность за счет исключения или ослабления погрешности субъекта при снятии отсчета по измерительному устройству.

В настоящее время за рубежом освоен выпуск электронных теодолитов нового поколения, как с лазерным лучом визирования, так и с обычным. Особенно значительные успехи в конструировании таких приборов имеются в Японии.

На рис.7 представлены серийно выпускаемые электронные теодолиты японской фирмы SOKKIA. Так на рис.7а представлен электронный теодолит марки LDT50, который является незаменимым при работе в тоннелях, подземных выработках, в условиях слабой освещенности. Прибор сочетает в себе функции теодолита и лазерного визира. Встроенный лазерный излучатель может работать в двух режимах: фокусированный луч (для

высокоточного наведения) и параллельный пучок (для контроля наведения). При использовании специальной насадки лазерный луч рассеивается на две взаимно перпендикулярные линии.

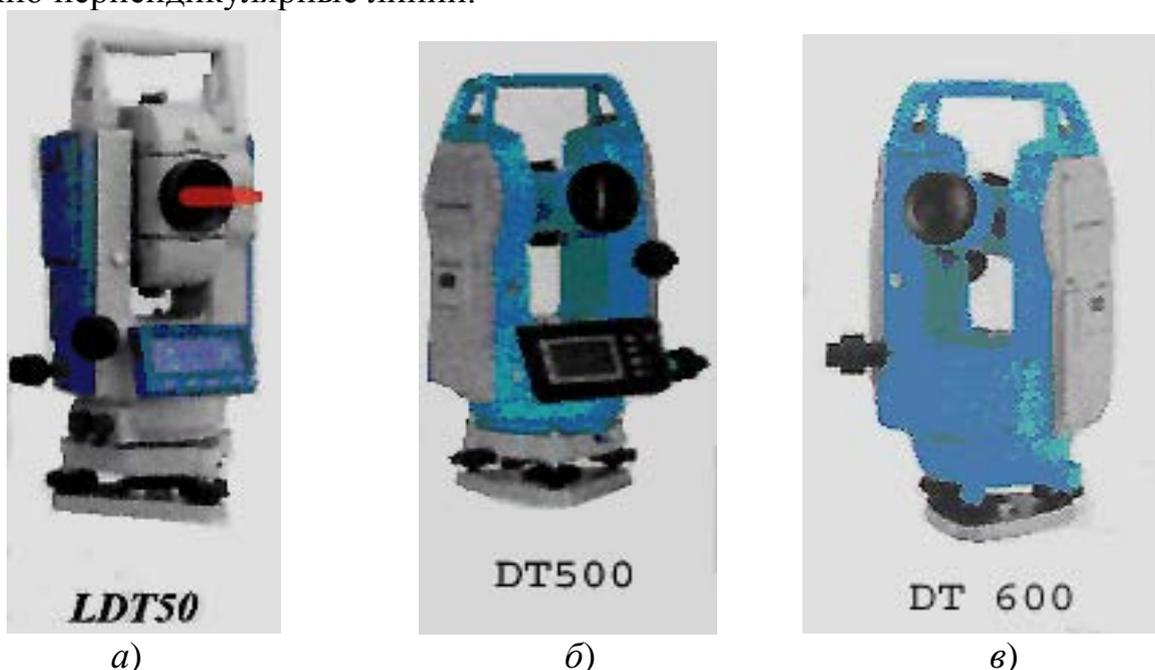


Рис.7. Электронные теодолиты

Двухосевой компенсатор с функцией предупреждения о недопустимом наклоне оси вращения теодолита позволяет получить максимальную точность угловых измерений. Дисплей теодолита имеет два экрана с каждой стороны и 4 строки по 20 символов.

Теодолиты DT500 и DT600 представляют новую серию электронных теодолитов фирмы SOKKIA. Они исключают погрешности наблюдателя при снятии отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Значения отсчетов и углов выводятся на дисплей.

К особенностям этого класса теодолитов, по мнению фирмы изготовителя, можно отнести:

- Современный дизайн;
- Большой удобный дисплей;
- Управление 4-мя кнопками;
- Оптический центрир;
- Надежный двухосевой компенсатор;
- Высокая степень защиты от внешних воздействий позволяет работать при самых неблагоприятных условиях (сильная запыленность, влажность).

Кроме перечисленных выше электронных теодолитов японской фирмы, значительные успехи в развитии этого направления имеются у фирмы «Вильд Хербругг» (Швейцария). Теодолит T2000S уже завоевал широкую популярность в нашей стране.

Лабораторная работа № 1. Устройство теодолитов

Цель: Изучить устройство теодолита технической точности, понять взаимодействие основных частей, научиться приводить теодолит в рабочее положение, наводить зрительную трубу на визирную цель и производить отсчеты по шкалам горизонтального и вертикального круга.

Порядок выполнения работы. Теодолит установить на штатив и прикрепить его становым винтом к штативу. Вывести подъемные винты в среднее положение. Привести теодолит в рабочее положение.

Центрирование. Под центрированием теодолита понимают совмещение центра лимба с вершиной измеряемого горизонтального угла. Для этого штатив необходимо расположить над вершиной измеряемого угла таким образом, чтобы его головка была горизонтальной (на глаз) и центр ее находился на одной отвесной линии с вершиной (на глаз). При этом ножки штатива должны быть хорошо утоплены в землю.

Перемещением теодолита по головке штатива и изменением положения ножек штатива (если в этом возникает необходимость) добиться совмещения острия отвеса и закрепленной вершины измеряемого угла при горизонтальном положении головки штатива.

При использовании оптического центрира, после центрирования на глаз, вращением подъемных винтов приводят вершину измеряемого угла в центр сетки нитей центрира, устанавливают уровень параллельно одной из ножек штатива и, изменяя ее положение по высоте, приводят пузырек в нуль пункт. Аналогичные действия повторяют с другими ножками штатива. В результате пузырек уровня должен располагаться в нуль-пункте, а центр вершины измеряемого угла в центре сетки нитей. При необходимости процедуру центрирования повторяют.

Нивелирование. Под нивелированием понимают приведение в горизонтальное положение плоскости лимба. Для этого необходимо установить уровень по направлению двух подъемных винтов (рис 8а) и вращением их в противоположные стороны вывести пузырек в нуль-пункт.

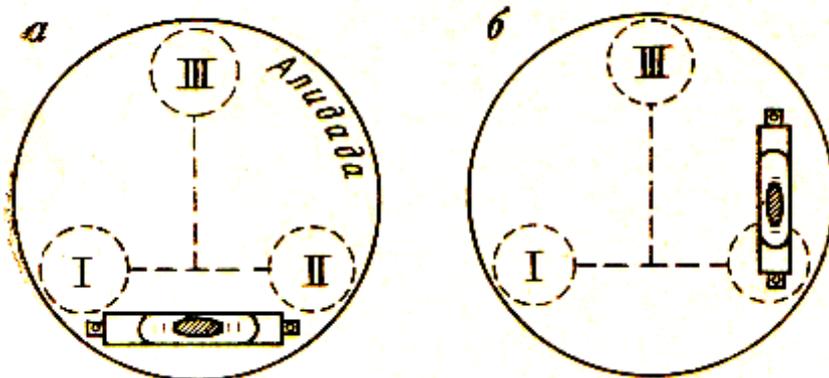


Рис.8. Схема нивелирования теодолита

Открепить алидаду и повернуть теодолит на **рис. 8 б)**. Вращая третий винт, привести пузырек в нуль-пункт. Проверить, остается ли пузырек в нуль-пункте при другом расположении подъемных винтов и цилиндрического уровня. Если нет, то повторить нивелирование.

Примечание. При центрировании теодолита оптическим отвесом операция нивелирования выполняется одновременно с центрированием.

Установка сетки нитей по глазу. Вращением диоптрийного кольца окуляра зрительной трубы добиться резкого изображения сетки нитей. Перемещением глаза у окуляра убедиться в отсутствии параллакса сетки нитей.

Наведение на цель сетки нитей. Открепить закрепительные винты зрительной трубы и алидады горизонтального круга и через коллиматорный визир 16 (рис.2) навести на цель так, чтобы она была в поле зрения трубы. Вращением кремальеры добиться резкого изображения визирной цели. Закрепить винты зрительной трубы и алидады горизонтального круга. Наводящими винтами алидады горизонтального круга и зрительной трубы ввести визирную цель в биссектор сетки нитей.

Снятие отсчета. Вращением зеркала добиться хорошей освещенности поля зрения отсчетного микроскопа и снять отсчет по горизонтальному кругу. Наводящим винтом зрительной трубы навести среднюю нить сетки нитей на верхний обрез визирной цели, убедиться, что пузырек уровня находится в нуль - пункте и снять отсчет по вертикальному кругу. *Если пузырек уровня не в нуль - пункте, то подъемным винтом, расположенным в створе линии визирования, привести его в нуль - пункт. Наводящим винтом зрительной трубы установить среднюю нить на верхний обрез визирной цели и только после этого снимать отсчет.*

Открепить закрепительные винты зрительной трубы и алидады, перевести зрительную трубу через зенит и повторить наведение зрительной трубы на ту же визирную цель при втором положении вертикального круга. Зарисовать поле зрения отсчетного микроскопа при обоих положениях круга (при круге право (КП) и при круге лево (КЛ)). Дать анализ погрешностей выполняемых действий.

Таблица 2. Журнал отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам

Теодолит 2Т 30П №12345

№ ст.	№ точки визирования	КЛ КП	Отсчет по горизонтальному кругу	Отсчет по вертикальному кругу
4	16	кл	253° 47' 30"	4° 26'30"
4	16	кп	73° 46' 30"	-4° 26'00"

В отчете по лабораторной работе необходимо представить рисунки поля зрения отсчетного микроскопа при круге лево и при круге право с иллюстрацией отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Одновременно с этим представить рисунок изучаемого теодолита и привести

основные части его устройства. Результаты измерений привести в журнале измерений табл.2. Перечислить погрешности, влияющие на точность наведения на визирную цель и снятия отсчетов.

Вопросы для самоконтроля

1. Для чего предназначен теодолит?
2. Перечислите основные части теодолита?
3. Что такое лимб и алидада? Чем они отличаются?
4. Объясните устройство зрительной трубы?
5. Что такое визирная ось зрительной трубы?
6. Объясните устройство и назначение цилиндрического уровня?
7. Что такое ось цилиндрического уровня?
8. Что означают термины «круг право», «круг лево»?
9. Как привести теодолит в рабочее положение?
10. Что такое центрирование теодолита?
11. Как установить зрительную трубу по глазу?
12. Что такое биссектор?
13. Покажите на чертеже как снять отсчет по горизонтальному кругу?
14. В каких случаях отсчет по вертикальному кругу имеет знак +, в каких -?
15. Как привести лимб в горизонтальное положение?
16. Что такое параллакс сетки нитей?

2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕОДОЛИТОВ

2.1. Определение угла поля зрения трубы

К основным метрологическим характеристикам теодолитов относят:

- Увеличение зрительной трубы;
- Угол поля зрения трубы;
- Точность измерения горизонтального угла одним приемом;
- Точность измерения вертикального угла полным приемом;
- Наименьшее расстояние визирования;
- Цена деления цилиндрического уровня;
- Коэффициент нитяного дальномера.

Определение увеличения зрительной трубы и цены деления цилиндрического уровня подробно рассмотрено при исследовании нивелиров. Определение этих же характеристик зрительной трубы теодолитов принципиально ни чем не отличается. Поэтому здесь рассмотрим только методику определения угла поля зрения зрительной трубы и коэффициента нитяного дальномера.

Пространство, видимое в зрительную трубу при неподвижном ее положении называется полем зрения трубы. Количественной

характеристикой поля зрения трубы является угол поля зрения ξ . Его можно определить различными способами.

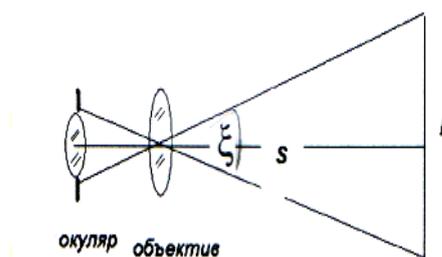


Рис. 9. Угол поля зрения

Здесь рассмотрим только два из них. Способ непосредственного измерения и способ определения с помощью рейки.

Для непосредственного измерения угла ξ поля зрения трубы теодолита наводят сначала левый (мнимая точка a), а затем правый край поля зрения (мнимая точка b) продолжением средней горизонтальной нити на выбранную визирную цель и снимают отсчеты по горизонтальному кругу. Разность отсчетов равна значению ξ . Аналогичные измерения выполняют по вертикальному кругу.

Разность отсчетов по горизонтальному кругу даст значение угла поля зрения по линии ab . Разность отсчетов по вертикальному кругу даст значение угла поля зрения по линии $вг$.

Результаты измерения записывают в таблицу 3.

