



Тема лекции 3. УГЛОВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Вопросы:

- 3.1. Принцип измерения горизонтального угла.
- 3.2. Теодолит, устройство, классификация по ГОСТу.
- 3.3. Приведение теодолита в рабочее положение
- 3.4. Отсчетные приспособления.
- 3.5. Зрительные трубы. Оптические характеристики зрительной трубы.
- 3.6. Уровни, их назначение и устройство.
- 3.7. Поверки и юстировки теодолита.
- 3.8. Измерение горизонтальных углов полным приемом.
- 3.9. Устройство вертикального круга теодолита. Измерение вертикальных углов.

Литература

1. Юнусов, А.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов. / А.Г. Юнусов, А.Б. Беликов, В.Н. Баранов, Ю.Ю. Каширкин. – М.: Академический проект, 2011. 409 с.
2. Куштин, И.Ф. Геодезия: учебно-практическое пособие. / И. Ф. Куштин, В.И. Куштин. – Ростов н/Д. Феникс, 2009. – 909 с.
3. Ямбаев, Х.К. Геодезическое инструментоведение: учебник для вузов./ Х.К. Ямбаев. – М.: Академический проект, 2011. – 583 с.
4. Неумывакин, Ю.К., Практикум по геодезии / Ю.К.Неумывакин, А.С.Смирнов. – М.: Недра, 1995.
5. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Выш. шк., 2011. – 463 с.

Вопрос 3.1. Принцип измерения горизонтального угла

Плоский угол образуется двумя лучами, исходящими из одной точки, называемой вершиной угла. Угол обычно измеряют в градусной мере (градусы, минуты, секунды), реже - в радианной; за рубежом широко применяется градусная мера измерения углов.

В геодезии имеют дело с углами, лежащими в горизонтальной или вертикальной плоскостях, причем горизонтальный угол обычно обозначают буквой β .

На местности угол фиксируется тремя точками: одна из них - точка А - является вершиной угла, две другие - В и С - фиксируют направления левой и правой сторон угла соответственно (рис.3.1).

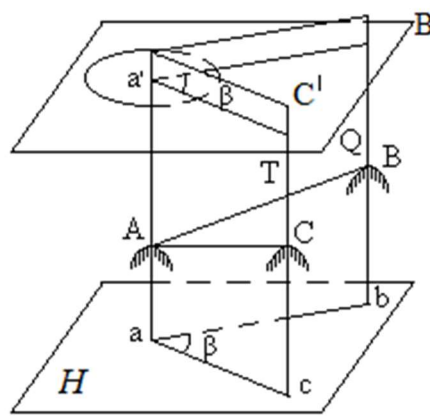


Рис. 3.1.

В геодезии обработка измерений выполняется на горизонтальной плоскости, поэтому угол ВАС нужно спроектировать на горизонтальную плоскость Н. Проведем через линии местности АВ и АС отвесные проектирующие плоскости Q и Т. Линии пересечения этих плоскостей с горизонтальной плоскостью Н будут горизонтальными проекциями линий АВ и АС.

Из рис.3.1 видно, что искомый угол β - это двугранный угол, образованный проектирующими плоскостями Q и Т, то-есть, плоский угол, лежащий в плоскости Н, перпендикулярной граням угла. Ребрам этого двугранного угла является отвесная линия, проходящая через вершину угла местности. Вспомним одно из свойств двугранного угла: при пересечении его граней параллельными плоскостями углы, образованные линиями пересечения граней с этими плоскостями, равны между собой.

Как измерить угол β , используя это свойство?

Для этого достаточно установить угломерный круг так, чтобы его центр находился на ребре двугранного угла, а его плоскость была горизонтальна (параллельна плоскости Н).

Угол β равен углу $b'a'c'$; он вычисляется по разности отсчетов c' и b' на угломерном круге:

$$\beta = c' - b' \quad (3.1)$$

Отсчет b' получается в точке пересечения шкалы угломерного круга плоскостью Q, отсчет c' - в точке пересечения шкалы плоскостью Т.

Таким образом, прибор для измерения горизонтальных углов на местности должен иметь угломерный круг, приспособление для наведения на точки местности и устройство для считывания отсчетов по шкале угломерного круга; такой прибор называется *теодолитом*.

Вопрос 3.2. Теодолит, устройство, классификация по ГОСТу

Прибор для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов называется теодолитом.

Перечислим основные части теодолита (рис.3.2):

Лимб - угломерный круг с делениями от 0° до 360° , неподвижен во время измерения угла.

Алидада - подвижная часть теодолита, представляющая собой круг с нанесенным на нем отсчетным устройством в виде штриха или шкалы, при помощи которого производится отсчет по лимбу; лимб и алидада составляют *горизонтальный круг теодолита*. Обычно всю вращающуюся часть теодолита называют *алидадной частью* или просто *алидадой* (2).

Зрительная труба (3) крепится на подставках на алидадной части и состоит из объектива, окуляра, сетки нитей и фокусирующего устройства с кремальерой.

Вертикальный круг устроен аналогично горизонтальному и служит для измерения вертикальных углов (4).

Цилиндрический уровень (13) - предназначен для приведения плоскости лимба горизонтального круга в положение перпендикулярное относительно отвесной линии (горизонтальное положение).

Подставка с тремя подъемными винтами (5) – для приведения теодолита в рабочее положение.

Закрепительные и наводящие винты вращающихся частей теодолита: лимба (8,9), алидады (6,7), трубы (10,11).

Штатив со станovým винтом и крючком для отвеса, площадкой для установки подставки теодолита.

Совмещение центра лимба с отвесной линией, проходящей через вершину измеряемого угла, осуществляется с помощью оптического *центрира* или *нитяного отвеса*.

Система осей - обеспечивает вращение алидадной части и лимба вокруг вертикальной оси.

- *вертикальная ось* (ось вращения алидады) – главная ось прибора, отвесная линия, проходящая через центр алидады (вершину угла).
- *ось цилиндрического уровня* – касательная к внутренней поверхности ампулы в точке нуль-пункта.
- *визирная ось зрительной трубы* – линия, проходящая через перекрестие сетки нитей и оптический центр объектива
- *ось вращения зрительной трубы*.

