

Лекция 6

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ ОПТИЧЕСКИМ ТЕОДОЛИТОМ

Оглавление

1. Подготовка теодолита к измерениям	1
2. Принцип измерения горизонтального угла	2
3. Порядок измерений и вычислений правого горизонтального угла способом приёмов	4
4. Особенности измерения горизонтального угла электронным теодолитом GEOBOX TE-20	9
5. Погрешности измерения горизонтального угла	11
6. Принцип измерения угла наклона	11
7. Место нуля	13
8. Порядок работы на станции при измерении вертикального угла оптическим теодолитом 2Т30	13
9. Вычисление вертикального угла	14

1. Подготовка теодолита к измерениям

Прежде чем измерить горизонтальный угол необходимо установить прибор на станции (в вершине угла) и привести его в рабочее положение, которое заключается в следующих действиях: центрирование, горизонтирование, подготовка трубы к наблюдениям [1].

а) *Центрирование теодолита* – установка центра горизонтального угломерного круга над вершиной измеряемого угла с помощью отвеса или оптического центрира; выполняется путём регулирования ножек штатива или передвижением теодолита по столику при ослабленном станом винте.

б) *Горизонтирование (нивелирование) теодолита* – приведение плоскости горизонтального угломерного круга в горизонтальное положение (или вертикальной оси в отвесное положение) с помощью цилиндрического уровня горизонтального круга и подъёмных винтов. Последовательность действий (рис. 6.1): разворачивают цилиндрический уровень параллельно двум подъёмным винтам, поворачивают их в противоположных направлениях и выводят пузырёк на середину (а); далее поворачивают цилиндрический уровень примерно на 90° и третьим подъёмным винтом выводят пузырёк на середину (б). И третий раз – поворачивают цилиндрический уровень на другую сторону, опять выводят пузырёк на середину; используют для этого любой подъёмный винт. Так действуют до тех пор, пока пузырёк не будет сходиться с нуль-пункта

при повороте теодолита вокруг своей оси.

Горизонтирование необходимо выполнять до тех пор, пока отвес не будет находиться над вершиной угла (точность центрирования над точкой 5 мм), а пузырёк цилиндрического уровня при горизонтальном круге не будет смещаться из нуля-пункта при вращении теодолита вокруг своей оси.

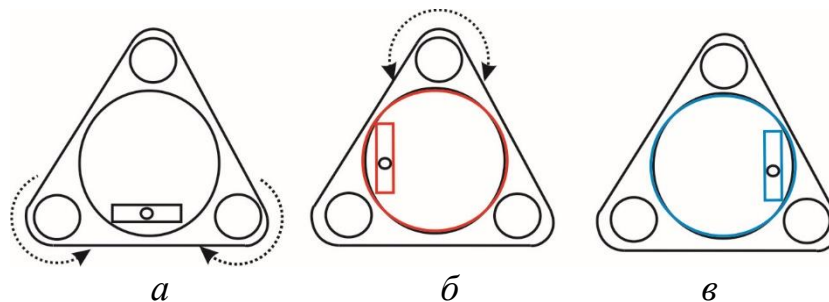


Рис. 6.1. Схема горизонтирования теодолита

2. Принцип измерения горизонтального угла

Пусть на местности имеются три точки A , B и C (рис. 6.2), имеющие разные абсолютные отметки. Точки образуют угол ABC с вершиной в точке B . Отрезки AB и BC не лежат в одной плоскости, поэтому угол ABC будет пространственным углом. Через точку B – вершину угла – проведём отвесную линию. Перпендикулярно отвесной линии возьмём плоскость так, чтобы она пересекала отвесную линию в точке b [3].