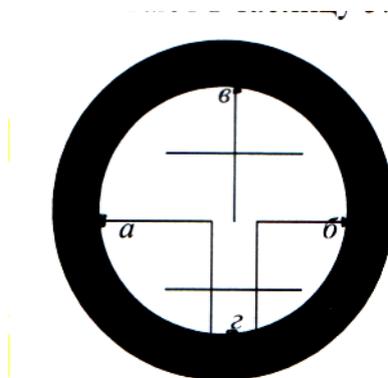


Рис.10. Схема расположения точек на объективе при измерении поля зрения

Таблица 3. Результаты измерения угла поля зрения трубы теодолита 4Т30П №15623

Горизонт. круг	Отсчет по левому краю	Отсчет по правому краю	Угол поля зрения ξ
1	323°45,5'	325°45,0'	1°59,5
Вертикаль. круг	Отсчет по верхнему краю	Отсчет по нижнему краю	
2	4°39,0'	2°39,0'	2° 00,0'

2.2. Определение угла поля зрения с помощью нивелирной рейки

Для определения ξ с помощью нивелирной рейки, устанавливают ее на расстоянии 10-20м от теодолита и подсчитывают, сколько сантиметровых делений уместится в пределах всего поля зрения. Тогда

$$\xi = 57,3^0 (l/s) \quad (2)$$

где s – расстояние от теодолита до рейки;

l - число сантиметровых делений рейки, изображение которых видны в пределах поля зрения трубы.

Результаты измерений записывают в таблицу 4.

Таблица 4. Определение угла поля зрения трубы с помощью рейки

№ измерения	Число см делений $l, \text{см}$	Расстояние до рейки $S, \text{см}$	ξ
1	27,5	788	2°,0

2.3. Определение коэффициента нитяного дальномера

Нитяной дальномер относится к классу оптических дальномеров с постоянным параллактическим углом и переменным базисом. Он образован верхней и нижней нитями сетки. Их проекции на нивелирную рейку (v и n рис 11) отсекают на ней отрезок l . Обозначив расстояние между верхней и нижней нитью буквой p , из подобных треугольников можно написать

$$d = (f/p) l + c, \quad (3)$$

где c – постоянное слагаемое;

f – фокусное расстояние объектива.

В современных теодолитах c мало и его, как правило, не учитывают при измерении расстояния нитяным дальномером.

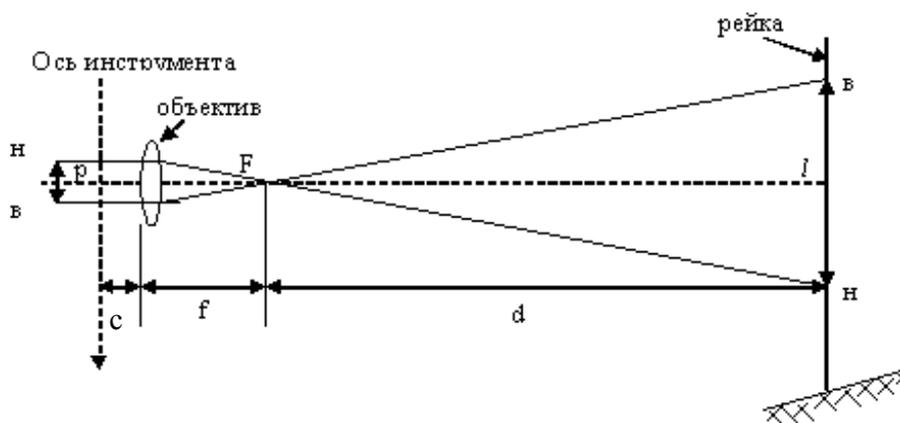


Рис. 11. Схема устройства нитяного дальномера

Отношение (f/p) называется **коэффициентом нитяного дальномера** и обозначается буквой K . Коэффициент нитяного дальномера K является одной из главных метрологических характеристик зрительных труб, так как при съемочных работах длины линий, в основном, измеряют нитяным дальномером. Конструктивно во всех геодезических приборах $K=100$. Однако погрешности нанесения штрихов сетки нитей, изготовления дальномерной рейки и оптических деталей трубы не позволяют иметь эту величину равной 100. В руководствах по применению геодезических приборов отмечается, что отличие K от 100 не должно превышать 0,5%. Поэтому, если предполагается выполнять линейные измерения нитяным дальномером, то рекомендуется определять значение K для каждого теодолита (нивелира) и комплекта нивелирных реек.

Определение коэффициента нитяного дальномера выполняют на базе компаратора длиной 100 – 150 метров, который разбит на 10 отрезков. Концы отрезков закреплены металлическими штырями, а длины отрезков измерены в прямом и обратном направлениях компарированной рулеткой.

Теодолит устанавливают на начальной точке базиса и приводят в рабочее положение. Устанавливают зрительную трубу в горизонтальное положение (отсчет по вертикальному кругу 0°) и снимают отсчеты по рейке, установленной на одной из точек базиса (рис.12). При этом, с целью контроля снятия отсчетов по рейке, их рекомендуется снимать по всем трем нитям по красной и черной сторонам рейки. Обозначим их v , c , n . В этом случае должны выполняться равенства: $0,5 (v_c + n_c) = c_c$ и $0,5 (v_{кр} + n_{кр}) = c_{кр}$.

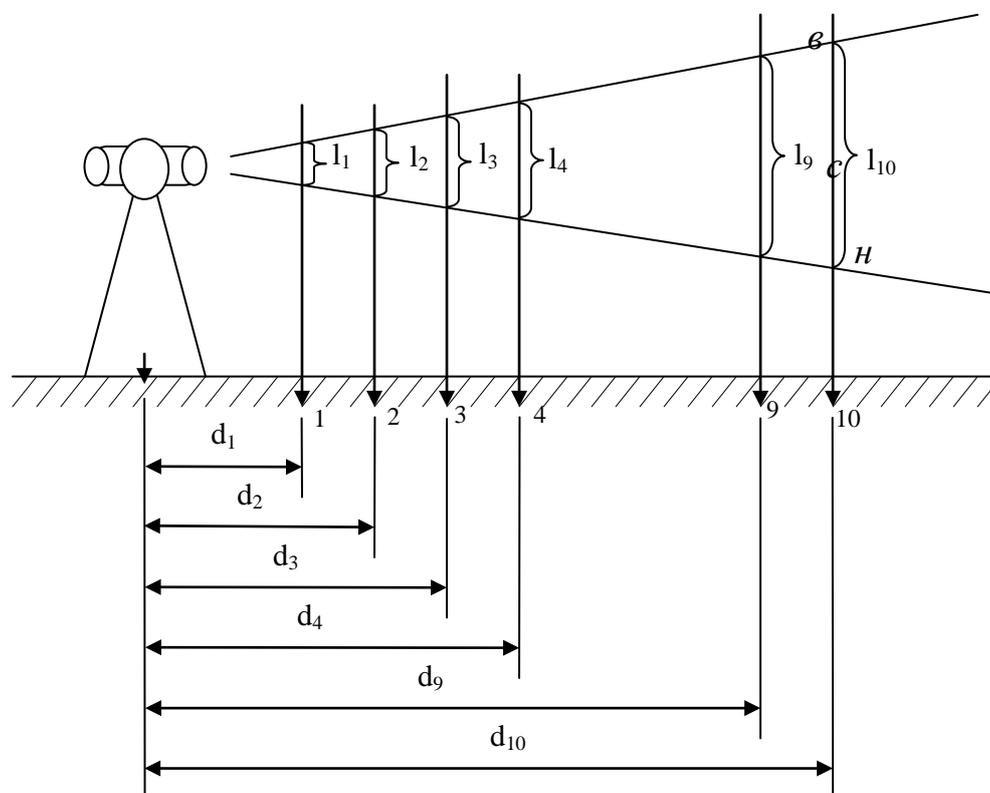


Рис. 12. Схема определения коэффициента нитяного дальномера

Кроме того, контролем правильности отсчетов по рейке, является равенство вычисленной пятки рейки и действительной. Различие не должно превышать 2-х мм. Если превышает, то все измерения повторяют.

Таблица 5. Журнал определения коэффициента нитяного дальномера теодолита 4Т30П №123456

№ точки	d _i м	отсчеты мм		Пятка рейки мм	K _i	V _i = K _i – K _{ср}
		черная	красная			
1		<i>v</i> <i>c</i> <i>n</i> <i>l_ч</i>	<i>l_{кр}</i>			

Значение коэффициента нитяного дальномера вычисляют по формуле

$$K_i = d_i / l_i, \quad (4)$$

где *d* – расстояние от теодолита до рейки, измеренное рулеткой;

l – разность отсчетов по верхней и нижней нити.

Значения *d* и *l* должны иметь одинаковую размерность, например мм.

Лабораторная работа № 2. Определение метрологических характеристик зрительной трубы теодолита

Цель. Научиться определять угол поля зрения трубы и коэффициент нитяного дальномера. Закрепить навыки отсчитывания по шкале микроскопа горизонтального и вертикального кругов, а так же снятия отсчетов по рейке.

Задание 1. Определить угол поля зрения зрительной трубы теодолита тремя способами:

- непосредственным измерением по горизонтальному кругу;
- непосредственным измерением по вертикальному кругу;
- измерением поля зрения с помощью нивелирной рейки.

Методика выполнения измерений изложена выше. Результаты измерения записать в журналы табл. 4 и 5. Дать анализ точности полученных результатов.

Задание 2. Определить коэффициент нитяного дальномера при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы не менее чем до 5 точек базиса. Отсчеты по черной и красной стороне рейки снимать по трем нитям; верхней (*v*), средней (*c*) и нижней (*n*). Правильность снятия отсчетов по рейке контролировать вычислением равенств $(v+n)/2 = c$. Отклонение от равенства не должно превышать 2мм.

Значение коэффициента нитяного дальномера вычислять и записывать с числом значащих цифр, имеющихся в делимом. Выполнить оценку точности полученных результатов по формуле Бесселя, для чего;

1. найти среднее значение K_{cp} ;
2. найти уклонения $v_i = K_i - K_{cp}$ каждого измерения от арифметической середины;
3. вычислить среднюю квадратическую погрешность одного измерения по формуле Бесселя $m_{K_i} = \sqrt{\sum v^2 / (n-1)}$;
4. вычислить среднюю квадратическую погрешность арифметической середины $M_k = m \sqrt{n}$;
5. окончательное значение коэффициента записать в виде $K = K_{cp} \pm M_k$.

Если значение K_{cp} отличается от 100, то в измеренные нитяным дальномером длины линий необходимо вводить поправки

$$\delta d_i = (K_{cp} - 100) l_i \quad (5)$$

Погрешность δd_i носит систематический характер и ее влияние на точность измерения длин линий может быть ослаблена только введением поправок.

Сделать анализ погрешностей, сопровождающих процесс определения коэффициента нитяного дальномера.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что такое поле зрения зрительной трубы?
2. Какие способы определения поля зрения трубы вы знаете?
3. Какие погрешности влияют на точность определения поля зрения?
4. Что такое коэффициент нитяного дальномера?
5. Как определить коэффициент нитяного дальномера?
6. Какие погрешности влияют на точность определения коэффициента нитяного дальномера?
7. Как повысить точность определения коэффициента нитяного дальномера?
8. Как учитывать при измерении длин линий отличие коэффициента нитяного дальномера от 100?

3. ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ

3.1. Основные геометрические оси теодолита

Теодолит является сложным оптико-механическим прибором, устройство которого должно удовлетворять целому ряду механико-технологических и геометрических условий. Основными механико-технологическими условиями при изготовлении теодолита являются:

- свободное и плавное перемещение всех подвижных частей прибора;
- надежность и устойчивость прибора при полевой эксплуатации;
- герметичность конструкции;

- обеспечение заданных параметров оптических систем теодолита (зрительной трубы, отсчетной системы);
- точное и тонкое нанесение штрихов лимбов, шкал, сеток нитей;
- высокоточное изготовление и сборка осевых систем;
- применение просветленной оптики.

Геометрические условия, которым должен удовлетворять теодолит, вытекают из того, что для непосредственного измерения горизонтального угла плоскость делений лимба должна быть горизонтальной, коллимационная плоскость зрительной трубы – вертикальной, а центр лимба должен быть установлен на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла.

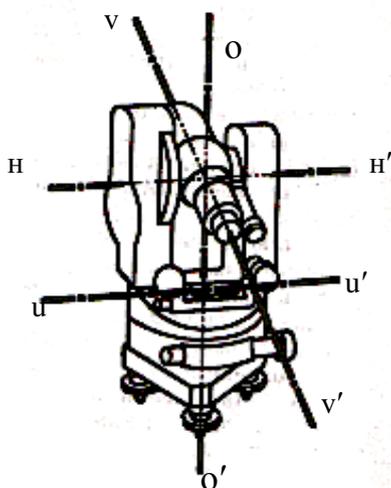


Рис. 13. Схема расположения основных осей теодолита.

Для обеспечения названных требований у теодолита должны выполняться следующие геометрические условия взаимного расположения основных осей.

- Ось цилиндрического уровня uu' алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита oo' ;
- Визирная ось vv' зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы nn' ;
- Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения oo' теодолита;
- Вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна оси вращения теодолита.

Для выяснения соответствия теодолита заданным механико-технологическим и геометрическим условиям выполняют его исследования в лабораторных и полевых условиях. В отношении геометрических условий такие исследования называют **п о в е р к а м и**.

Так как возможность добиться идеального выполнения геометрических условий отсутствует, то на величину отклонения накладывают ограничения, которые называют допуском.