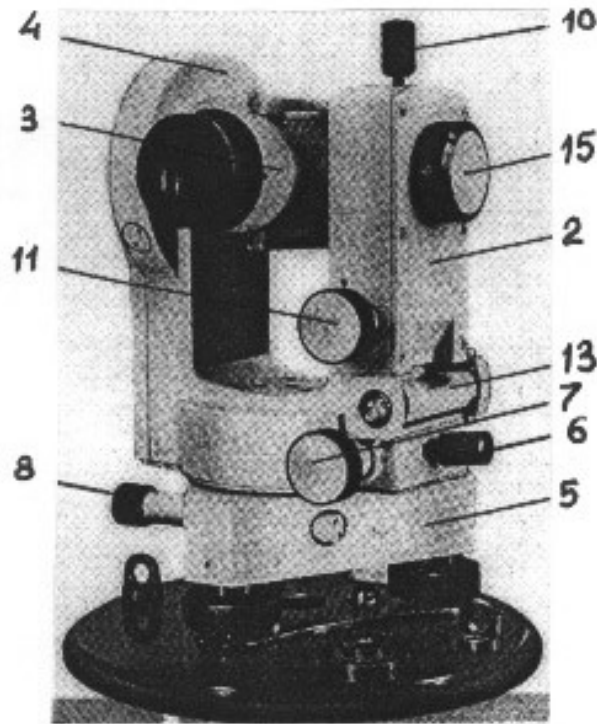


Рис. 3.2. Основные части теодолита

Стороны измеряемого угла проектируются на плоскость лимба подвижной вертикальной плоскостью, которая называется коллимационной плоскостью. *Коллимационная плоскость* образуется визирной осью зрительной трубы при вращении трубы вокруг своей оси.

В теодолитах различают три разных вращения: вращение зрительной трубы, вращение алидады и вращение лимба; при этом вращение трубы и вращение алидады снабжаются двумя винтами каждое - зажимным и наводящим. Что касается вращения лимба, то оно оформляется по-разному. В теодолите Т30 (2Т30 и т.п.) для вращения лимба имеются два винта: зажимной и наводящий, причем они работают только при зажатом винте алидады. В точных и высокоточных теодолитах вращение (перестановка) лимба выполняется специальным бесконечным винтом.

Государственный стандарт ГОСТ 10529-86 выделяет три группы теодолитов: *высокоточные, точные и технические*.

Высокоточные теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой не более 1"; типы Т1, Т05.

Точные теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой от 2" до 5"; типы Т2, Т5.

Технические теодолиты обеспечивают измерение углов с ошибкой от 10" до 30"; типы Т15, Т30.

Дополнительная буква в шифре теодолита указывает на его модификацию или конструктивное решение: А - астрономический, М -

маркшейдерский, К - с компенсатором при вертикальном круге, П - труба прямого изображения (земная).

Государственным стандартом на теодолиты предусмотрена, кроме того, унификация отдельных узлов и деталей теодолитов; вторая модификация имеет цифру 2 на первой позиции шифра - 2Т2, 2Т5 и т.д., третья модификация имеет цифру 3 - 3Т2, 3Т5КП и т.д.

Вопрос 3.3. Приведение теодолита в рабочее положение

Перед измерением угла необходимо *привести теодолит в рабочее положение*, то есть, выполнить три операции: центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы.

Центрирование теодолита - это установка оси вращения алидады над вершиной измеряемого угла; Центрирование выполняют с помощью нитяного отвеса или оптического центрира. Нитяной отвес крепится к крюку на станочном винте. После этого штатив располагают так, чтобы отвес проектировался на точку, над которой производится центрирование. Точность центрирования 1 см.

Горизонтирование теодолита - это приведение плоскости лимба в горизонтальное положение; операция выполняется с помощью подъемных винтов и уровня при алидаде горизонтального круга. Горизонтирование производится следующим образом, открепляют алидаду и ставят уровень по направлению двух подъемных винтов. Вращением этих винтов в разные стороны приводят пузырек уровня на середину (нуль-пункт). После этого поворачивают алидаду на 90 градусов и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек уровня на середину. Отклонение пузырька уровня от нуль-пункта не должно превышать 1,5 деления.

Установка трубы - выполняется установка трубы по глазу и по предмету; операция выполняется с помощью подвижного окулярного кольца (установка по глазу - фокусирование сетки нитей) и винта фокусировки трубы на предмет.

Вопрос 3.4. Отсчетные приспособления

Оптические отсчетные приспособления рассмотрим на примере угловой шкалы, расположенной на окружности; такая шкала называется *угломерным кругом* или *лимбом*.

Ценой деления лимба λ называют центральный угол, стягиваемый дугой в одно деление (или это градусная величина одного деления лимба); в практике встречаются лимбы с ценой деления 1° , $20'$, $10'$, $5'$.

Отсчеты по лимбу производятся при помощи *штриха* или *шкалы*. Роль отсчетного индекса при отсчете по лимбу могут выполнять одиночный штрих, нулевой штрих шкалы отсчетного приспособления, штрих шкалы лимба.

Штриховой микроскоп. Отсчетным индексом в штриховом микроскопе является неподвижный штрих, выгравированный на стеклянной пластинке (алидаде). Отсчетный микроскоп через систему призм и линз выводит в окуляр изображения градусных делений горизонтального и вертикального кругов.

Отсчет по штриховому микроскопу снимают так:

- считывают число градусов, стоящее левее отсчетного штриха;
- после этого подсчитывают число делений от этого градусного деления до штриха. Оценка доли деления лимба выполняется на глаз.

В поле зрения окуляра штрихового микроскопа видны деления лимба и отсчетный индекс - штрих; отсчет по горизонтальному кругу (Г) равен $345^{\circ}54'$, по вертикальному (В) - $7^{\circ}45'$ (рис.3.3).

Шкаловой микроскоп. На пути хода лучей от осветительного окошка через штрихи лимба в поле зрения микроскопа помещена стеклянная пластинка с гравированной шкалой. Длина шкалы равна длине одного деления лимба λ ; шкала разделена на n равных частей, цена одного деления шкалы шкалового микроскопа обозначается буквой μ и равна $\mu = \lambda / n$.

В поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30 (рис.3.4) цена деления лимба составляет $10'$, отсчетная шкала разделена через $5'$.