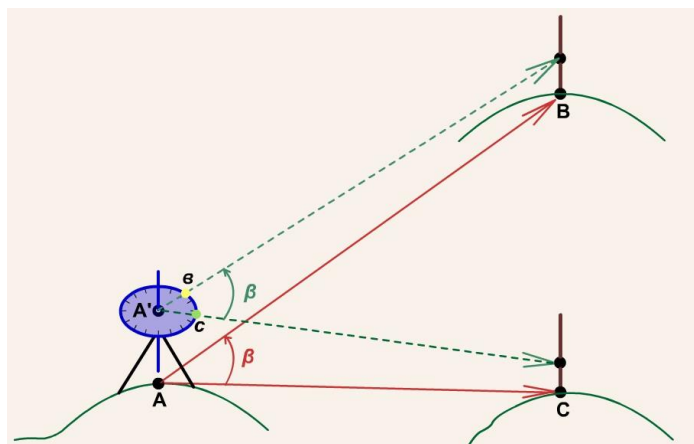


Рис. 6.3. Визирование по двум сторонам горизонтального угла

Принцип измерения горизонтального угла – значение угла равно разности двух отсчётов по горизонтальному угломерному кругу, полученных после визирования по двум сторонам угла [2]. Следует отметить, что при измерении горизонтального угла лимб горизонтального круга неподвижен, вращается алидада.

Различают следующие основные способы измерений углов: приёмов, совмещения нулей лимба и алидады, повторений. Рассмотрим способ приёмов.

3. Порядок измерений и вычислений правого горизонтального угла способом приёмов

Пусть требуется измерить горизонтальный угол β между двумя сторонами теодолитного хода AB и BC . Точка B – вершина угла. В вершину угла ставят теодолит и тогда её называют станцией. Если направление хода $A \rightarrow B \rightarrow C$, то точка A – задняя точка хода, точка C – передняя точка. В точки A и C ставят рейки. Таким образом теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла так, чтобы его вертикальная ось была отвесна и проходила через вершину угла на станции, а вехи или рейки – сзади колышков на предыдущей (задней) и последующей (передней) точках хода.

Углы можно измерять справа и слева по ходу лежащие. Если направление хода $A \rightarrow B \rightarrow C$, то на рис. 6.4. угол β – справа по ходу лежащий, угол λ – слева. Для исключения ошибки от эксцентриситета алидады¹ и наклона оси вращения зрительной трубы измерения выполняют при двух положениях вертикального круга – при круге «лево»

¹ Эксцентриситет алидады – несовпадение вертикальных осей лимба и алидады

(КЛ)² и при круге «право» (КП)³. Измерение при одном круге называют полуприёмом. Рассмотрим порядок измерения правого горизонтального угла β способом приёмов [2] (рис.6.5).

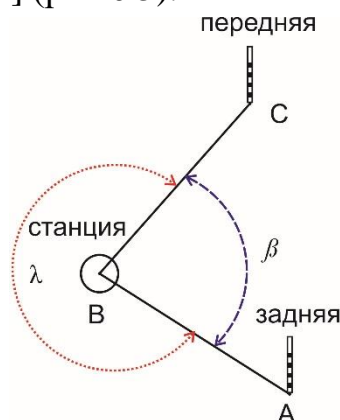


Рис. 6.4. Схема правого горизонтального угла на станции В

Первыми проводят измерения при круге лево – КЛ.

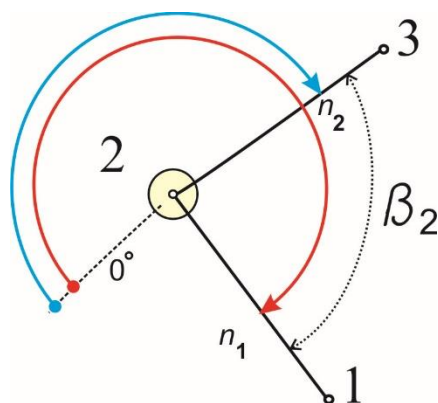


Рис. 6.5. Схема измерения правого по ходу горизонтального угла при КЛ

Первый полуприём (КЛ):

1) Визируют трубу на заднюю точку 1, закрепив алидаду, берут отсчёт по горизонтальному кругу n_1 (рис. 6.5).

2) Открепляют алидаду и визируют на переднюю точку 3, закрепив алидаду, берут отсчёт n_2 .

3) Справа по ходу лежащий угол определяют по правилу – отсчёт назад минус отсчёт вперёд:

$$\beta_{\text{кл}} = n_1 - n_2.$$

² Если смотреть в окуляр трубы, то вертикальный угломерный круг будет расположен слева от трубы и от наблюдателя.