Если перечисленные выше требования к взаимному расположению геометрических осей находятся в пределах допуска, то считается, что прибор исправен. Величина допуска зависит от требований, предъявляемых к точности измерений, выполняемых данным прибором, а приведение условия в пределы допуска называется юстировкой (исправлением). Юстировка выполняется с помощью соответствующих исправительных (юстировочных) винтов. Таким образом остаточные отклонения взаимного расположения осей от идеального всегда существуют и оказывают влияние на точность измерений. Они входят в группу инструментальных погрешностей. Важно уметь рассчитать степень их влияния на результат измерения, а отсюда разработать методику измерений и требование к тщательности юстировки геометрических условий взаимного расположения основных осей теодолита.

3.2. Поверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к оси вращения теодолита

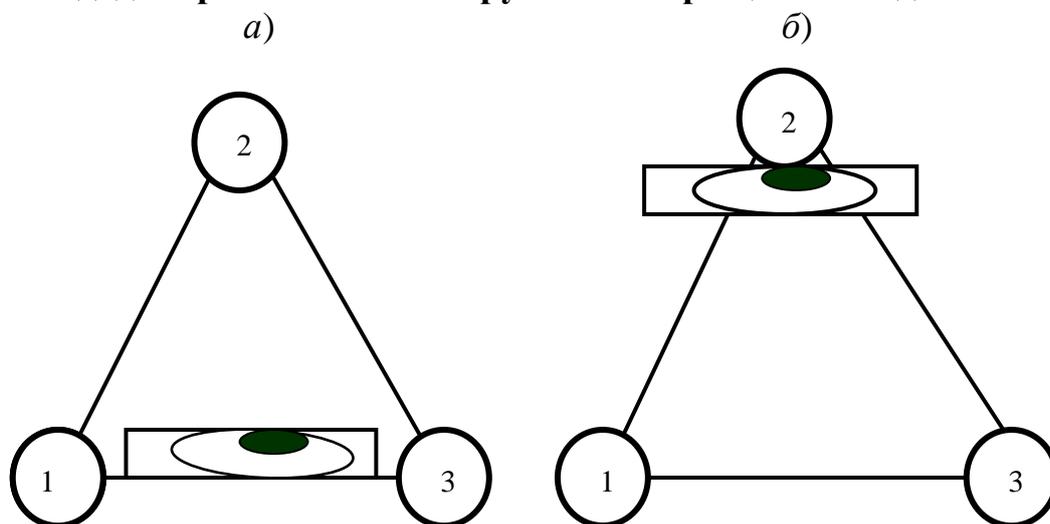


Рис.14. Схема проверки перпендикулярности оси цилиндрического уровня к оси вращения теодолита первым способом

Поверку можно выполнить несколькими способами

Способ первый. Теодолит устанавливают на штатив и приводят в рабочее положение. Для этого поворотом алидады устанавливают проверяемый уровень по направлению, соединяющему два подъемных винта, например 1-3 (рис. 14а). Вращая их в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня на середину ампулы (в нуль-пункт). Снимают отсчет по горизонтальному кругу и поворачивают алидаду на 180° (рис.14б).

Если пузырек остался в нуль-пункте или отклонился не более чем на одно деление, то условие выполнено. Если отклонение пузырька от нуль-пункта более одного деления, то требуется юстировка цилиндрического уровня. Для этого исправительными винтами уровня перемещают пузырек по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения. Теперь ось

цилиндрического уровня перпендикулярна оси вращения теодолита. Что бы убедиться в этом поверку повторяют. То есть снова устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов, желательнее других, и приводят пузырек в нуль-пункт подъемными винтами. Поворачивают алидаду на 180° и оценивают отклонение пузырька от нуль-пункта. Если юстировка была выполнена правильно, то он должен остаться в нуль-пункте или отклониться от него не более чем на одно деление.

Способ второй. Также как и в первом способе, уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов, например 1-2 (рис.15а), и приводят пузырек уровня в нуль-пункт вращением их в противоположных направлениях.

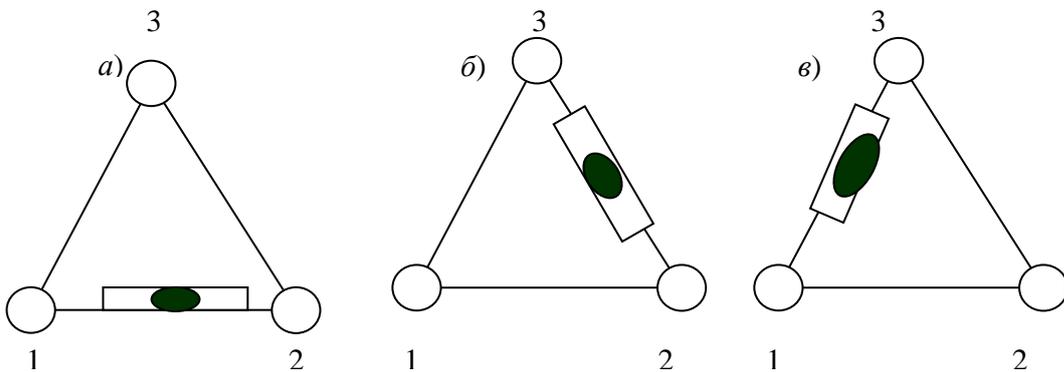


Рис.15. Поверка перпендикулярности оси цилиндрического уровня и оси вращения теодолита вторым способом

Поворачивают алидаду на 60° и вращением подъемного винта 3 (рис.15б) приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Вращая алидаду, устанавливают уровень параллельно подъемным винтам 1-3 (рис.15в). Если при этом положении пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. Если он отклонился из нуль-пункта, то условие не выполняется и уровень требует юстировки. Исправительными винтами уровня, ослабляя один и подтягивая другой, приводят пузырек в нуль-пункт. Поверку следует повторить желательнее другим способом, например, первым способом.

Преимущество второго способа по сравнению с первым состоит в том, что пузырек перемещается на полную дугу отклонения, что сокращает время на юстировку.

Способ третий. Установив алидаду приблизительно в горизонтальное положение, вращают её до тех пор, пока пузырек поверяемого уровня не установится в нуль-пункт. Снимают отсчет по горизонтальному кругу N_1 . Продолжают вращать алидаду в том же направлении до повторного приведения пузырька уровня в нуль-пункт. Снимают отсчет N_2 . Вычисляют отсчет N_0 , при котором ось поверяемого уровня параллельна плоскости лимба по формуле

$$N_0 = 0.5(N_1 + N_2) + 90^\circ \quad (6)$$

Устанавливают алидаду на вычисленный отсчет N_0 и устраняют отклонение исправительными винтами уровня. Приведение оси вращения теодолита в отвесное положение осуществляют обычным способом.

Примечание. Прежде чем выполнять юстировку уровня необходимо решить, а стоит ли это делать?

Так, например, если теодолит предназначен для измерения горизонтальных углов при создании съемочного обоснования или при топографических съемках местности, то отклонение пузырька уровня от нуля-пункта на одно – два деления вполне допустимо. Это будет доказано ниже при анализе аналитической зависимости погрешности измерения от величины наклона лимба.

При использовании теодолита на строительной площадке для установки конструкций в отвесное положение, требования к выполнению данного условия значительно выше. Если условие не выполняется, то есть между осью цилиндрического уровня и осью вращения теодолита угол больше или меньше 90^0 , то ось вращения зрительной трубы будет наклонена к горизонту на такой же угол, а следовательно, на такой же угол будет наклонена коллимационная плоскость, а следовательно, и строительная конструкция. В этом случае строительный допуск на наклон конструкции определяет точность приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт и точность юстировки данного условия. Можно всегда рассчитать допустимую величину отклонения пузырька уровня от нуля-пункта для предстоящего вида работ и выполнить юстировку с требуемой точностью.

3.3. Поверка перпендикулярности визирной оси к оси вращения зрительной трубы

Если данное условие выполняется, то визирная ось зрительной трубы vv' , при вращении зрительной трубы вокруг оси вращения nn' , образует коллимационную плоскость. После приведения теодолита в рабочее положение коллимационная плоскость отвесна. Относительно её устанавливаются строительные конструкции в отвесное положение.

Если данное условие не выполняется, то визирная ось при вращении зрительной трубы вокруг своей оси образует не плоскость, а эллиптическую поверхность (рис. 16). Угол не перпендикулярности визирной оси к оси вращения зрительной трубы c называется *коллимационной ошибкой*. При установке строительных конструкций в отвесное положение теодолитом, у которого c больше двойной точности теодолита, не рекомендуется.

Поверку этого условия можно выполнить различными способами.

Способ первый. Устанавливают теодолит на штатив и, прикрепив его становым винтом, приводят в рабочее положение. Для этого устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек в нуль-пункт. Поворачивают алидаду на 90° и третьим подъемным винтом приводят пузырек в нуль-пункт. После таких действий пузырек должен оставаться в нуль-пункте в любом положении алидады. Если пузырек уходит из нуль-пункта, то горизонтирование лимба теодолита повторяют. Если и после повторного горизонтирования пузырек уходит из нуль-пункта, то это свидетельствует

или о неустойчивости штатива, или о не качественно выполненной юстировке цилиндрического уровня и тогда необходимо вернуться к проверке первого условия.

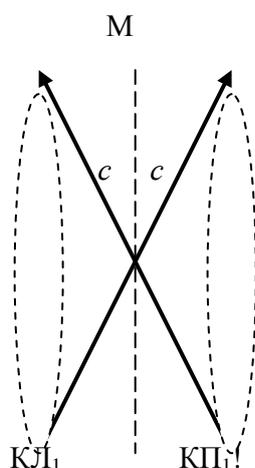


Рис.16. Схема определения коллимационной ошибки первым способом

Для проверки выбирают удаленную точку М, находящуюся примерно на одном уровне с осью вращения трубы (отсчет по вертикальному кругу должен быть близким к нулю). Измерения начинают с круга лево (КЛ). Введя наводящими винтами алидады и зрительной трубы визирную цель в биссектор сетки нитей, снимают отсчет по горизонтальному кругу. Обозначим его КЛ₁. Открепляют зрительную трубу, переводят ее через зенит, открепляют алидаду и снова наводят на ту же визирную цель. Снимают отсчет КП₁. Если отсчеты при КЛ₁ и КП₁ отличаются ровно на 180°, то условие выполняется, т.е. коллимационная ошибка равна нулю.

С целью контроля и ослабления некоторых погрешностей (эксцентриситета алидады, снятия отсчетов и др.), измерения повторяют. Для этого открепляют теодолит в подставке и поворачивают его примерно на 180°. Далее выполняют наведение на ту же визирную цель при КП, а затем при КЛ. Отсчеты по горизонтальному кругу соответственно равны КП₂ и КЛ₂

Величину коллимационной ошибки вычисляют по формуле

$$c = 0.25((КЛ_1 - КП_1 \pm 180^0) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^0)) \quad (5)$$

Если величина c не превышает двойной точности теодолита, то считается, что условие выполняется. Если превышает двойную точность теодолита, то производится юстировка. С этой целью, вращением наводящего винта алидады, устанавливают отсчет на горизонтальном круге, вычисленный как $КП_0 = КП_2 + c$ или $КЛ_0 = КЛ_2 - c$. Эти отсчеты свободны от коллимационной погрешности.

В результате вращения наводящего винта алидады, сетка нитей сойдет с наблюдаемой цели. Теперь, действуя исправительными винтами сетки нитей, вновь совмещают центр сетки с изображением наблюдаемой точки (вводят ее в биссектор).

Внимание! В процессе юстировки необходимо ослабить один из вертикальных исправительных винтов и, ослабляя один из горизонтальных винтов, и подтягивая на такую же величину другой, перемещают сетку. При этом нельзя применять усилий при вращении исправительных винтов! После исправления необходимо подтянуть вертикальный винт, который ослабляли до начала юстировки.

Способ второй. Устанавливают теодолит посередине выбранной линии длиной примерно 100 м. На одном конце линии устанавливают визирную марку или выбирают четко видимую точку примерно на высоте прибора, а на другом конце располагают горизонтально линейку перпендикулярно визирному лучу и тоже на высоте прибора.

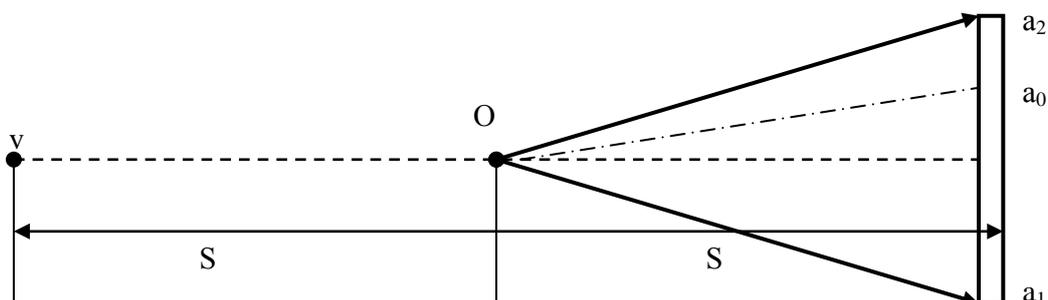


Рис.17. Схема определения коллимационной ошибки вторым способом

Приводят плоскость лимба в горизонтальное положение и наводят биссектор сетки нитей на визирную цель v . Затем переводят трубу через зенит и, не изменяя фокусировки, берут отсчет a_1 по линейке с точностью до 1 мм. по вертикальному штриху сетки. Открепив алидаду, снова наводят на визирную цель v . Переводят трубу через зенит и снимают отсчет a_2 по рейке. Если отсчеты a_1 и a_2 не совпадают, то принимают решение о юстировке. Для этого вычисляют отсчет $a_0 = 0,5 [a_2 + (a_1 + a_2)/2]$ и боковыми исправительными винтами сетки смещают ее на вычисленный отсчет a_0 . Проверку следует повторить, например, первым способом для того, чтобы убедиться, что остаточная величина коллимационной ошибки не превышает установленного допуска.