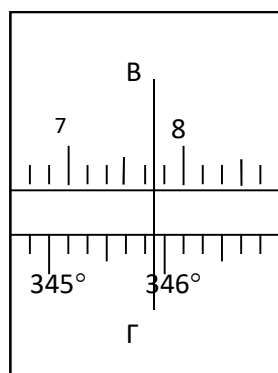


Рис. 3.3. Штриховой микроскоп

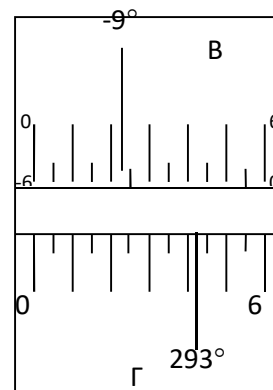


Рис. 3.4. Шкаловой микроскоп

Отсчеты по шкаловому микроскопу снимают так:

- вначале определяют градусное деление, перекрываемое шкалой.
- после этого с точностью $1'$ снимают отсчеты минут по шкале.

Отсчеты на рис.3.4 $B = -9^{\circ} 37'$, $G = 293^{\circ} 42'$.

В теодолитах со штриховыми и шкаловыми микроскопами отсчеты производят по одному концу диаметра лимба. Для уменьшения влияния *эксцентриситета алидады* горизонтального круга (рис.3.5)- несовпадения оси

вращения прибора (оси вращения алидады) C' с центром лимба C - измерение горизонтального угла производят дважды: при круге лево (отсчет N_1') и при круге право (отсчет N_2').

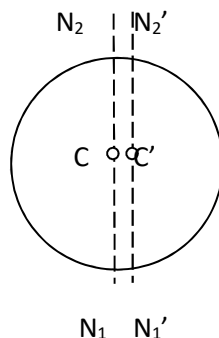


Рис. 3.5. Схема влияния эксцентриситета

Вследствие эксцентриситета алидады отсчет по одному отсчетному индексу будет меньше правильного отсчета на угол ε :

$$N_1' = N_1 - \varepsilon,$$

а по другому отсчетному индексу - больше правильного на угол ε :

$$N_2' = N_2 + \varepsilon.$$

Средний отсчет будет свободен от влияния эксцентриситета:

$$N = 0.5*(N_1' + N_2') = 0.5*(N_1 + N_2) \quad (3.2)$$

3.5. Зрительные трубы.

Оптические характеристики зрительной трубы

Зрительная труба предназначена для высокоточного наведения на удаленные предметы и точки (визирные цели) при работе с теодолитом. Состоит из следующих основных частей: объектива(1), окуляра(2), фокусирующей линзы(3), сетки нитей(4), кремальеры(5) (винта, перемещающего фокусирующую линзу внутри трубы) рис.3.6.

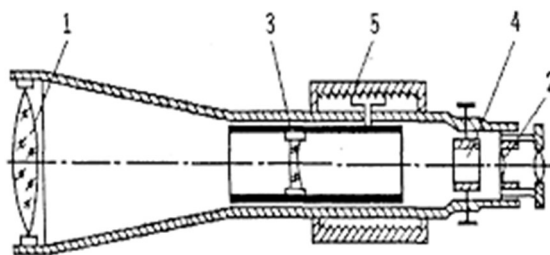


Рис. 3.6. Зрительная труба

Зрительные трубы бывают *астрономическими* и *земными*. *Астрономические трубы* дают обратное, то есть, перевернутое изображение

предметов; *земные трубы* дают прямое изображение. В геодезических приборах чаще применяют астрономические трубы, так как они имеют более простое устройство и в них меньше потери света. По конструкции зрительные трубы бывают *прямые* и *ломаные*.

Основными деталями зрительных труб являются *линзы* - стеклянные пластинки различной формы; линзы бывают *собираательные* и *рассеивающие*. Все *собираательные линзы выпуклые*; все *рассеивающие линзы вогнутые*: двояковогнутые, плосковогнутые, выпукловогнутые. Линза имеет *оптический центр O_1* ; лучи, проходящие через него, не изменяют своего направления; все остальные лучи, проходя через линзу, испытывают преломление и изменяют свое первоначальное направление.

Линия, соединяющая центры сферических поверхностей линзы, называется *главной оптической осью линзы*. По обе стороны от оптического центра на главной оптической оси есть точки, называемые главными фокусами линзы: передний фокус F_1 и задний фокус F . Расстояние от оптического центра до фокуса называется *фокусным расстоянием*.

Для построения изображения предметов в линзе обычно используют три луча:

- луч, проходящий через оптический центр линзы,
- луч, идущий параллельно главной оптической оси,
- луч, проходящий через передний фокус линзы.

Изображение считается *действительным*, если оно получается на пересечении лучей в прямом направлении; изображение считается *мнимым*, если оно получается на пересечении лучей в обратном направлении.

Различают трубы с *внешней фокусировкой (трубы Кеплера)* и *внутренней фокусировкой*.

Ход лучей в трубе Кеплера. Астрономическая труба Кеплера является простейшей зрительной трубой; она состоит из двух собираательных линз - объектива и окуляра, имеющих общую главную оптическую ось, и корпуса; объектив трубы Кеплера - длиннофокусный, а окуляр - короткофокусный. При этом изображение, даваемое объективом, должно располагаться между передним фокусом окуляра и его оптическим центром;

Построим в трубе Кеплера изображение отрезка АВ, то есть, нарисуем ход лучей от точек А и В, (рис.3.7)