³ Если смотреть в окуляр трубы, то вертикальный угломерный круг будет расположен справа от трубы и от наблюдателя.

На этом первый полуприём закончен. Перед вторым полуприёмом открепляют трубу и переводят её через зенит (зрительную трубу поворачивают вокруг горизонтальной оси вращения, меняя местами окуляр и объектив). Затем открепляют алидаду и разворачивают прибор на 180° .⁴

Второй полуприём (КП).

При втором полуприёме визирование и измерения производят аналогично. Два полуприёма составляют полный приём.

Расхождение в значениях угла в двух полуприёмах (C) не должно превышать двойной точности прибора (t):

$$C \leq 2t.$$

При этом условии значение угла принимают как среднее арифметическое:

$$\beta_{cp} = \frac{\beta_{кл} + \beta_{кп}}{2}.$$

Если отсчет на заднюю точку окажется меньше отсчета на переднюю точку (это случается когда ноль лимба закреплён между вершинами угла), то к отсчёту прибавляют 360° .

Ноль лимба может быть закреплён в любом положении.

Если требуется определить левый по ходу угол λ (рис. 6.4), то его вычисляют по правилу «отсчёт на переднюю точку минус отсчёт на заднюю точку».

При измерении горизонтальных углов трубу визируют на пятку рейки во избежание погрешности установки реек (рис. 6.6).

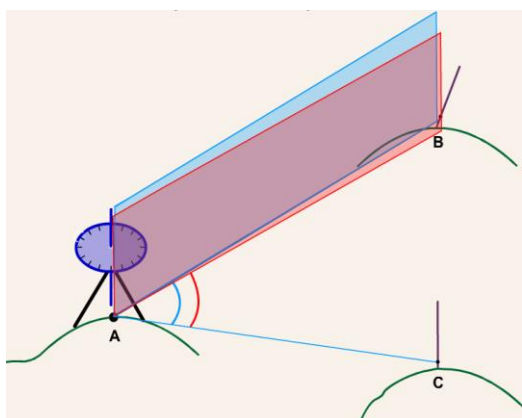


Рис. 6.6. Погрешность измерения горизонтального угла при визировании на рейку

⁴ Измерение при КП можно выполнять и при новом положении лимба, который смещают приблизительно на 90° . В этом случае значения отсчётов на одну и ту же точку при разных кругах не будут отличаться на 180° .

Пример 6.1. Вычислите правый по ходу горизонтальный угол на станции 3, измеренный теодолитом 2Т30, если $КЛ_2=121^{\circ}58'$; $КЛ_4=6^{\circ}34'$; $КП_2=301^{\circ}59'$; $КП_4=186^{\circ}32'$; приведите схему при КЛ.

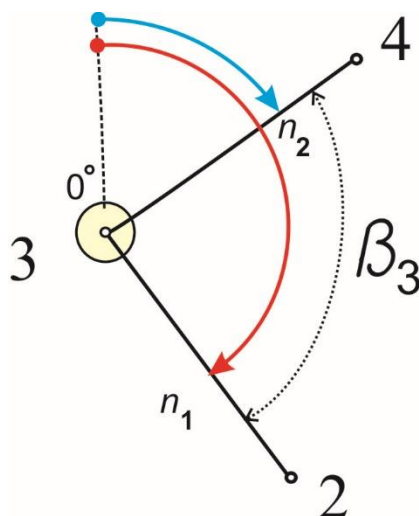


Рис. 6.7. Схема измерения правого горизонтального угла при КЛ к примеру 6.1

Решение (рис. 6.7):

$$\beta_{КЛ} = 121^{\circ}58' - 6^{\circ}34' = 115^{\circ}24';$$

$$\beta_{КП} = 301^{\circ}59' - 186^{\circ}32' = 115^{\circ}27'.$$

Средний горизонтальный угол $\beta_{СР}$ вычислить не можем, так как разница в полуприёмах составляет $3'$, при допустимой $1'$; необходимо провести повторные полевые измерения.