Примечание. Прежде чем выполнять юстировку коллимационной погрешности, необходимо определить, а следует ли это делать? Так, если теодолит будет применяться для измерения горизонтальных углов полным приемом (КЛ и КП), то среднее значение угла будет свободно от коллимационной ошибки. Качество измерений в этом случае хорошо контролируется постоянством значения коллимационной ошибки. Следовательно, юстировку коллимационной ошибки можно не производить.

При применении теодолита в инженерно-геодезических работах, например, при установке конструкций в отвесное положение, необходимо стараться, насколько это возможно, освободиться от коллимационной ошибки. Это вызвано тем, что ее величина зависит от угла

наклона. А, учитывая, что наблюдения выполняют при одном положении вертикального круга, коллимационная погрешность может оказать существенное влияние на точность установки конструкции в отвесное положение.

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

Установив теодолит в 30-40м от стены здания и, тщательно приведя лимб в горизонтальное положение, наводят центр сетки нитей на высоко расположенную точку М стены. Открепляют зрительную трубу при закрепленной алидаде и наклоняют ее до горизонтального положения. На стене отмечают карандашом точку m_1 , в которую проектируется центр сетки.

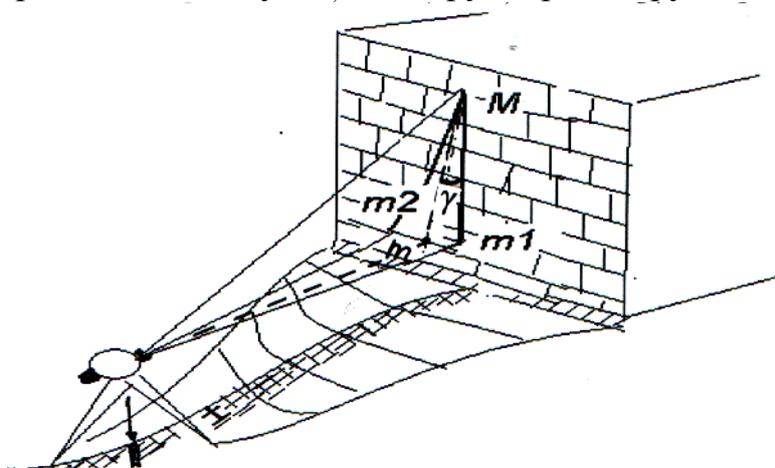


Рис.18. Схема проверки перпендикулярности оси вращения зрительной трубы nn_1 и оси вращения теодолита oo_1

Переводят зрительную трубу через зенит, открепляют алидаду и при втором положении круга повторяют те же действия, отмечая на стене положение точки m_2 . Если точки m_1 и m_2 совпадут, то условие выполняется. В противном случае ось вращения зрительной трубы не перпендикулярна оси вращения теодолита. Это происходит из-за неравенства высот колонок, на которых покоится ось вращения зрительной трубы. В современных конструкциях теодолитов не предусмотрено юстировочных приспособлений, поэтому устранить не перпендикулярность оси вращения зрительной трубы и оси вращения теодолита можно только в заводских условиях.

При измерении горизонтальных углов при двух положениях вертикального круга и при углах наклона близких к нулю, данная погрешность компенсируется. Учитывая, что установка конструкций в отвесное положение осуществляется, чаще всего, при одном положении круга, невыполнение условия перпендикулярности оси вращения зрительной трубы и оси вращения теодолита, вызовет погрешность при установке конструкций в отвесное положение. Величина погрешности зависит от величины отрезка m_1m_2 , то есть от величины неперпендикулярности проверяемых осей. Считается, что если величина m_1m_2 больше ширины

биссектора сетки нитей, то таким теодолитом пользоваться на строительной площадке не рекомендуется.

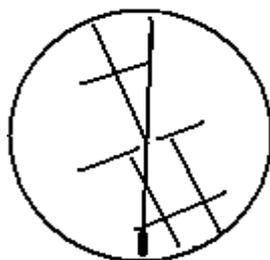
Величину неперпендикулярности этих осей можно выразить в угловой форме. Из рисунка 18 видно, что

$$\gamma'' = (m_1 m_2 / 2Mm) \rho. \quad (6)$$

Примечание. При выполнении поверки необходимо особенно тщательно следить за положением пузырька цилиндрического уровня. Отклонение его от нуля-пункта может значительно исказить результаты поверки. Заключение о не выполнении условия перпендикулярности оси вращения зрительной трубы к оси вращения теодолита может быть сделано только по результатам многократных измерений.

3.5. Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси вращения теодолита.

Приводят теодолит в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки на нить отвеса, подвешенного в 10-15м от теодолита. Если вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, то условие выполняется. В противном случае снимают предохранительный колпачок сеточной диафрагмы и, ослабив винты, крепящие окуляр к корпусу зрительной трубы, поворачивают диафрагму на требуемый угол.



*Рис.19.*Схема проверки правильности установки сетки нитей

После этого необходимо закрепить ослабленные крепежные винты и повторить поверку перпендикулярности визирной оси к оси вращения зрительной трубы.

Рассмотренные выше основные геометрические условия должны выполняться у теодолитов любого класса точности. Только в этом случае прибор считается пригодным для измерений. В тоже время, в зависимости от комплектации теодолита дополнительными приспособлениями, возможны и другие поверки. Например, теодолиты серии 2Т30П имеют дополнительный цилиндрический уровень на зрительной трубе, который позволяет приводить визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение. Это позволяет использовать теодолит в качестве нивелира. Но в этом случае необходимо потребовать выполнения дополнительного геометрического условия: визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси

цилиндрического уровня. Проверить, выполняется ли это условие, можно точно так же как аналогичное условие у нивелира.

У теодолитов с компенсатором при вертикальном круге возникает необходимость поверки. компенсации углов наклона оси вращения теодолита.

У теодолитов, укомплектованных оптическим центриром, проверяют параллельность оптической оси центрира оси вращения теодолита и т. д.

В паспорте теодолита всегда приводится полный перечень геометрических условий и методика их поверок и юстировок.

Лабораторная работа №3 Поверки и юстировки теодолита

Цель. Научиться самостоятельно выполнять основные поверки, а при необходимости, - юстировки геометрических условий расположения основных осей теодолитов технической точности.

Задание. Выполнить поверки основных геометрических условий теодолита технической точности в соответствии с программой, изложенной выше. При необходимости,- провести юстировки. Дать анализ погрешностей, сопровождающих процесс измерений. Привести описание схемы поверки, сопроводив её необходимыми чертежами. Результаты измерений записать в табличной форме. Сделать заключение о возможности применения исследуемого прибора на строительной площадке.

Вопросы для самоконтроля.

1. Перечислите основные оси теодолита?
2. Какие геометрические условия взаимного расположения осей должны выполняться у теодолитов технической точности?
3. Как проверить и отъюстировать перпендикулярность оси цилиндрического уровня и оси вращения теодолита?
4. Как проверить и отъюстировать перпендикулярность визирной оси зрительной трубы и оси вращения зрительной трубы?
5. Как проверить перпендикулярность оси вращения зрительной трубы к оси вращения теодолита?
6. Как проверить правильность установки сетки нитей?
7. Почему при юстировке оси цилиндрического уровня пузырек переводят исправительными винтами на половину дуги отклонения?
8. Какие погрешности влияют на точность определения коллимационной ошибки?
9. Как невыполнение условия перпендикулярности оси цилиндрического уровня к оси вращения теодолита повлияет на точность установки конструкций в отвесное положение?
10. Как невыполнение условия перпендикулярности оси цилиндрического уровня к оси вращения теодолита повлияет на точность измерения горизонтальных углов?

11. Как невыполнение условия перпендикулярности визирной оси к оси вращения зрительной трубы теодолита повлияет на точность измерения горизонтальных углов?
12. Как невыполнение условия перпендикулярности визирной оси и оси вращения зрительной трубы теодолита повлияет на точность установки конструкций в отвесное положение?
13. Как отъюстировать не перпендикулярность визирной оси к оси вращения зрительной трубы?
14. При каких условиях невыполнение перпендикулярности визирной оси и оси вращения зрительной трубы не окажет влияния на измеряемый горизонтальный угол?

4. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

4.1. Принцип измерения горизонтальных углов

Под горизонтальным углом в геодезии понимают меру двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями N и P , проходящими через стороны OA и OB (рис.20.). Если расчесть двугранный угол горизонтальной плоскостью Q , то след от сечения и будет являться горизонтальным углом β . Он может принимать значения от 0° до 360° . Для измерения горизонтального угла необходимо иметь градуированный круг, центр которого совмещен с гранью двугранного угла, а сам круг в процессе измерения должен располагаться в горизонтальной плоскости и быть неподвижным в процессе измерения.

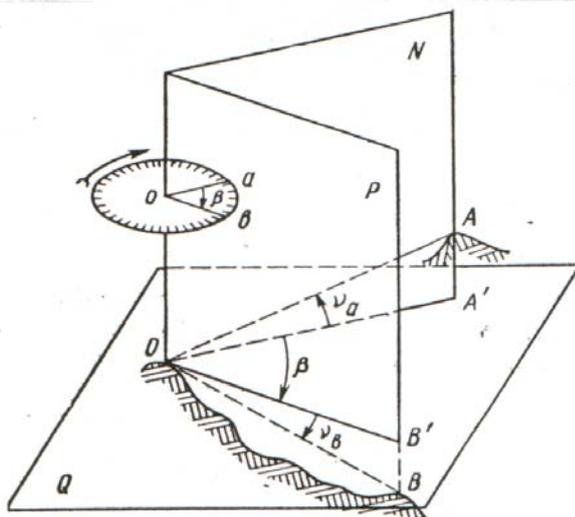


Рис.20. Принципиальная схема измерения горизонтального угла

В этом заключается суть измерения горизонтального угла и отсюда следует принцип устройства теодолита. Плоскости N и P (коллимационные плоскости) образуются визирной осью зрительной трубы при вращении ее вокруг горизонтальной оси теодолита.

Градуированный круг есть лимб теодолита. Деления на горизонтальном круге подписаны по ходу часовой стрелке. Если по горизонтальному кругу снять отсчеты сечения его коллимационными плоскостями a и b , то их разность и даст значение измеряемого угла $\beta = b - a$.

Для приведения лимба в горизонтальное положение служит цилиндрический уровень. Совмещение центра лимба с гранью двугранного угла называется центрированием теодолита, а приведение лимба в горизонтальное положение, - нивелированием теодолита.

Центрирование теодолита можно выполнить различными способами:

- нитяным отвесом (точность центрирования ± 5 мм);
- оптическим отвесом (точность центрирования $\pm 1 \div 2$ мм);
- механическим отвесом (точность центрирования ≤ 1 мм).

Применение того или иного приспособления для центрирования теодолита зависит от требуемой точности измерения горизонтального угла. Теодолиты точные и высокоточные имеют встроенные оптические отвесы, которые подлежат обязательной проверке перед измерением горизонтальных углов.

4.2.Методика измерения горизонтального угла способом отдельных приемов

Способ приемов применяют чаще всего в тех случаях, когда в вершине угла сходятся только два направления. Вершина угла O (рис.21) и концы направлений точки A и B должны быть на местности закреплены, а по линиям OA и OB должна быть прямая видимость. Измерения начинают, как правило, с круга лево (КЛ) и выполняют в следующей последовательности.

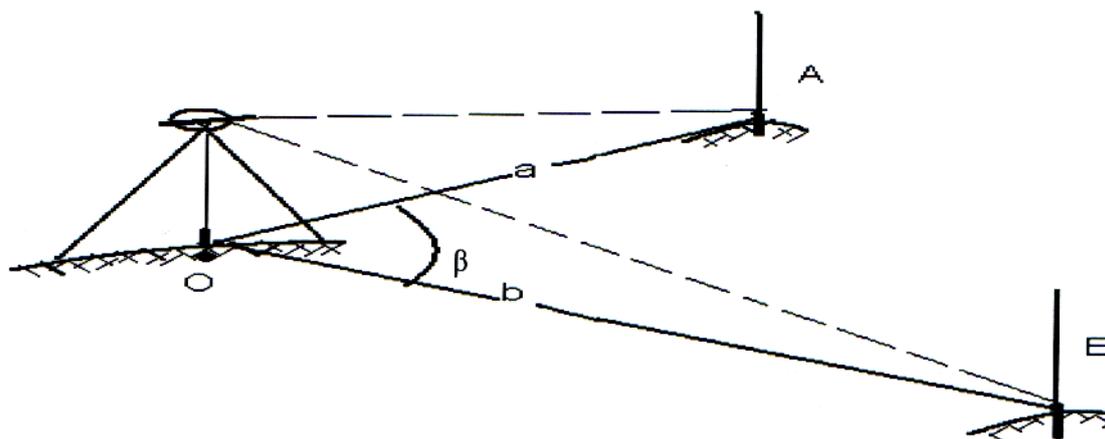


Рис.21.Схема измерения горизонтального угла

Теодолит устанавливают над вершиной O и приводят его в рабочее положение, т.е.