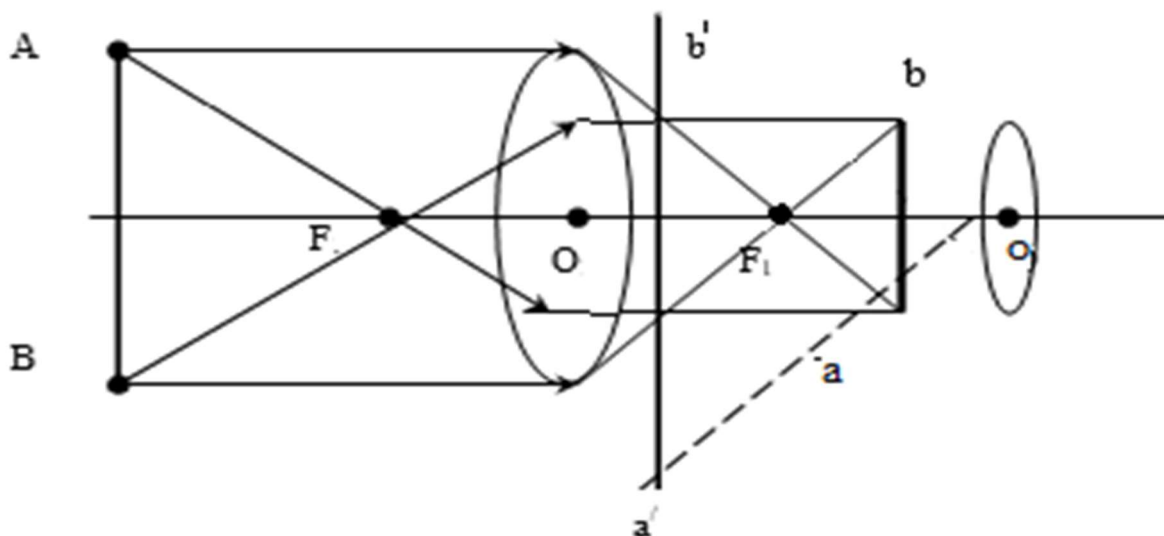


Рис. 3.7. Ход лучей в трубе Кеплера

Луч, идущий параллельно оптической оси в объективе преломляется и проходит через задний фокус объектива F_2 ; луч проходящий через передний фокус объектива F_1 , в объективе преломляется и проходит параллельно оптической оси, а луч, проходящий через оптический центр объектива O не преломляется. В точках a и b пересечения этих лучей получается изображение точек А и В предмета. Объектив дает *действительное* обратное уменьшенное изображение предмета - отрезок ab . Теперь этот отрезок рассматривается глазом наблюдателя через окуляр, как через лупу. Изображение, даваемое окуляром, - *мнимое*, обратное, увеличенное - отрезок $a'b'$. Сам окуляр дает прямое изображение, но поскольку оно уже было обратным, то обратным и остается.

У труб с внешней фокусировкой фокусирование выполняется путем изменения расстояния между объективом и сеткой нитей. Такие трубы имеют большую и притом переменную длину; они негерметичны, поэтому внутрь них попадают пыль и влага; на близкие предметы они вообще не фокусируются. Зрительные трубы с внешней фокусировкой в современных измерительных приборах не применяются.

Более совершенными являются трубы с *внутренней фокусировкой* (рис.3.8); в них применяется дополнительная подвижная фокусирующая (рассеивающая двояковогнутая) линза L_2 , образующая вместе с объективом L_1 эквивалентную линзу L . При перемещении линзы L_2 изменяется расстояние между линзами l и, следовательно, изменяется фокусное расстояние f эквивалентной линзы. Изображение предмета, находящееся в фокальной плоскости линзы L , также перемещается вдоль оптической оси, и когда оно попадает на плоскость сетки нитей становится четко видимым в окуляре трубы. Трубы с внутренней фокусировкой короче; они герметичны и позволяют наблюдать близкие предметы; в современных измерительных приборах применяются в основном такие зрительные трубы.

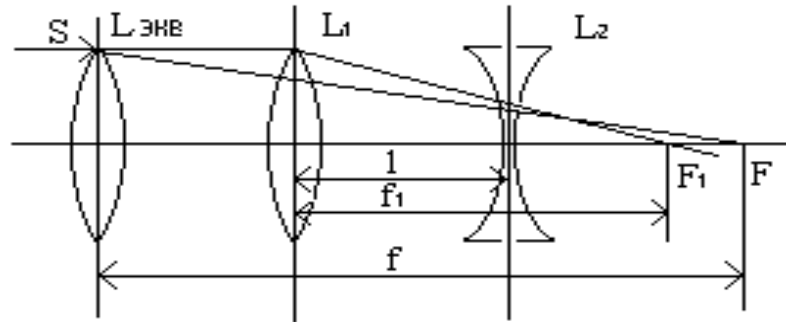


Рис. 3.8. Ход лучей в зрительной трубе с внутренней фокусировкой

Качество зрительной трубы зависит от ее оптических показателей: увеличения, поля зрения, точности.

Увеличение зрительной трубы. Под увеличением трубы понимают отношение угла зрения, под которым изображение предмета видно в трубе, к углу зрения, под которым предмет виден невооруженным глазом, то-есть, без трубы. Обозначим первый угол через α , а второй - через β и напишем формулу увеличения трубы

$$V = \alpha / \beta \quad (3.3)$$

Увеличение зрительной трубы можно рассматривать как отношение фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Формулой это можно выразить так:

$$V = \frac{f_{об}}{f_{ок}} \quad (3.4)$$

Определение увеличения зрительной трубы с помощью рейки. Если навести трубу на близкостоящую рейку, то можно сосчитать, сколько делений рейки N , видимой невооруженным глазом, соответствуют n делениям рейки, видимой в трубу. Для этого нужно смотреть поочередно в трубу и на рейку, проектируя дальномерные нити рейки из поля зрения трубы на рейку, видимую невооруженным глазом.

Обозначим через γ угол, под которым видны n делений в трубу и N делений без трубы (рис.3.9). Тогда одно деление рейки видно в трубу под углом:

$$\alpha = \gamma / n,$$

а без трубы - под углом:

$$\beta = \gamma / N$$

Отсюда: $V = N / n$.

Этот способ определения увеличения трубы называется *способом Галилея*.

Увеличение трубы можно приближенно вычислить по формуле:

$$V = (m_2 - m_1) / (n_2 - n_1) \quad (3.5)$$

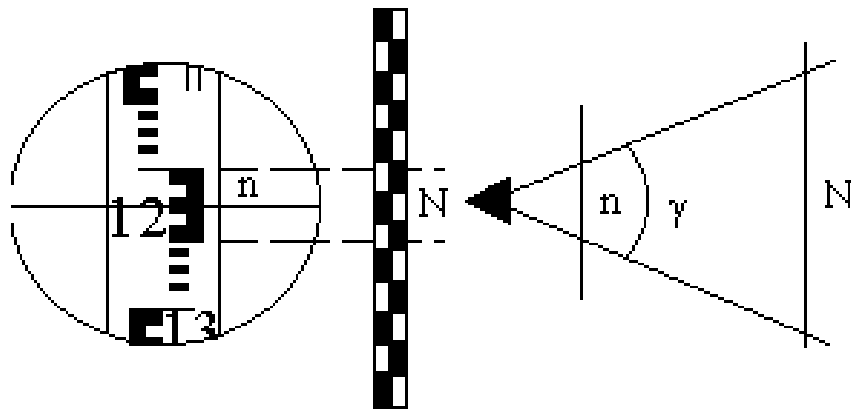


Рис. 3.9. Определение увеличения зрительной трубы

где $m_2 - m_1$ - разность отсчетов взятых по дальномерным нитям невооруженным глазом ; $n_2 - n_1$ - разность отсчетов взятых по дальномерным нитям вооруженным глазом.