Пример 6.2. Вычислите правый по ходу горизонтальный угол на станции 2, измеренный теодолитом 2Т30, если $КЛ_1=328^{\circ}$; $КЛ_3=113^{\circ}14'$; $КП_1=147^{\circ}59'$; $КП_3=293^{\circ}14'$; приведите схему при КЛ.

Решение (табл. 6.1):

$$\beta_{КЛ} = 328^{\circ} - 113^{\circ}14' = 214^{\circ}46';$$

$$\beta_{КП} = 147^{\circ}59' + 360^{\circ} - 293^{\circ}14' = 214^{\circ}45'.$$

$$\beta_{СР} = (214^{\circ}46' + 214^{\circ}45') / 2 = 214^{\circ}45,5'.$$

Пример 6.3. Вычислите правый по ходу горизонтальный угол на станции 6, измеренный теодолитом 2Т30, если $КЛ_5=22^{\circ}17,5'$; $КЛ_7=247^{\circ}15,5'$; $КП_5=202^{\circ}17'$; $КП_7=67^{\circ}15,5'$; приведите схему при КЛ.

Решение:

$$\beta_{КЛ} = 22^{\circ}17,5' + 360^{\circ} - 247^{\circ}15,5' = 135^{\circ}02';$$

$$\beta_{КП} = 202^{\circ}17' - 67^{\circ}15,5' = 135^{\circ}01,5'.$$

$$\beta_{СР} = (135^{\circ}02' + 135^{\circ}01,5') / 2 = 135^{\circ}01'45''.$$

Таблица 6.1.

Фрагмент журнала измерения горизонтальных углов

№ станции	№ точек визирования	Отсчеты по горизонтальному угломерному кругу		Измеренный угол		Среднее значение угла	
		°	'	°	'	°	'
3	2 (КЛ)	328	00	214	46	214	45,5
	4(КЛ)	113	14				
	2 (КП)	147	59	214	45		
	4 (КП)	293	14				

Порядок взятия отсчётов для теодолита 2Т30 следующий (рис. 5.9, а):

- считывают число градусов отсчётного штриха (по рисунку – 125°);
- считывают минуты слева направо от нуля⁵, учитывая, что цена деления на шкале горизонтального угломерного круга – $5'$ (по рисунку – $6'$).

Порядок взятия отсчётов для теодолита ГЕОВОХ ОТ-05 такой же, как и для теодолита 2Т30. Однако цена деления шкалы отсчётного устройства – $1'$, поэтому отсчёты можно брать с точностью $1/10$ минуты (оценивая эти доли на глаз) (рис. 5.11).

Пример 6.4. Вычислите правый по ходу горизонтальный угол на станции 2 измеренный теодолитом ГЕОВОХ ОТ-05, если $КЛ_1=87^\circ05,5'$; $КЛ_3=61^\circ40'$; $КП_1=267^\circ06'$; $КП_3=241^\circ40,9'$; приведите схему при КЛ.

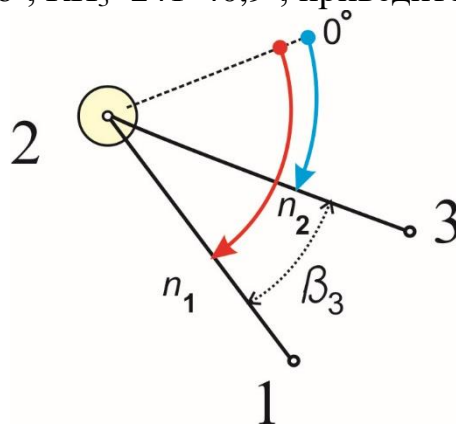


Рис. 6.8. Схема измерения горизонтального угла к примеру 6.4

Решение (рис. 6.10):

$$\beta_{\text{КЛ}} = 87^\circ05,5' - 61^\circ40' = 25^\circ25,5';$$

⁵ Лимб горизонтального угломерного круга оцифрован всегда от нуля до 360° , слева направо

$$\beta_{\text{КП}} = 267^{\circ}06,3' - 241^{\circ}40,9' = 25^{\circ}25,4'$$

Средний горизонтальный угол $\beta_{\text{ср}}$ вычисляем как среднее арифметическое:

$$\frac{25^{\circ}25,5' + 25^{\circ}25,4'}{2} = 25^{\circ}25,45'$$

4. Особенности измерения горизонтального угла электронным теодолитом GEOVOX TE-20

В электронных теодолитах отсчёты по вертикальному и горизонтальному кругам производятся автоматически.