- центрируют с помощью нитяного отвеса или оптического отвеса;
- нивелируют с помощью цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга;
- устанавливают по глазу сетку нитей;

Непосредственно процесс измерения сводится к следующему:

- открепляют алидаду горизонтального круга и зрительную трубу и, отведя алидаду на $30-40^\circ$ влево от направления ОА, наводят на визирную цель, установленную в точке А. Наведение осуществляют сначала от руки так, чтобы она оказалась справа от биссектора. В этом положении алидаду закрепляют и, вращая наводящий винт алидады по ходу часовой стрелки (на ввинчивание), вводят визирную цель в биссектор. Закрепив зрительную трубу, наводящим винтом зрительной трубы вводят визирную цель как можно ближе к перекрестию сетки нитей.
- снимают отсчет по шкале микроскопа ($35^\circ 13' 30''$) и записывают его в журнал измерения горизонтальных углов (табл.6);
- открепляют алидаду и зрительную трубу и наводят трубу на визирную цель, установленную в точке В, сначала от руки, затем после закрепления винта алидады и зрительной трубы наводящими винтами на ввинчивание вводят визирную цель в биссектор;
- снимают отсчет по шкале микроскопа ($88^\circ 26' 00''$) и записывают его в журнал измерения горизонтальных углов на свое место;
- вычисляют значение горизонтального угла, вычитая из отсчета на правое направление левое, т.е. $\beta = 88^\circ 26' 00'' - 35^\circ 13' 30'' = 53^\circ 12' 30''$.

Получили значение угла из одного полуприема, т.е. необходимое измерение.

Для получения избыточного (контрольного) измерения тот же самый угол измеряют при другом положении вертикального круга.

Последовательность действий при измерении совершенно аналогична методике, изложенной выше. Однако, если при круге лево начинали измерение с левого направления (точка А), то при круге право рекомендуется измерение начинать с наведения на правую точку В. Два таких полуприема составляют полный прием.

Таблица 6. Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов
Теодолит 4Т30П №12345

№ ст.	№ точки наблюдения	Полож круга	Отсчет по гор. кр	Значение угла из п/п	Значение угла из приема
О	А	кл	$35^\circ 13' 30''$		
	В	кл	$88^\circ 26' 00''$	$53^\circ 12' 30''$	
О	А	кп	$215^\circ 14' 00''$		$53^\circ 12' 45''$
	В	кп	$268^\circ 27' 00''$	$53^\circ 13' 00''$	

Основным контролем правильности измерений является постоянство коллимационной ошибки теодолита. Если коллимационная ошибка изменяет свою величину более чем на двойную точность теодолита, то это указывает или на низкую точность наведения на визирную цель, или на погрешности в снятии отсчета по шкале алидады, или на недостаточно надежное крепление сетки нитей в обойме, или на неустойчивость штатива.

Контролем правильности измерений является также расхождение значений вычисленных углов в отдельных полуприемах. Величина $\Delta\beta = \beta_{\text{кл}} - \beta_{\text{кп}}$ не должна превышать двойной точности теодолита. Если превышает, то сначала проверяют правильность вычисления углов в полуприемах. Если ошибка не обнаружена, то измерения повторяют на других частях лимба.

При $\Delta\beta \leq 2t$ за окончательное значение угла принимают среднее из двух полуприемов.

4.3. Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов

Данный способ применяют в тех случаях, когда из одной вершины исходит несколько направлений (три и более). В этом случае, после приведения теодолита в рабочее положение, последовательно визируют на визирные цели, установленные в точках А, В, С и т. д., при неподвижном лимбе. Алидаду вращают по ходу часовой стрелки. Измерения завершают повторным наведением на начальную точку А. Находят среднее значение начального направления a_0 , если первый и последний отсчеты различаются не более чем на двойную точность теодолита. В противном случае измерения повторяют

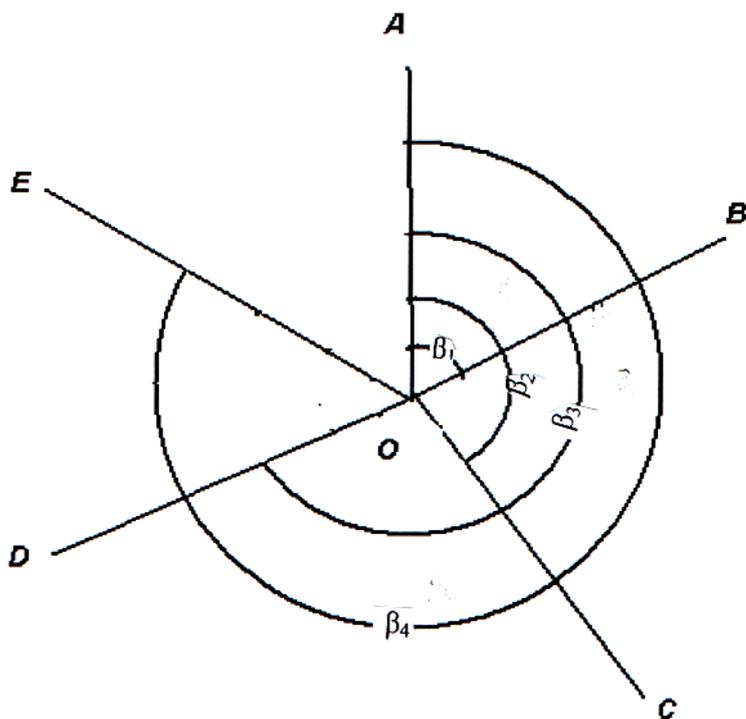


Рис. 22. Схема измерения горизонтальных углов круговыми приемами

Вычисляют значения углов относительно начального направления:

$$\beta_1 = v_1 - a_0; \beta_2 = c_1 - a_0; \beta_3 = d_1 - a_0 \text{ и т. д.}$$

Во втором полуприеме переводят зрительную трубу через зенит и повторяют аналогичные измерения, но в обратном направлении. Снова вычисляют горизонтальные углы относительно начального направления и

сравнивают их с измеренными в первом полуприеме. Если они не различаются более чем на двойную точность теодолита, то вычисляют средние значения.

Два таких полуприема составляют один прием. В зависимости от требуемой точности углы измеряют несколькими приемами. Во всех приемах направления приводят к одному начальному (ОА), отсчет на которое равен $0^{\circ} 00' 00''$. Контроль точности измерений осуществляют по постоянству коллимационной погрешности и по отклонениям от средних значений каждого направления.

Лабораторная работа № 4. Измерение горизонтальных углов способом отдельных приемов

Цель. Закрепить навыки приведения теодолита в рабочее положение, наведения на визирную цель и снятие отсчетов по горизонтальному кругу. Научиться вычислять значения горизонтальных углов и анализировать погрешности измерений.

Задание. Выполнить измерение трех горизонтальных углов, показанных на схеме (рис.23). Каждый из трех углов β_1 , β_2 и β_3) измерить отдельно на своей части лимба. Это означает, что, измерив угол β_1 полным приемом, открепляют лимб и поворачивают его на произвольный угол. Так же поступают и после измерения второго угла.

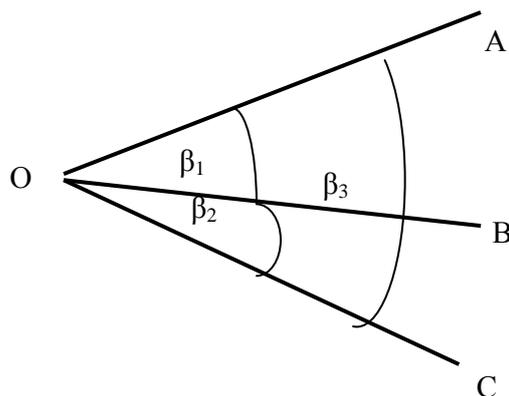


Рис.23. Схема задания на измерение горизонтальных углов отдельными приемами

Результаты измерений записать в табл. 7. Контролем правильности измерения служит постоянство коллимационной ошибки и сходимость значений измеренных углов между полуприемами. Не приступать к измерению следующего угла до тех пор, пока не будут выполнены все вычисления и контроль предыдущего измерения.

Заключительным контролем правильности измерений служит невязка $f_{\beta} = \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$. С теоретической точки зрения её величина должна быть равна нулю. Однако погрешности измерений не позволяют добиться такого равенства. Предельное значение невязки не должно превышать величины $f_{\beta} \leq 2 t \sqrt{3}$. Здесь t есть точность теодолита.

Таблица 7. Журнал измерения горизонтальных углов способом отдельных приемов
Теодолит 4Т30П №12345

№ ст.	№ точки наблюдения	Полож круга	Отсчет по гор. кр	Значение угла из п/п	Значение угла из приема
О	А	кл	14°13' 30"		
	В	кл	19°28' 30"	5°15'00"	
О	А	кп	194°14' 00"		5°14'45"
	В	кп	199°28' 30"	5°14'30"	
О	В	кл	78°18' 30"		
	С	кл	88°15' 30"	9°57'00"	
О	В	кп	258°18' 30"		9°56'45"
	С	кп	268°15' 00"	9°56'30"	
О	А	кл	104°45' 00"		
	С	кл	119°57' 30"	15°12'30"	
О	А	кп	284°45' 30"		15°12'00"
	С	кп	299°57' 00"	15°11'30"	

Контроль. $f_{\beta} = 5^{\circ}14'45'' + 9^{\circ}56'45'' - 15^{\circ}12'00'' = -0^{\circ}00'30''$ т.е. $< 1,7'$

4.4. Основные погрешности измерения горизонтальных углов

Как и при любых других измерениях, основными источниками погрешностей угловых измерений являются:

- инструментальные погрешности;
- погрешности субъекта (личные погрешности);
- погрешности из-за влияния внешней среды;
- погрешности, связанные с методикой измерений.

Приведенная классификация погрешностей измерений в значительной мере носит условный характер. При анализе погрешностей измерений рекомендуется рассматривать их в соответствии с технологией измерительного процесса, который можно условно подразделить на три этапа. На первом этапе исследуют:

- погрешности нанесения штрихов на лимбе;
- отклонение формы внутренней поверхности ампулы уровня от сферической;
- качество изготовления оптики зрительной трубы, в том числе прямолинейность хода фокусирующей линзы;
- несовпадение центров лимба и алидады (эксцентриситет алидады);
- отклонение действительной точности отсчетных приспособлений от точности, заданной конструктивно, определяют рен микроскопа;
- качество работы закрепительных и наводящих винтов;
- качание подъемных винтов и осевых соединений.

Перечисленные недостатки изготовления и сборки прибора вносят существенные погрешности в измерение горизонтальных углов. Их относят к инструментальным погрешностям. Они не могут быть устранены в процессе эксплуатации прибора наблюдателем. Поэтому они должны быть выявлены на стадии подготовки прибора к измерениям, а по результатам исследования определена возможность использования прибора для измерения углов. Исправление перечисленных недостатков возможно, как правило, только в заводских условиях или в специализированных мастерских. В тоже время влияние некоторых источников такого рода погрешностей может быть ослаблено или исключено применением соответствующих методов работы с инструментами. Примером тому может служить ослабление влияния эксцентриситета алидады горизонтального круга за счет снятия отсчетов по двум противоположным сторонам лимба, если это предусмотрено конструкцией теодолита, или изменением положения лимба примерно на 180° между полуприемами.

На этом же этапе исследуют соответствие взаимного расположения основных геометрических осей их конструктивному требованию. Данный вид исследований называют **п о в е р к а м и**. В случае не соответствия взаимного расположения отдельных осей их конструктивному требованию, производится их юстировка (исправление). Однако в любом случае частичное несоответствие взаимного расположения геометрических осей остается, которое обязательно окажет влияние на точность измерений. Задача пользователя оценить прогнозируемую погрешность и принять решение о возможности и необходимости ее ослабления или проигнорировать. Критерием здесь служит требование заказчика к точности конечных результатов измерения углов.

Так невыполнение первого геометрического условия, - перпендикулярности оси цилиндрического уровня к оси вращения теодолита, приводит к наклону лимба на угол i_T . Погрешность η_{iT} измерения горизонтального угла от наклона лимба имеет функциональную зависимость

$$\eta_{iT} = (\operatorname{tg}v_1 - \operatorname{tg}v_2) i_T, \quad (6)$$

где v_1 и v_2 углы наклона сторон измеряемого угла.