Зная увеличение зрительной трубы можно определить *точность визирования*, т. е. точность совмещения пересечения сетки нитей и точки наблюдаемого предмета.

$$t = \frac{60''}{V} \quad (3.6)$$

Поле зрения трубы. Поле зрения трубы - это угол, между краями диафрагмы сетки нитей, вершина которого находится в оптическом центре объектива. Определить его можно по формуле:

$$\varphi = \frac{38^\circ}{V} \quad (3.7)$$

Вопрос 3.6. Уровни, их назначение и устройство. Цена деления уровня

Уровни служат для приведения осей прибора в вертикальное или горизонтальное положение. В геодезических приборах используются цилиндрические и круглые уровни, различающиеся между собой ценой деления, чувствительностью и конструктивными особенностями.

Цилиндрический уровень состоит из чувствительного элемента - ампулы и металлической оправы для ее крепления и защиты от внешних воздействий. Ампула цилиндрического уровня - это стеклянная трубка, запаянная с обоих концов и заполненная спиртом или серным эфиром; небольшое пространство занимают пары этой жидкости, оно называется *пузырьком уровня*. На наружной поверхности трубки нанесены штрихи. Точка в средней части ампулы называется *нуль-пунктом уровня*. Для регулировки уровень снабжен исправительными винтами.

Линия, касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте называется *осью уровня*.

Круглый уровень представляет собой стеклянную ампулу, отшлифованную по внутренней сферической поверхности определенного радиуса. За нуль-пункт круглого уровня принимается центр окружности. *Ось круглого уровня* является нормалью, проходящая через нуль-пункт, перпендикулярно к плоскости, касательной к внутренней поверхности уровня в его центре.

Ценой деления уровня называется *центральный угол, стягиваемый дугой в одно деление* (рис.3.10). Если пузырек находится в нуль-пункте, то ось уровня занимает горизонтальное положение. Если пузырек уровня находится не в нуль-пункте, то ось уровня занимает наклонное положение.

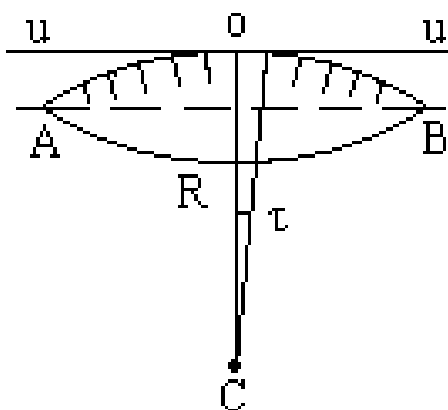


Рис. 3.10. Ампула уровня

Внутренняя поверхность ампулы имеет форму дуги с радиусом R . Обозначим через l длину одного деления шкалы на ампуле, напишем формулу для определения цены деления цилиндрического уровня:

$$\tau'' = \frac{l}{R} \rho'' \quad (3.8)$$

При наклоне уровня на угол ε пузырек отклонится от нульпункта на n делений (рис.3.11), то есть,

$$\varepsilon = n * \tau \quad (3.9)$$

Отсюда следует второе определение цены деления уровня: *цена деления уровня - это угол, на который наклонится ось уровня при смещении пузырька на одно деление шкалы.*

Определение цены деления уровня по рейке. Из формулы (3.9) следует, что:

$$\tau = \varepsilon / n, \quad (3.10)$$

т.е. для определения цены деления нужно знать угол ε и сосчитать число делений, на которое сместится пузырек (рис.3.11).

Угол наклона ε можно определить разными методами, например, с помощью рейки. Наведем трубу на рейку и возьмем отсчеты: по рейке - l_1 и по уровню.

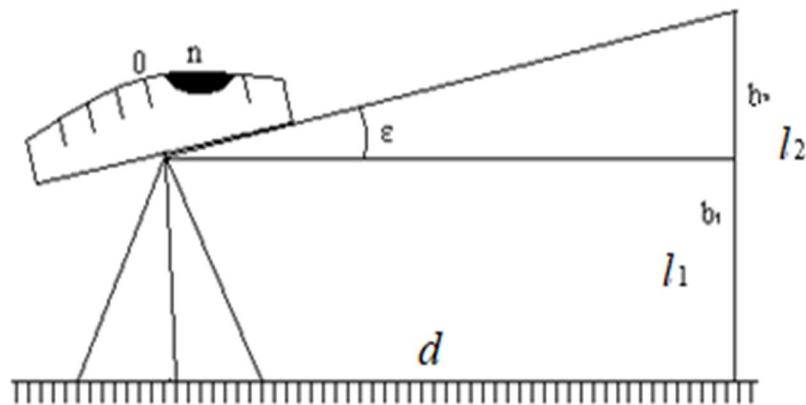


Рис. 3.11. Определение цены деления уровня

Затем немного наклоним трубу и снова возьмем отсчеты: по рейке - l_2 и по уровню. Угол наклона ε вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(l_2 - l_1) * \rho''}{d} \quad (3.11)$$

где d - расстояние от нивелира до рейки.

Цена деления цилиндрического уровня будет определена по формуле:

$$\tau'' = \frac{(l_2 - l_1) * \rho''}{d * n} \quad (3.12)$$

Число делений уровня n , на которое переместился пузырек, подсчитывают по разности отсчетов по уровню при первом и втором наведениях на рейку.

По конструкции цилиндрические уровни бывают простыми, компенсированными и камерными.