Горизонтальные углы (правые) теодолитом TE-20 (рис. 6.9) измеряют в режиме HR при двух положениях трубы (КЛ и КП), для чего переводят трубу через зенит. Горизонтальные углы измеряют от нуля, либо методом повторений. При измерении от нуля сначала наводят зрительную трубу на первый ориентир. Нажимают клавишу обнуления отсчётов (OSET). Наводят зрительную трубу на второй ориентир – при этом на дисплее высветится значение правого горизонтального угла, если теодолит поворачивали по часовой стрелке. Если теодолит поворачивали против часовой стрелки, то на дисплее высветится значение левого угла.

Левые горизонтальные углы методом от нуля измеряют в режиме HL, теодолит поворачивают против часовой стрелки.

Измерение горизонтального угла методом повторений предполагает получение более точного значения измеряемого угла. Порядок измерений с помощью этого метода изложен в паспорте прибора.



Рис. 6.9. Теодолит GEOBOX TE-20



Рис. 6.10. Дисплей теодолита GEOBOX TE-20

5. Погрешности измерения горизонтального угла

Основными источниками ошибок при измерении углов теодолитом являются:

- погрешность самого прибора,
- погрешность центрирования,
- погрешность установки визирных целей над визируемыми точками (погрешности за редукцию визирных целей),
- погрешность визирования зрительной трубой и отсчитывания по кругам теодолита.

Погрешности, которые зависят от самого прибора – малы и ими можно пренебречь.

Погрешность центрирования: расчёты показывают, что при центрировании прибора с погрешностью 3 см и при длине стороны угла около 20 м погрешность за центрирование достигает 7 минут (рис. 6.11).

Погрешность установки вех: при длине стороны визирования около 20 м необходимо выполнять центрирование с точностью 4-5 мм, не более. При этом погрешность измерения угла составит около 1 минуты.

Отсюда следует важность тщательного центрирования и аккуратной установки вех. При работе следует избегать, по возможности, визирования на короткие расстояния.

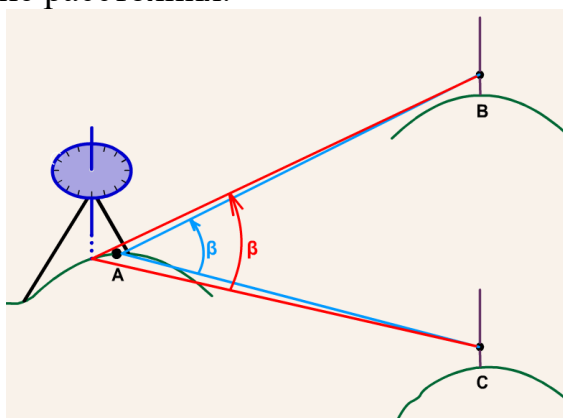


Рис. 6.11. Погрешность измерения горизонтального угла при ошибке центрирования теодолита

6. Принцип измерения вертикального угла

Для определения *вертикальных углов* ν или *зенитных расстояний* z служит вертикальный круг теодолита. При измерении углов в вертикальной плоскости алидада вертикального круга неподвижна, вместе со зрительной трубой вращается только лимб.

Принцип измерения вертикального угла (угла наклона) тот же, что

и горизонтального, т.е. значение угла равно разности двух отсчётов, полученных после визирования по двум сторонам угла. Но так как одной из сторон углов наклона всегда является горизонтальная линия, когда отсчёт по лимбу равен нулю, то измерение углов наклона сводится лишь к отсчёту по лимбу при визировании на наблюдаемую точку. Началом отсчёта этих углов служит горизонтальная линия, проходящая через центр вертикального круга [3].