Отсюда видно, что если углы наклона линий визирования примерно одинаковы ($v_1 \approx v_2$), то наклон лимба в небольших пределах не окажет существенного влияния на точность измеряемого угла. Поэтому во многих руководствах по эксплуатации теодолитов записано, что пузырек уровня в процессе измерения горизонтального угла может отклоняться от нуля - пункта до двух делений, или в угловой мере для теодолитов технической точности наклон оси вращения составляет $1,5'$.

В тоже время при использовании данного теодолита для установки строительных конструкций в отвесное положение всегда $v_1 \neq v_2$, а их разность может достигать 45° . А это означает, что $\eta_{iT} \approx i_T$. Эта величина существенна потому, что наклон оси вращения теодолита вызовет наклон оси вращения зрительной трубы на такой же угол, а следовательно и наклон строительной конструкции. Если принять допуск отклонения пузырька уровня от нуля-

пункта 2 деления, то верхний оголовок колонны отклонится от вертикали за счет только данного источника погрешности на величину порядка 5мм при высоте конструкции 10м. Во многих случаях эта величина превосходит допуск на установку такого рода конструкции в отвесное положение. Поэтому при юстировке этого условия теодолита, используемого на строительной площадке, необходимо выполнять её с максимально возможной точностью (не ниже 0,5 деления шкалы уровня).

Невыполнение второго геометрического условия, перпендикулярности оси вращения зрительной трубы и визирной оси приводит к погрешности η_c измерения горизонтального угла. Аналитическое выражение которой имеет вид

$$\eta_c = c_0 (1/\cos v_1 - 1/\cos v_2), \quad (7)$$

где c_0 – значение коллимационной ошибки при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы ($v = 0$);

v_1 и v_2 - углы наклона сторон измеряемого угла.

Отсюда видно, что влияние коллимационной ошибки на точность измерения горизонтального угла при одном положении вертикального круга тем меньше, чем меньше разность между углами наклона визирных лучей, а при одинаковых углах наклона оно равно нулю. При измерении горизонтального угла при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП) влияние коллимационной ошибки равно нулю независимо от разности углов наклона сторон ОА и ОВ (рис.21).

На строительной площадке установка конструкций в отвесное положение выполняется, как правило, при одном положении вертикального круга, а различие углов наклона может достигать 45^0 . Поэтому наличие коллимационной ошибки окажет существенное влияние на точность установки конструкции в отвесное положение.

Таким образом, если теодолит предназначен для измерения горизонтальных углов полным приемом, то юстировку коллимационной ошибки можно не производить. И, наоборот, при использовании теодолита для установки или выверки вертикальности конструкций, юстировку коллимационной ошибки необходимо выполнять со всей тщательностью. В тоже время следует помнить, что привести ее к нулю не возможно и остаточное значение всегда окажет определенное влияние на точность установки конструкции в отвесное положение. Важно предвычислить ее величину и оценить влияние на конечный результат.

Невыполнение третьего геометрического условия, т.е. перпендикулярности оси вращения зрительной трубы к оси вращения теодолита, не оказывает существенного влияния на точность измерения горизонтального угла. Это справедливо, если угол измерен при КЛ и КП, а стороны имеют примерно одинаковые углы наклона. Функциональная зависимость между погрешностью измерения горизонтального угла от угла наклона оси вращения трубы и углов наклона линий визирования имеет вид

$$\eta_{it} = (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2) q_T, \quad (8)$$

где q_T – угол наклона оси вращения зрительной трубы, вызванный неравенством подставок.

Если в результате проверки этого условия установлено, что угол q_T превышает заданный для данного класса работ величину, то таким теодолитом устанавливать конструкции в отвесное положение не рекомендуется. Геодезические и топографические работы выполнять можно, если измерения производить при двух положениях круга.

Следующая группа погрешностей связана непосредственно с процессом приведения теодолита в рабочее положение. Прежде всего, это погрешность центрирования теодолита и визирных целей (погрешность редукции). Данные погрешности оказывают самое существенное влияние на точность измерения горизонтальных углов.

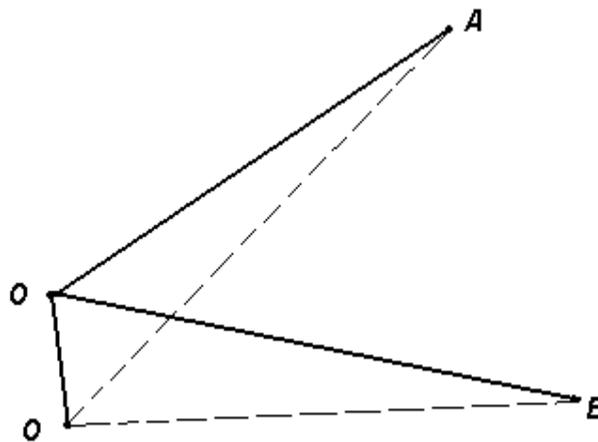


Рис.24. Погрешность центрирования теодолита

Центрировать теодолит идеально невозможно, поэтому в любом случае центр лимба будет находиться над точкой O , а над точкой O' на расстоянии e (линейный элемент центрирования) от точки O). Так при центрировании нитяным отвесом величина e достигает 5мм., а оптическим отвесом 2мм.

Вторым элементом погрешности центрирования является угол (угловой элемент центрирования). Оба элемента (e и θ) являются случайными величинами и подчиняются нормальному закону распределения при условии, что приспособление для центрирования хорошо выверено и юстировано.

Таким образом, вместо угла AOB (β) всегда измеряем угол $AO'B$ (β'). Разность

$$\eta_{ц.т.} = \beta' - \beta \quad (9)$$

является погрешностью измерения горизонтального угла, которая зависит от точности центрирования теодолита. Формулу (9) можно записать в виде

$$\eta_{ц.т.} = x_B - x_A \quad (10)$$

В формуле (10) x_B и x_A есть значения погрешностей направлений OB и OA , вызванные погрешностью центрирования. Они зависят от величины линейного элемента центрирования e ; длин сторон S_B и S_A ; угла

ориентирования линейного элемента θ , а также величины угла β . Их аналитические выражения, применительно к рис 24, имеют вид

$$x_A = (e / S_A) \rho \sin \beta \quad (11)$$

$$x_B = (e / S_B) \rho \sin(\theta + \beta), \quad (12)$$

где ρ – число секунд в радиане (206265").

Если принять $S_C = S_A = S$, то окончательное выражение погрешности измерения угла из-за погрешности центрирования примет вид

$$\eta_{ц.т} = (e / S) \rho (\sin(\theta + \beta) - \sin \beta). \quad (13)$$

Анализ данного выражения на экстремальные значения позволяет сделать заключение: $\eta_{ц.т} \rightarrow 0$ при $S \rightarrow \infty$;

$$\eta_{ц.т} \rightarrow \max = (e / S_C) \rho \text{ при } \beta = 180^\circ \text{ и } \theta = 90^\circ.$$

Таким образом, надо всегда стремиться к увеличению длин сторон, если это позволяют условия. При измерении углов теодолитами технической точности не допускаются длины сторон менее 40м, так как погрешность $\eta_{ц.т}$ становится соизмеримой с точностью данного прибора.

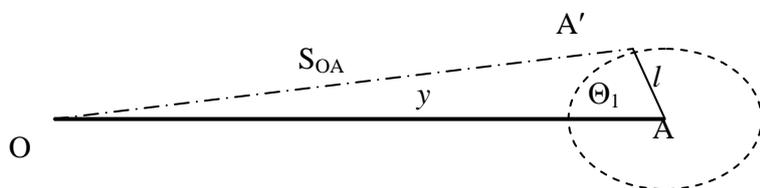


Рис. 25. Погрешность редукции

Точность измерения горизонтальных углов зависит также от погрешности редукции, то есть от погрешности центрирования визирной цели (рис.25). Геометрический смысл этой погрешности совершенно аналогичен погрешности центрирования теодолита. Так же как и при центрировании теодолита, линейный l и угловой Θ элементы центрирования носят случайный характер

Так, вместо точки A (рис.25) визирная цель центрирована над точкой A' , а следовательно измеряемый угол будет содержать погрешность y . Величина этой погрешности зависит от величины линейного элемента l ; расстояния S_{OA} и угла Θ_1 . Аналитически зависимость y от перечисленных факторов может быть выражена формулой

$$y = l \rho \sin \Theta_1 / S_{OA}. \quad (14)$$

Анализ данной формулы показывает, что независимо от величины l при угле $\Theta = 0^\circ$ или 180° погрешность $y = 0$. При $\Theta = 90^\circ$ или 270° погрешность y максимальна.

Отсюда рекомендация: при измерении углов на учебной практике рекомендуется вежу устанавливать непосредственно на центр точки и удерживать ее в вертикальном положении во время измерения. Если по каким либо причинам это невозможно сделать, то разрешается вежу установить вне точки, но обязательно в створе измеряемой линии. Кроме того, не рекомендуется при создании съёмочного обоснования выбирать длины сторон теодолитного хода короче 40 метров. Наиболее действенным

методом ослабления влияния погрешностей центрирования и редукции является перецентрирование прибора и визирной цели между отдельными приемами измерений (в тех случаях, когда измерение углов выполняют несколькими приемами).

После приведения теодолита в рабочее положение выполняют наведение на визирную цель. Погрешность этого процесса зависит от многих факторов:

- увеличения зрительной трубы;
- прозрачности атмосферы;
- фона, на который проектируется визирная цель;
- геометрических размеров визирной цели;
- расстояния от теодолита до визирной цели;
- остроты зрения наблюдателя;
- шага резьбы наводящих винтов и т. д.

Выразить зависимость погрешности визирования от перечисленных факторов в виде математической зависимости не представляется возможным. В учебной литературе ее представляют в виде формулы $\sigma_v = 60''/v$, то есть зависящей только от одного фактора, - увеличения зрительной трубы v .

Рекомендации по ослаблению влияния погрешности наведения на точность измеряемого угла сводятся к следующим:

- измерения следует выполнять в часы спокойного состояния атмосферы;
- видимость между вершиной угла и визирной целью должна быть с земли;
- наводить следует на самый низ вехи;
- веху или другую визирную цель устанавливать непосредственно на закрепленную точку;
- наведение осуществлять только наводящим винтом алидады на ввинчивание;
- визирную цель вводить в биссектор сетки нитей в центре поля зрения трубы.

После наведения на визирную цель снимают отсчеты по шкале алидады горизонтального круга. Здесь основной является погрешность оценки на глаз доли деления шкалы алидады. Так как теодолиты технической точности имеют шкалу алидады с ценой деления $t = 5'$, то при отсчитывании на глаз погрешность составит $\sigma_o = 0,1t$, то есть $= 30$. Это одна из самых существенных погрешностей из всего ряда погрешностей измерений горизонтальных углов. Она определяет класс точности прибора. На нее ориентируются при определении значимости других погрешностей. Так считается, что любая другая погрешность не окажет существенного влияния на конечный результат измерения, если ее величина меньше или равна $0,3 \sigma_o$.

На точность измерения горизонтальных углов существенное влияние оказывают внешние условия: температура и давление воздуха; влажность и прозрачность атмосферы; колебание воздушных масс. Наиболее

существенное влияние на точность измерений оказывает боковая составляющая рефракции. Она является следствием прохождения визирного луча через слои атмосферы с различной плотностью. Распределение плотности воздушных слоев связано с распределением температуры. Поэтому рефракционное поле обычно отождествляют с температурным полем и значением частного угла рефракции, который можно определить по формуле

$$\delta'' = 10.9 \frac{P}{T^2} S \frac{dt}{dy}, \quad (15)$$

где P – давление воздуха, мм;

T – абсолютная температура;

S – расстояние между прибором и визирной целью;

dt/dy – горизонтальный градиент температуры.

Несмотря на простоту функциональной зависимости между параметрами атмосферы, учесть при измерении горизонтальных углов влияние рефракции в практической работе не удастся. Поэтому основная рекомендация по ослаблению влияния рефракции на точность измерения горизонтальных углов сводится к тому, что измерения необходимо выполнять в часы спокойной атмосферы, а стороны угла не располагать близко к стенам зданий или других сооружений, обладающих локальным температурным полем.

На стадии вычислительной обработки результатов измерений основной погрешностью является погрешность округления и удержание при записи конечного результата верного числа значащих цифр.

4.5. Измерение вертикальных углов

Под вертикальным углом (углом наклона) понимают угол в вертикальной плоскости составленный линией горизонта UU^1 и линией визирования UA или UB (рис.26). Линию горизонта в теодолите технической точности образует ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга. У точных и высокоточных теодолитов алидада вертикального круга имеет свой цилиндрический уровень.

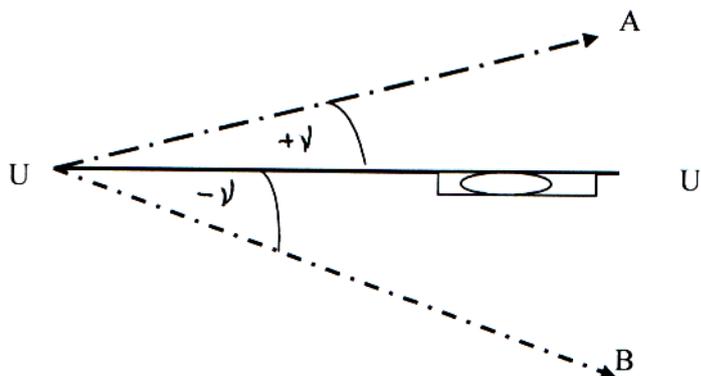


Рис. 26. Вертикальные углы

Вертикальный угол может принимать положительное и отрицательное значение в зависимости от того выше или ниже линии горизонта расположена точка визирования. На рис. 26 визирный луч линии UA располагается выше линии горизонта, следовательно, v имеет положительный знак, а UB ниже линии горизонта, следовательно, знак угла наклона v отрицательный.