Вопрос 3.7. Поверки и юстировки теодолита

Поверками теодолита называют действия, имеющие целью выявить, выполнены ли геометрические условия, предъявляемые к прибору.

Каждая поверка теодолита состоит из трех частей. *Первая часть* – геометрическое условие, которое выражает требование, предъявляемое к взаимному расположению осей теодолита. *Вторая часть* – проверка этого условия. *Третья* – исправление выявленных нарушений геометрического условия. Исправление нарушенных условий называется *юстировкой* прибора.

1-ая поверка. Поверка установки цилиндрического уровня. *Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения прибора.* Теоретическое положение оси уровня и оси вращения прибора изображено на рис.3.12; на нем UU_1 - ось уровня, ZZ_1 - ось вращения прибора, она вертикальна и составляет с осью уровня угол 90° ; пузырек уровня находится в нуль-пункте.

Рис. 3.12. Положение осей теодолита

Пусть угол между осью уровня и осью вращения прибора равен не точно 90° , а $(90^\circ - i)$ (рис.3.13). Если установить прибор так, чтобы пузырек уровня был в нуль-пункте, то ось уровня займет горизонтальное положение, а ось вращения прибора будет наклонена на угол i относительно своего правильного положения. Задача поверки - найти угол i и устранить его.

Повернем прибор на 180° (рис.3.14). Ось уровня опишет коническую поверхность с углом при вершине конуса $180^\circ - 2i$ и займет не горизонтальное положение, а наклонится относительно горизонта на угол $2i$; пузырек отклонится от нуль-пункта на n делений, следовательно,

$$2 * i = n * \tau, \quad (3.13)$$

Откуда

$$i = \frac{n}{2} * \tau \quad (3.14)$$

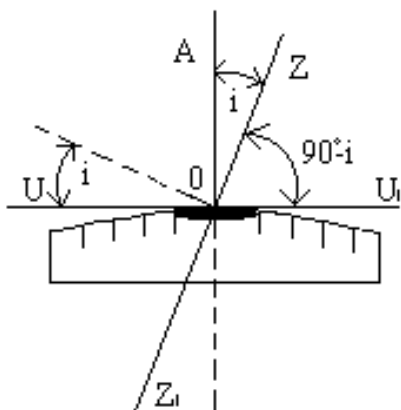


Рис. 3.13. Определение угла i .

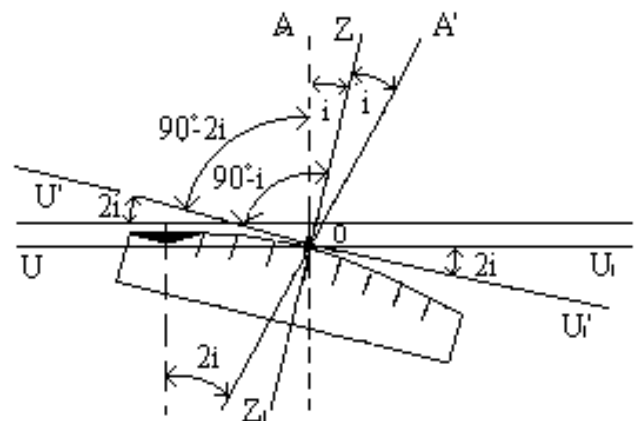


Рис. 3.14. Наклон оси уровня.

Чтобы условие выполнялось, нужно, во-первых, изменить угол между осью уровня и осью вращения прибора на величину i и, во-вторых, наклонить прибор также на угол i . Практически поступают так: сначала подъемными винтами наклоняют прибор на угол i ; при этом пузырек должен приблизиться к нуль-пункту на половину отклонения. Затем, пользуясь исправительными винтами уровня, изменяют положение ампулы в корпусе прибора; при этом пузырек должен установиться точно в нуль-пункте.

Таким образом, последовательность действий при поверке установки уровня следующая:

1. Вращая прибор, установить уровень параллельно двум подъемным винтам.
2. Этими подъемными винтами привести пузырек уровня в нуль-пункт.
3. Повернуть прибор точно на 180° .

4. Сосчитать количество делений n отклонения пузырька уровня от нуль-пункта.
5. Если пузырек уровня отклонился от нуль-пункта не более, чем на одно-два деления, то считается, что условие выполнено, в противном случае нужно выполнять юстировку.
6. Подъемными винтами сместить пузырек обратно на $n/2$ делений.
7. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нуль-пункт.

Если угол i большой, то после поворота прибора на 180° пузырек уходит за пределы шкалы, и количество делений n сосчитать нельзя. В этом случае отклонение пузырька от нуль-пункта можно измерить в более крупных единицах, например, в оборотах подъемных винтов, и исправлять уровень способом последовательных приближений.

2-ая проверка. Проверка перпендикулярности визирной оси трубы к оси вращения трубы. Эта проверка выполняется с помощью отсчетов по горизонтальному кругу при наблюдении какой-либо визирной цели.

Если условие выполняется, то при вращении трубы вокруг своей оси визирная линия трубы описывает плоскость, совпадающую с коллимационной плоскостью. Если угол между визирной линией трубы и осью вращения трубы не равен точно 90° , то при вращении трубы визирная линия будет описывать коническую поверхность с углом при вершине конуса $180^\circ - 2C$, где C - угол между фактическим положением визирной линии трубы и ее теоретическим положением; угол C называется *коллимационной ошибкой* (рис.3.15).

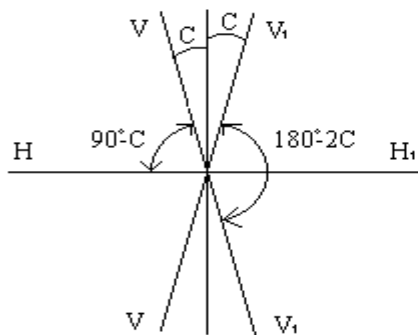


Рис. 3.15

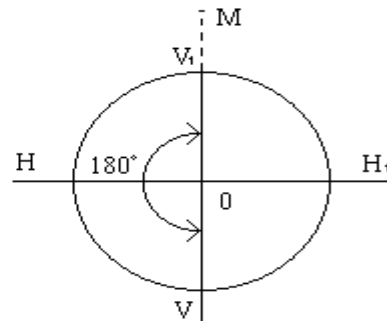


Рис.3.16

В теодолитах с односторонним отсчитыванием по лимбу в каждом отдельном отсчете (и при КЛ и при КП) присутствует еще ошибка эксцентриситета алидады, поэтому значение коллимационной ошибки, будет включать ошибку эксцентриситета. Для таких теодолитов (Т30, Т15, Т5) коллимационную ошибку определяют по методике, состоящей из следующих действий:

- навести трубу при КЛ на четко видимую точку, расположенную вблизи горизонта, взять отсчет по лимбу N_L' ,
- перевести трубу через зенит, навести ее на ту же точку при КП и взять отсчет по лимбу N_R' ,

- ослабить закрепительный винт лимба и повернуть теодолит примерно на 180° ,
- навести трубу на точку при КЛ, взять отсчет N_L'' ,
- навести трубу на точку при КП, взять отсчет N_R'' ,
- вычислить коллимационную ошибку по формуле:

$$2C = 0.5 * [(N_L' + N_L'') - (N_R' + N_R'')] + 360^\circ \quad (3.15)$$

Если коллимационная ошибка больше двойной точности прибора, то производится юстировка одинаковым для большинства теодолитов способом:

- вычисляют правильный отсчет:

$$N_L = N_L' - C, \text{ или} \\ N_R = N_R' + C$$

и устанавливают его на лимбе. При этом изображение точки не будет совпадать с центром сетки нитей на величину C . Боковыми исправительными винтами сетки нитей совмещают центр сетки нитей с изображением точки. После юстировки надо повторить поверку и убедиться, что условие выполнено.

3-ья поверка. *Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения алидады.* Для проверки этого условия используют хорошо видимую высоко расположенную точку M . Сначала наводят трубу на точку M при КЛ, а затем плавно опускают трубу до горизонтального положения и отмечают точку m_1 в которую проектируется точка M (рис.3.17).

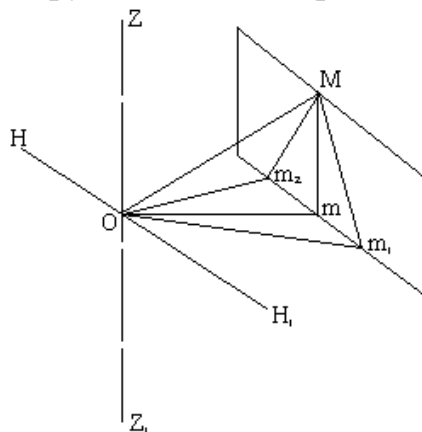


Рис. 3.17.

Затем переводят трубу через зенит, наводят ее на точку M при КП и снова проектируют точку на уровень горизонта теодолита; отмечают точку m_2 .

Если ось вращения трубы перпендикулярна оси вращения алидады, то проекция точки M оба раза попадет в точку m ; в противном случае точек будет две - m_1 и m_2 .

Положение, при котором один конец оси трубы выше другого, возникает, когда высота подставок трубы неодинакова; вследствие этого рассматриваемую поверку иногда называют поверкой неравенства подставок.

Выполнение рассматриваемого условия обеспечивается заводом-изготовителем или производится в мастерской.

4-ая поверка. Поверка сетки нитей. Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения прибора, а вертикальная параллельна ей при горизонтальном положении зрительной трубы. Поверка этого условия выполняется последней. Наводят трубу на хорошо видимую точку и наводящим винтом смещают ее по высоте. Если при этом изображение точки остается на вертикальной нити сетки нитей, то условие выполняется. Если изображение точки сходит с вертикальной нити, нужно ослабить исправительные винты сетки нитей и развернуть сетку в нужном направлении. После этого следует повторить вторую поверку и снова определить коллимационную ошибку, так как при ослаблении и затягивании исправительных винтов сетки нитей ее центр мог сдвинуться в сторону.

Вопрос 3.8. Измерение горизонтальных углов полным приемом

Перед измерением угла необходимо привести теодолит в рабочее положение, то есть, выполнить три операции: центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы.

Измерение угла выполняется строго по методике, соответствующей способу измерения. Известно несколько способов измерения горизонтальных углов: способ отдельного угла (способ приемов), способ круговых приемов, способ во всех комбинациях и др.

Способ приемов. Измерение горизонтального угла способом приемов складывается из следующих действий:

1. наведение трубы на точку, фиксирующую направление правой стороны угла (рис.3.18), при круге лево (КЛ), взятие отсчета L_1 ;

2. поворот алидады против хода часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление левой стороны угла; взятие отсчета L_2 ,

3. вычисление угла при КЛ:

$$\beta_{\text{л}} = L_1 - L_2, \quad (3.16)$$

4. перестановка лимба на $1^\circ - 5^\circ$ для теодолитов с односторонним отсчитыванием и на 90° - для теодолитов с двухсторонним отсчитыванием,

5. переведение трубы через зенит и наведение ее на точку, фиксирующую направление правой стороны угла, при круге право (КП); взятие отсчета R_1 ,

6. поворот алидады против хода часовой стрелки и наведение трубы на точку, фиксирующую направление левой стороны угла; взятие отсчета R_2 ,

7. вычисление угла при КП:

$$\beta_{\text{п}} = R_1 - R_2, \quad (3.17)$$

8. при выполнении условия $|\beta_{\text{л}} - \beta_{\text{п}}| < 2 * t$, где t - точность теодолита, вычисление среднего значения угла:

$$\beta_{cp} = 0.5 * (\beta_{л} + \beta_{п}) \quad (3.18)$$

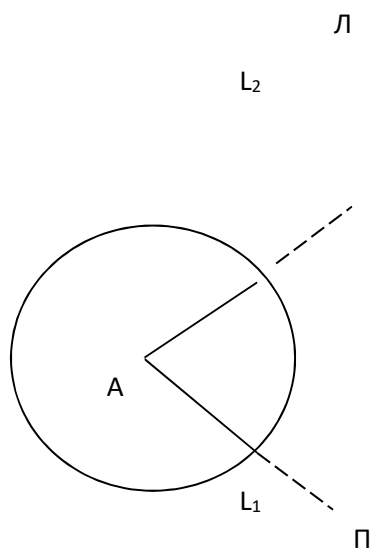


Рис. 3.18. Измерение горизонтального угла

Измерение угла при одном положении круга (КЛ или КП) составляет один полуприем; полный цикл измерения угла при двух положениях круга составляет один прием.