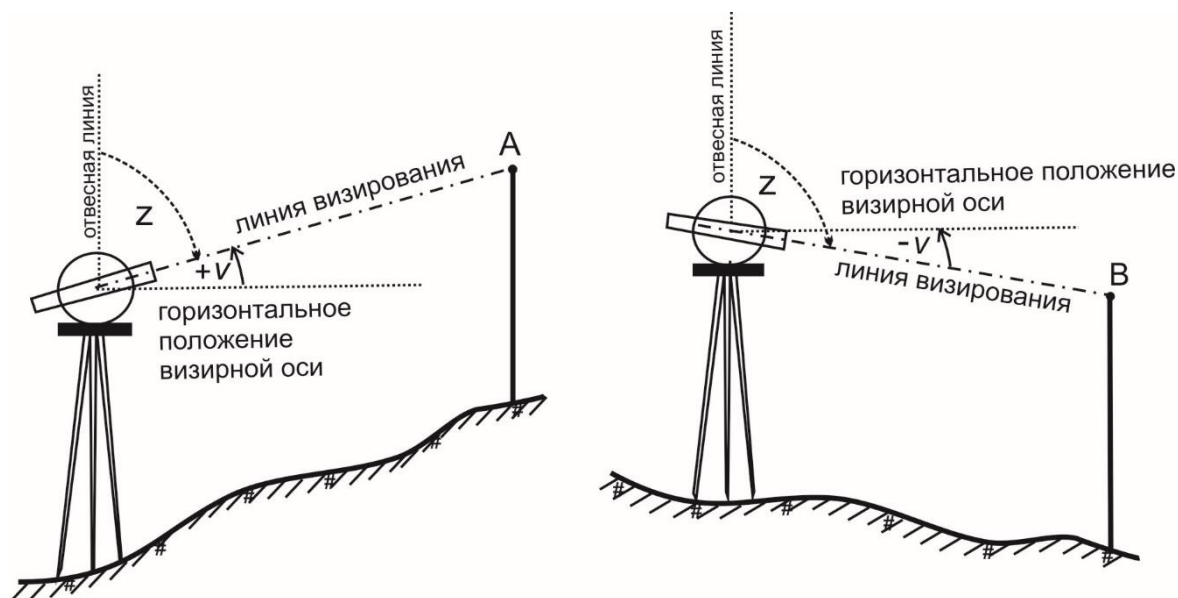


Рис. 6.12. Измерение вертикального угла в точках A и B

Углом наклона v называется угол в вертикальной плоскости между направлением на предмет и направлением, соответствующим горизонтальному положению визирной оси (рис. 6.12).

Углы наклона могут быть *положительными* (если точка визирования расположена выше горизонтальной оси вращения трубы) и *отрицательными* (точка визирования расположена ниже горизонтальной оси вращения трубы).

Зенитным расстоянием z называется угол в вертикальной плоскости между отвесной линией и визирным лучом, направленным на наблюдаемую точку. Зенитное расстояние дополняет угол наклона до 90° .

Перед отсчётом пузырёк уровня при алидаде вертикального круга приводят на середину установочным винтом.

У теодолитов с компенсатором отсчётное устройство вертикального круга приводится в исходное положение автоматически. Принцип работы компенсатора основан на том, что под действием силы тяжести оптическая система, подвешенная на проволоках, стремится занять от-

весное положение и тем самым устраняет погрешность установки теодолита, т.е. приводит отсчётное устройство вертикального круга теодолита всегда в одно и тоже исходное положение.

При измерении вертикальных углов перекрестие сетки нитей наводят на *визирные знаки*, в качестве которых используют рейки с отмеченными точками визирования.

7. Место нуля

Место нуля MO (место зенита MZ) – это отсчет по лимбу вертикального круга, когда визирная ось зрительной трубы горизонтальна, пузырек уровня при алидаде вертикального круга находится в нуль-пункте (рис. 6.13).