Так как линию горизонта образует ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга, то при измерении углов наклона необходимо постоянно следить за положением пузырька цилиндрического уровня. Отклонение его от нуля-пункта внесет адекватную погрешность в измеряемый угол наклона.

Измерение вертикальных углов выполняют с помощью вертикального круга теодолита. Устройство его такое же, как устройство горизонтального круга, то есть он состоит из лимба и алидады. Лимб жестко скреплен со зрительной трубой. Но в отличие от горизонтального лимба деления здесь нанесены от 0° до 60° и от -0° до -60° . Шкала алидады совершенно аналогична шкале горизонтального круга (рис. 3). Изображение шкалы лимба и алидады проектируется в поле зрения отсчетного микроскопа.

У вертикального круга должно выполняться одно геометрическое условие: При горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси цилиндрического уровня отсчет по шкале вертикального круга должен быть равен нулю. Отличие отсчета от нуля называется **М е с т о м н у л я** вертикального круга.

Измерение вертикального угла выполняют в следующей последовательности:

- теодолит устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение;
- при положении зрительной трубы круг лево (КЛ) вращением наводящего винта зрительной трубы наводят среднюю нить сетки нитей на визирную цель (веху, рейку);
- убедившись, что пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте, снимают отсчет по вертикальному кругу и записывают его в журнал измерений;
- открепляют зрительную трубу и алидаду горизонтального круга, переводят зрительную трубу через зенит и снова наводят на ту же точку визирной цели;
- убедившись, что пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте, снимают отсчет по вертикальному кругу (КП) и записывают его в журнал измерений;
- при снятии отсчета по шкале ВК необходимо внимательно следить за знаком у градусных штрихов лимба. Если перед градусным штрихом стоит знак минус, то отсчет по шкале алидады следует вести от (-0).

- вычисляют место нуля (МО) и угол наклона (v) для теодолитов 2Т30П и 4Т30П по формулам

$$MO = (КЛ + КП) / 2, \quad (15)$$

$$v = (КЛ - КП) / 2, \quad (16)$$

$$v = КЛ - MO, \quad (17)$$

$$v = MO - КП. \quad (18)$$

При работе с теодолитами серии Т30 формулы вычисления МО и угла наклона выполняют по формулам:

$$MO = (КЛ + КП + 180^\circ) / 2 \quad (19)$$

$$v = (КЛ + КП + 180^\circ) / 2, \quad (20)$$

$$v = КЛ - MO, \quad (21)$$

$$v = MO - КП. - 180^\circ \quad (22)$$

Анализ формул (16) и (20) показывает, что при измерении углов наклона полным приемом, то есть при двух положениях круга, место нуля не участвует в вычислении v . Если измерение углов наклона производится при одном положении вертикального круга, то не учет места нуля приводит к погрешности угла наклона на величину МО. То есть место нуля является систематической погрешностью и подлежит обязательному исключению из результатов измерений.

Контроль при измерении вертикальных углов осуществляется по постоянству значений МО. Колебание его не должно превышать двойной точности теодолита. Если колебания больше, то причинами этого являются:

- грубые погрешности при наведении горизонтальной нити на визирную цель;
- грубые погрешности при отсчитывании по шкале (например, игнорирование знака минус у градусного штриха лимба);
- уход пузырька цилиндрического уровня из нуля - пункта;
- ослабло крепление обоймы сетки нитей или плохо затянуты исправительные винты сетки нитей;
- неустойчивость штатива.

Таблица 7 Журнал измерения вертикальных углов

Теодолит 2Т30П №12890

№ ст.	№ точки наблюд.	отсчет		МО	Вертикальный угол v
		КЛ	КП		
1	А	3°15'30"	-3°19'00"	-0°01'45"	3°17'15"
	В	-1°45'00"	1°41'00"	-0°02'00"	-1°43'00"
	С	2°13'00"	-2°16'30"	-0°01'45"	2°14'45"

$$MO_{cp} = -0^\circ 01' 50'' \approx -0^\circ 02' 00''$$

Приведение места нуля к нулю.

При измерении вертикальных углов при двух положениях вертикального круга (проложение тахеометрических ходов) знать о величине МО совсем не

обязательно, так как в формулах (16) и (20) оно не фигурирует и, следовательно, на точность измерения угла наклона влияния не оказывает.

Съемочные работы выполняют при одном положении круга, при этом, как правило, при КЛ. В этом случае при вычислении углов наклона необходимо обязательно учитывать величину МО. Что бы уменьшить объем вычислительных работ на станции, желательнее МО привести к нулю. В этом случае отсчет по вертикальному кругу будет являться углом наклона.

Для приведения МО к нулю вычисляют отсчет по вертикальному кругу, свободный от МО. Например, в таблице (7) такими отсчетами являются углы наклона.

Пусть теодолит установлен на станции при круге право и наведен на точку С. Вращением наводящего винта зрительной трубы (пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте), устанавливают отсчет на шкале вертикального круга равный $-2^{\circ}15'00''$ (установить отсчет $-2^{\circ}14'45''$ не представляется возможным). Горизонтальная нить сетки нитей сойдет с визирной цели (опустится или приподнимется над ней). Снимают предохранительный колпачок сетки нитей и, ослабив один из боковых исправительных винтов, вертикальными исправительными винтами, ослабляя один из них и подтягивая на такую же величину второй, приводят сетку в первоначальное положение относительно визирной цели. Закрепляют боковой исправительный винт и выполняют контрольные измерения желательнее на другую цель. Если $МО \leq 2t$, то считается, что место нуля приведено к нулю, и его можно не учитывать при вычислении углов наклона.

4.6. Погрешности измерения вертикальных углов

1. Погрешность приведения в нуль-пункт пузырька цилиндрического уровня. Данная погрешность оказывает основное влияние на точность, как измерения вертикальных углов, так и определения МО. Это связано с тем, что ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга теодолитов технической точности является отсчетной линией. Угол, на который она отклоняется от горизонта, полностью войдет в измеряемый угол наклона или место нуля как погрешность измерения. Для ослабления влияния данной погрешности на измеряемый вертикальный угол необходимо постоянно следить за положением пузырька цилиндрического уровня и, при необходимости, приводить его в нуль-пункт подъемным винтом, расположенным в створе линии визирования.

2. Погрешность отсчета по шкале вертикального круга. Она зависит от остроты зрения наблюдателя; освещенности поля зрения микроскопа; наличия у наблюдателя опыта деления отрезка на 10 частей

3. Погрешность наведения (визирования). Данная погрешность зависит от тех же факторов, что и аналогичная погрешность при измерении горизонтальных углов. Однако здесь она увеличивается за счёт того, что горизонтальная нить имеет разрыв в средней части, поэтому приходится осуществлять наведение не центром сетки нитей.

4. Погрешность, связанная с не вертикальностью визирной цели (рейки, вехи). Она всегда имеет отрицательный знак, а её абсолютная величина зависит от отклонения визирной цели от отвесной линии и высоты визирной цели. Ослабить ее можно только тщательным приведением визирной цели в отвесное положение.

5. Погрешность, вызванная вертикальной составляющей рефракции. Данная погрешность изменяет свою абсолютную величину и знак в течение суток. Учесть ее при измерениях технической точности не представляется возможным при данном уровне развития измерительной техники. Поэтому для ослабления влияния вертикальной составляющей рефракции измерения следует проводить в часы спокойного состояния атмосферы и ограничивать длины сторон.

Лабораторная работа № 5. Тригонометрическое нивелирование

Цель работы. Понять геометрическую сущность измерения превышения косвенным способом, т. е. через измерение угла наклона и длины линии. Научиться измерять угол наклона при двух положениях вертикального круга и длину линии нитяным дальномером. Уметь анализировать погрешности измерения вертикальных углов и длин линий нитяным дальномером.

Задание. Измерить не менее трех превышений реечных точек методом тригонометрического нивелирования. Высоту наведения на рейке задает преподаватель. Высоту прибора измерить рулеткой или нивелирной рейкой. Дальномерное расстояние определить одновременно с измерением угла наклона при КЛ и КП. Измерить те же превышения геометрическим нивелированием способом вперед. Сравнить полученные результаты измерений и дать анализ точности как тригонометрического, так и геометрического нивелирования. Какой из этих методов имеет более высокую точность и почему?

Последовательность выполнения работы. Теодолит устанавливают на точке А (рис.27) и приводят в рабочее положение. На точке В отвесно устанавливают рейку (в лаборатории используют рейки, закрепленные на стене). Преподаватель для каждого студента устанавливает высоту наведения l , а студенты самостоятельно измеряют высоту прибора i с помощью нивелирной рейки или рулетки с точностью до мм. Расстояние от теодолита до рейки измеряют нитяным дальномером при КЛ и КП, снимая отсчеты по всем трем нитям. Угол наклона также измеряют при двух положениях вертикального круга. Результаты измерений записывают в табл. 8.

При измерении превышений тригонометрическим нивелированием особое внимание необходимо обращать на точность приведения пузырька уровня в нуль – пункт. Перед каждым отсчетом по вертикальному кругу следует убедиться в том, что пузырек в нуль–пункте. Это самая существенная погрешность измерения угла наклона, а следовательно и превышения.

По материалам измерений вычисляют значение МО и угла наклона v . Контролем правильности отсчетов по вертикальному кругу служит постоянство МО. Правильность отсчетов по дальномерным нитям контролируют вычислением полу суммы отсчетов по нижней и верхней нити. Она должна быть равна высоте наведения l .

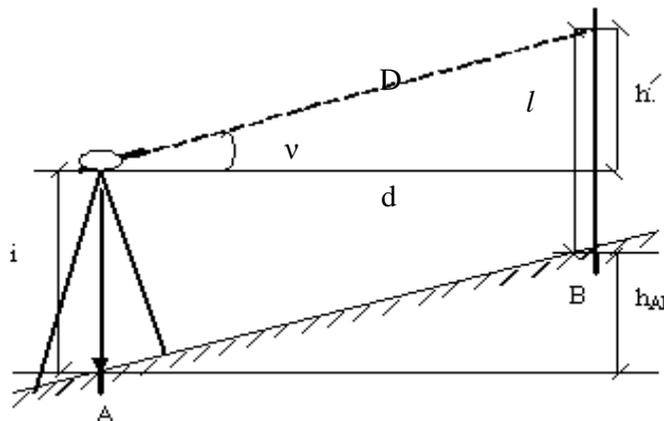


Рис.27. Схема тригонометрического нивелирования

Из рисунка 27 видно, что

$$h_{AB} = h' + i - l. \quad (23)$$

В свою очередь $h = d \operatorname{tg} v$, а $d = D \cos 2v$. Подставив в (23) значения аргументов, получим

$$h_{AB} = 0.5 D \sin 2v + i - l. \quad (24)$$

Как видно из формулы (24) для получения превышения тригонометрическим нивелированием необходимо измерить четыре величины: угол наклона, расстояние, высоту прибора и высоту наведения. Погрешности каждого из измерений скажутся на точности конечного результата. Высоту прибора и высоту наведения можно измерить с высокой точностью, поэтому при анализе точности измеренного превышения учитывают только погрешности измерения угла наклона и расстояния.

Таблица 8. Журнал тригонометрического нивелирования

Теодолит 2Т30П № 14560 $i = 1.403\text{м}$ $l = 1.000\text{м}$

№ ст.	№ реч. точк	Отсчеты по нитям		Расстояние в м	Отсчеты по ВК		МО	Угол наклона v	Превышение $h, \text{м}$
		КЛ	КП		КЛ	КП			
1	2	61044	1045	8,9	2°15,0'	-2°18,5'	-1,8'	2°16,8'	1,816
		c1000	1000	9,0					
		n0955	0955	8,95					

Для исследования точности измерения превышений тригонометрическим нивелированием с тех же станций и на те же рейки необходимо измерить эти же превышения геометрическим нивелированием

способом вперед. Найти разности $\Delta_h = h_{тр} - h_{г}$. Дать анализ принадлежности их к случайным погрешностям.

Таблица 9. Журнал измерения превышений геометрическим нивелированием способом вперед

№ ст.	№ рееч. точки	Высота нивелира		Отсчет по рейке		Превышен. $h_{г}$		Средн ее $h_{г}$ мм	Средн ее $h_{тр}$ мм	Разности $\Delta = h_{тр} - h_{г}$ мм
		черн. мм	кр. мм	черн. мм	кр. мм	черн мм	кр. мм			

Перечислить основные погрешности геометрического и тригонометрического нивелирования, оказавшие наибольшее влияние на формирование разностей.

Вопросы для самоконтроля.