Запись отсчетов по лимбу и вычисление угла производятся в журналах установленной формы.

Вопрос 3.9. Устройство вертикального круга теодолита. Измерение вертикальных углов

Вертикальный угол - это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости. К вертикальным углам относятся *угол наклона* и *зенитное расстояние*. Угол между горизонтальной плоскостью и направлением линии местности называется *углом наклона* и обозначается буквой v . Углы наклона бывают положительные и отрицательные.

Угол между вертикальным направлением и направлением линии местности называется *зенитным расстоянием* и обозначается буквой Z . Зенитные расстояния всегда положительные (рис.3.19).

Угол наклона и зенитное расстояние одного направления связаны соотношением:

$$Z + v = 90^\circ \quad (3.19)$$

или

$$v = 90^\circ - Z \quad (3.20)$$

или

$$Z = 90^\circ - v \quad (3.21)$$

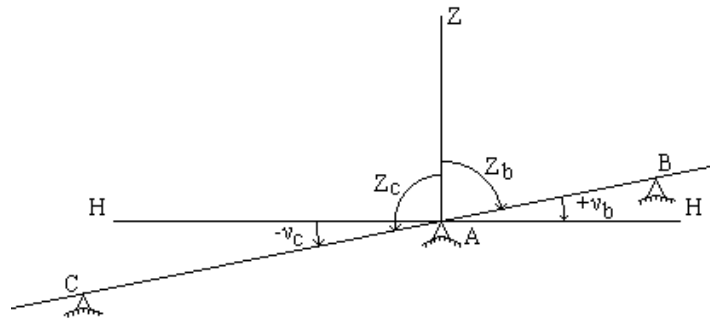


Рис. 3.19. Определение вертикальных углов.

Вертикальный круг теодолита. Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов, то есть, углов наклона или зенитных расстояний.

Вертикальный круг большинства теодолитов устроен следующим образом:

- лимб вертикального круга жестко соединен с трубой (насажен на один из концов оси трубы), центр лимба совмещен с геометрической осью вращения трубы, а его плоскость перпендикулярна этой оси. Деления на лимбе наносят по-разному: либо от 0° до 360° , либо от 0° до 180° в обе стороны со знаками "плюс" и "минус" или без знаков и т.д.

- для отсчета по лимбу имеется алидада. Основные части алидады: отсчетное приспособление, цилиндрический уровень (или компенсатор) при алидаде вертикального круга и микрометрический винт.

Следует особо заметить, что при измерении угла наклона алидада вертикального круга неподвижна, а вращается лимб вместе со зрительной трубой; а при измерении горизонтального угла лимб горизонтального круга неподвижен и вращается алидада.

Пузырек уровня при алидаде вертикального круга в момент отсчета приводится в нуль-пункт, то есть, ось уровня служит указателем горизонтального направления.

Взаимное положение лимба и зрительной трубы должно удовлетворять условию: визирная линия трубы и нулевой диаметр лимба должны быть параллельны.

Оба условия вместе составляют так **называемое главное условие вертикального круга теодолита**; оно читается так: *визирная линия трубы должна занимать горизонтальное положение, когда отсчет по лимбу равен нулю и пузырек уровня находится в нуль-пункте.*

На практике оба эти условия могут не выполняться. Если же ось уровня не параллельна визирной оси зрительной трубы, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы и оси уровня отсчёт по вертикальному кругу не равен нулю. Отсчёт по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы, когда пузырёк уровня выведен на середину, принято называть местом нуля, обозначается МО.

Таким образом, место нуля вертикального круга теодолита - это отсчет по лимбу вертикального круга при горизонтальном положении визирной линии трубы и оси уровня вертикального круга.

Для определения значения $МО$ визируют зрительной трубой при $КП$ и $КЛ$ на одну и ту же точку, и берут отсчёты по вертикальному кругу при каждом наведении трубы.

1. Для теодолитов с круговой оцифровкой вертикального круга против часовой стрелки (ТЗ0) значения $МО$ и углов наклона могут быть рассчитаны по формулам:

$$\begin{aligned}МО &= \frac{КЛ + КП + 180^0}{2} \\v &= КЛ - МО \\v &= МО - КП + 180^0\end{aligned}\tag{3.22}$$

При вычислении надо руководствоваться правилом: к величинам $КП$, $КЛ$ и $МО$, меньшим 90^0 , необходимо прибавлять 360^0 .

2. При секторной оцифровке лимба вертикального круга от нуля в обе стороны – по ходу и против хода часовой стрелки, т.е. для теодолитов ТЗ0, Т15 и др. вычисления $МО$ и углов наклона можно выполнять по формулам:

$$МО = \frac{КЛ+КП}{2}; v = \frac{КЛ-КП}{2}; v = КЛ - МО; v = МО - КП\tag{3.23}$$

Правильность измерений вертикальных углов на станции контролируется постоянством $МО$, колебания в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчётного устройства.

Все отсчёты записывают в журнал измерений.

Для измерения углов наклона удобно иметь $МО$ близким к нулю, поэтому нужно регулярно выполнять поверку места нуля, которая предусматривает следующие действия:

- наведение трубы на точку при $КЛ$, приведение пузырька уровня в нуль-пункт и взятие отсчета по вертикальному кругу;
- перевод трубы через зенит, наведение трубы на точку при $КП$, приведение пузырька уровня в нуль-пункт и взятие отсчета по вертикальному кругу;
- вычисление по соответствующим формулам места нуля $МО$ и угла наклона v .

Если $МО$ получается большим, то при основном положении круга нужно навести трубу на точку и наводящим винтом алидады установить отсчет, равный углу наклона; при этом пузырек уровня при алидаде вертикального круга отклонится от нуль-пункта. Исправительными винтами уровня привести пузырек в нуль-пункт.

У теодолита Т30 исправление места нуля выполняют перемещением по вертикали сетки нитей. Для этого визируют на одну и ту же точку при двух положениях круга и снимают отсчеты по вертикальному кругу. Затем по формулам определяют значения МО и угла наклона. Устанавливают отсчет по лимбу вертикального круга, соответствующий углу наклона. При этом перекрестие сетки нитей сойдет с точки. Вертикальными исправительными винтами возвращают перекрестие на точку.