1. В чем сущность тригонометрического нивелирования?
2. Что такое место нуля вертикального круга?
3. Как исключить МО при измерении угла наклона?
4. Что такое угол наклона?
5. Почему при измерении угла наклона необходимо пузырек уровня удерживать в нуль-пункте?
6. Перечислите основные источники погрешностей тригонометрического нивелирования?
7. Приведите вид формулы вычисления превышения, если измерено горизонтальное расстояние от теодолита до рейки.
8. Повысится ли точность измерения превышения тригонометрическим нивелированием, если расстояние измерять рулеткой, а не нитяным дальномером?

Лабораторная работа №6. Определение высоты сооружения, недоступного для непосредственного измерения

Цель работы: Закрепить знания по тригонометрическому нивелированию. Научиться определять высоту сооружения (провис проводов, высоту опор линий электропередач, передача высот на монтажные горизонты и т. д.), используя знания и умения по тригонометрическому нивелированию.

Порядок работы: Установить теодолит от сооружения на расстоянии не менее двойной его высоты. Привести его в рабочее положение и измерить при двух положениях круга вертикальные углы на верхнюю и нижнюю точки сооружения (рис.28).

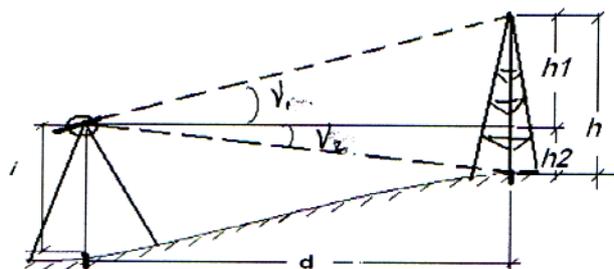


Рис. 28. Схема измерения высоты недоступного объекта

Расстояние от теодолита до сооружения измеряют нитяным дальномером или другим мерным прибором в зависимости от требуемой точности определения высоты сооружения. Чаще всего его приходится определять косвенным способом. В любом случае его значение должно быть редуцировано на горизонтальную плоскость, т.е. вычислено горизонтальное проложение d .

Из рис.28 видно, что высота недоступного объекта равна

$$h = h_1 + h_2 = d (\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2). \quad (25)$$

Такие измерения выполняют не менее чем с трех станций. Если расхождения находятся в пределах требуемой точности определения высоты объекта, то в качестве окончательного результата принимают среднее значение.

5. РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

5.1. Построение проектного горизонтального угла

На строительной площадке перед началом производства строительных работ создается геодезическая разбивочная основа. В данном примере она представлена двумя пунктами A и B (рис.29). На разбивочном чертеже имеется проектное значение угла $\beta_{\text{пр}}$, а в проекте производства геодезических работ (ППГР) определена точность его построения, например $m_\beta = 30''$.

Над вершиной угла β устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение, то есть центрируют, нивелируют и устанавливают по глазу сетку нитей. Совмещают нуль лимба с нулем алидады (отсчет по горизонтальному кругу равен $0^\circ 00,0'$). У теодолита 4Т 30П это можно сделать, вращая барабан перестановки лимба горизонтального круга (8 рис.2). У теодолитов серии 2Т30П для этого закрепляют лимб, открепляют алидаду и вращают прибор по ходу часовой стрелки до отсчета. После этого открепляют лимб и визируют на точку A . Наведение осуществляют сначала от руки, а затем наводящим винтом лимба. Отсчет по горизонтальному кругу должен остаться $0^\circ 00,0'$. Открепив алидаду, вращают теодолит по ходу часовой стрелки до отсчета, равного значению проектного угла $\beta_{\text{пр}}$. Фиксируют положение визирной оси кольшком C_1 .

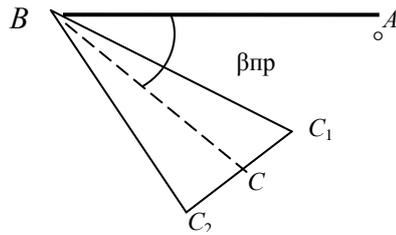


Рис. 27. Построение проектного угла с обычной точностью

Для исключения влияния коллимационной ошибки и ослабления других погрешностей построения проектного угла аналогичное построение выполняют при другом положении вертикального круга. На местности фиксируют положение точки C_2 . Разделив пополам отрезок C_1C_2 , фиксируют положение точки C . Биссектриса BC будет являться второй стороной проектного угла. Задача решена.

Погрешности построения проектного угла не отличаются от погрешностей измерения горизонтального угла. К их перечню добавляется погрешность фиксирования визирной оси. Несколько другой геометрический смысл имеет погрешность центрирования теодолита. Она не отразится на точности построения проектного угла, но сместит искомую ось сооружения на величину погрешности в направлении погрешности центрирования.

Построение проектного угла способом редуцирования применяют в тех случаях, когда в ППГР установлена точность выше, чем точность имеющегося в наличии теодолита. В этом случае задача решается следующим образом. Сначала строят проектный угол с обычной точностью или даже при одном положении вертикального круга. Построенный таким образом угол многократно измеряют с перестановкой лимба на угол $180^\circ/n$ между приемами. Вычисляют среднее значение.

В курсе теории погрешностей измерений доказывается, что точность среднего арифметического значения в \sqrt{n} раз выше по сравнению с однократным измерением. Поэтому, измерив построенный угол n приемами, получим $\beta_{\text{ср}}$ со средней квадратической погрешностью $M = m_{\beta} / \sqrt{n}$.

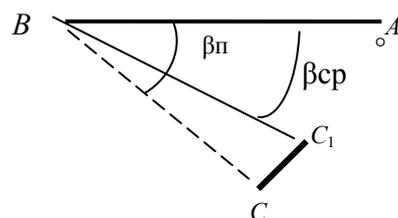


Рис. 28. Построение проектного угла способом редуцирования

Находят разность $\Delta\beta = \beta_{\text{п}} - \beta_{\text{ср}}$. Она является угловым элементом редуцирования. Однако из-за недостаточной точности теодолита построить

$\Delta\beta$ на местности не представляется возможным. Поэтому вычисляют линейный элемент редуцирования

$$C_1C = \Delta l = (\Delta\beta/\rho)L, \quad (26)$$

где L – длина стороны BC ;

ρ – число секунд в радиане.

Величину Δl откладывают от точки C_1 по перпендикуляру к стороне BC в соответствии со знаком $\Delta\beta$. Точку C закрепляют. Сторона BC является второй стороной проектного угла. Задача решена.

Возникает вопрос, - как определить число n приемов при измерении приближенного проектного угла? Формула средней квадратической погрешности арифметической середины M имеет вид

$$M = m_\beta / \sqrt{n}, \quad (27)$$

где m_β – средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом;
 n – число приемов.

Из формулы (27) получим

$$n = m_\beta^2 / M^2. \quad (28)$$

Пример. Пусть по проекту требуется построить проектный угол с точностью $m_{пр} = 10''$. А теодолит, имеющийся на строительной площадке, позволяет измерять (строить) углы с точностью $30''$ (Т30). Подставив в (28) значения $m_{пр} = M$, получим $n = 900/100 = 9$ приемов. Таким образом, измерив приближенное значение проектного угла 9 приемами и вычислив арифметическую середину из результатов измерений, будем иметь угол, соответствующий по точности требованию проекта.

Однако следует иметь в виду, что формула (28) справедлива только в тех случаях, когда погрешности измерений носят только случайный характер. А так как результат измерений всегда содержит наряду со случайными погрешностями остаточные систематические погрешности, то увеличивать число приемов более 10 не целесообразно. В этих случаях влияние систематических погрешностей больше чем случайных и повышения точности арифметической середины не происходит. Если точность построения проектного угла недостижима теодолитом данной точности, то следует выполнить эту работу прибором более высокой точности.

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях возникает необходимость построения проектного угла?
2. Что означает приведение теодолита в рабочее положение?
3. Перечислите погрешности, влияющие на точность построения проектного угла?
4. Как погрешность центрирования влияет на точность построения проектной точки?
5. Какие способы построения проектного угла Вы знаете?
6. В чем отличие способа построения проектного угла с обычной точностью от способа редуцирования?

7. Почему не рекомендуется увеличивать число приемов при измерении приближенного угла более 10 приемов?
8. Как исключить при построении проектного угла влияние коллимационной погрешности?
9. Какие погрешности, по сравнению с измерением горизонтального угла, добавляются при построении проектного угла?
10. Почему при измерении угла n приемами требуется переставлять лимб на величину $180^\circ/n$ после каждого приема?

5.2. Построение линии с проектным уклоном с помощью теодолита

Теодолит устанавливают над точкой A (рис.29) и приводят в рабочее положение. Вычисляют угол наклона, соответствующий проектному уклону

$$v_{пр} = \arctg i_{пр}. \quad (29)$$

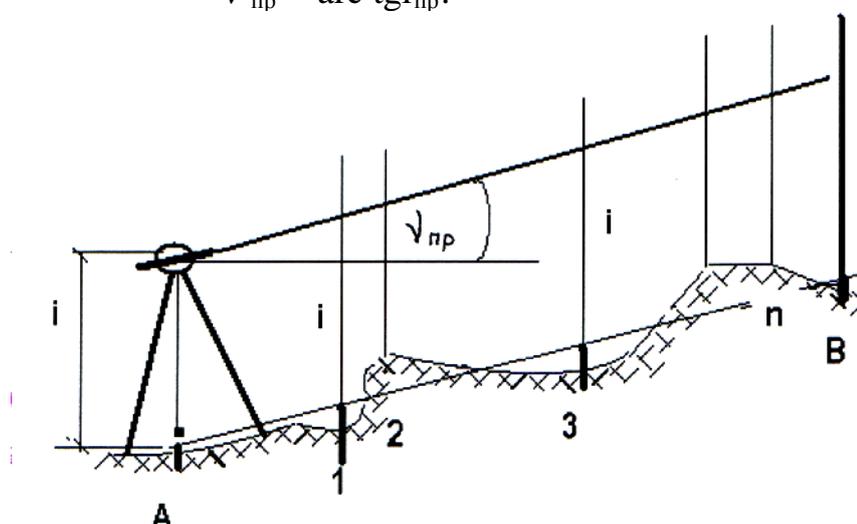


Рис.29. Построение линии с проектным уклоном с помощью теодолита

Тщательно определяют место нуля вертикального круга (не менее чем из трех приемов) и учитывают его в виде поправки к проектному углу наклона

$$v = v_{пр} - MO. \quad (30)$$

Устанавливают угол наклона на вертикальном круге при положении КЛ, т.е. отсчет по вертикальному кругу должен быть равен значению v , а пузырек цилиндрического уровня должен находиться в нуль-пункте. Теперь визирная ось зрительной трубы располагается параллельно проектной линии. В точках детальной разбивки устанавливают рейку так (перемещая ее вверх или вниз), чтобы визирная ось проходила через метку, фиксирующую высоту прибора. В этом случае пятка рейки совпадает с линией проектного уклона. Остается только закрепить эти точки на местности.

Если точки A и B установлены на проектной высоте, то данная задача может быть решена следующим образом. На точке A устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение. На точке B устанавливают рейку. Измеряют высоту прибора и наводят визирную ось зрительной трубы на

метку на рейке в точке B , соответствующую высоте прибора. Визирная линия в этом случае займет положение параллельное проектной линии. На точках детальной разбивки устанавливают рейку так (перемещением ее по высоте), чтобы визирная ось также проходила через метку на рейке. В этом случае пятка рейки совпадет с линией проектного уклона. Эти точки на местности закрепляют деревянными кольями, на которых подписывают высоту срезки или насыпи грунта.

Основная литература

1. Ключин Е. Б., Михелев Д. Ш. Инженерная геодезия. – М.; Недра, 1990.
1. Куштин И. Ф., Куштин В.И. Инженерная геодезия. Учебник. Ростов-на-Дону. Издательство ФЕНИКС, 2002. – 416с.
- 2 Инженерная геодезия: Учебник для вузов. Багратуни Г. В., Ганьшин В. Н., Данилевич Б. Б. и др. 3-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1984. 344 с.
3. Практикум по инженерной геодезии: Учебное пособие для вузов. Б. Б. Данилевич, В. Ф. Лукьянов, Б. С. Хейфиц и др. Под ред. В. Е. Новака.- 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 334с.

Дополнительная литература

- 4.Справочник геодезиста. В 2-х книгах. Кн.2\ Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1985. – 440с.
5. Невзоров Н.И., Хохрякова Г.Н. Методическое пособие по лабораторным работам по дисциплине «Инженерная геодезия»-Ч.1: Нивелиры.- Ижевск: ИжГТУ, 2004.-64с.
6. Невзоров Н. И. Методические указания и задания к лабораторной работе №2 «Изучение и исследование теодолитов технической точности ». Ижевск., ИМИ, 1982,- 24с.

Николай Иванович Невзоров
Галина Николаевна Хохрякова

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ»

Часть 2
ТЕОДОЛИТЫ

В редакции составителей

Технический редактор
Корректор
Верстка

Подписано в печать Формат 60x84/16. Бумага офсетная
Гарнитура «Таймс». Усл.печ.л. Уч. изд. л.
Тираж 200 экз.. Заказ №
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ
ПЛР №

Издательство и типография Ижевского государственного
технического университета
426069, г.Ижевск, Студенческая,7