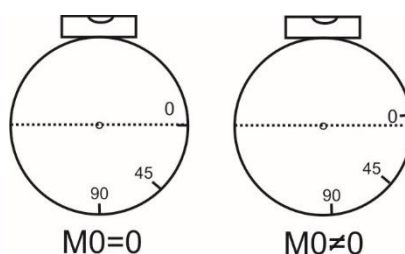


Рис. 6.13. Место нуля вертикального круга

При хорошо отъюстированном приборе место нуля M_0 и место зенита M_Z должны быть близки к нулю. Но практически значения M_0 и M_Z отличаются от 0° на некоторую величину, которую необходимо учитывать при определении вертикальных углов ν или зенитных расстояний z . M_0 и M_Z имеют небольшие значения с положительным или отрицательным знаками, например: $M_0 = +0^\circ 01'$ или $M_0 = -0^\circ 01'$.

С визирной осью трубы совпадают направления на лимбе вертикального круга: $0 \dots 180^\circ$ или $90 \dots 270^\circ$. Лимб, вращаясь вместе с трубой, подводит к отсчётным индексам различные отсчёты.

8. Порядок работы на станции при измерении вертикального угла

Если место нуля неизвестно, то угол наклона измеряют визированием на точку дважды – при КЛ и КП. По результатам двух отсчётов вычисляют вертикальный угол ν . Такое измерение вертикального угла называют измерением полным приёмом.

Порядок работ оптическим теодолитом 2Т30 при измерении вертикального угла полным приёмом [2].

1. Перед взятием отсчёта необходимо проверить положение пузырька цилиндрического уровня при горизонтальном круге. Если пузырёк уровня отошёл от середины, то его необходимо установить на середину подъёмными винтами и проверить наведение горизонтальной нити на точку. Также каждый раз перед взятием отсчёта необходимо приводить пузырёк цилиндрического уровня при трубе (если имеется) в нуль-пункт.

2. Снять отсчет по вертикальному кругу при КЛ и записать в журнал:

- считывают количество градусов отсчётного штриха;
- считывают минуты – если сверху стоит «минус число» – по отрицательной шкале от нуля до отсчётного штриха, если сверху стоит «плюс число» – по положительной шкале от нуля до отсчётного штриха (рис. 5.9).

3. Перевести трубу через зенит и аналогичные действия выполнить при другом положении вертикального круга.

4. Вычислить вертикальный угол.

Разница между двумя отсчётами вертикального угла не должна превышать двойной точности прибора.

Порядок работы при измерении вертикального угла оптическим теодолитом GEOBOX OT-05.

1. Перед взятием отсчёта необходимо привести пузырёк цилиндрического уровня при трубе в нуль-пункт. Проверить положение пузырька цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

2. Снять отсчёт по шкале в нижней части отсчётной системы теодолита (шкала с индексом «В»). Отсчёт состоит из трёх частей – градусы, минуты, десятые доли минуты.

3. Перевести трубу через зенит и снять отсчёт при другом положении вертикального круга.

4. Вычислить вертикальный угол.

9. Вычисление вертикального угла

Лимб вертикального круга наглухо скреплён со зрительной трубой и расположен так, что его центр лежит на горизонтальной оси теодолита. При вычислении вертикального угла необходимо учитывать место нуля.

Расчёт вертикального угла у оптических теодолитов зависит от оцифровки лимба вертикального круга теодолита, а также от начала отсчёта (от зенита или от горизонта). Формулы для расчёта приводятся в

соответствующем паспорте прибора.

Вертикальный угол вычисляют через место нуля либо по результатам двух отсчётов КЛ и КП.

Расчётные формулы вертикального угла для теодолитов с круговой оцифровкой лимба вертикального круга против хода часовой стрелки (Т30, ТОМ):

$$M0 = \frac{КЛ + КП + 180^\circ}{2}; \nu = КЛ - M0;$$

$$\nu = M0 - (КП + 180^\circ); \nu = \frac{КЛ - (КП + 180^\circ)}{2}.$$

При вычислениях по этим формулам при значениях КП и КЛ меньше 90° к ним необходимо прибавлять 360°.

У теодолита 2Т30 (Т15) вертикальный угломерный круг разбит на 4 сектора по 90°, из которых два сектора имеют положительную оцифровку, а два других – отрицательную. *Расчётные формулы при секторной оцифровке лимба вертикального круга от нуля в обе стороны – по ходу и против хода часовой стрелки (2Т30; Т15К; 2Т5; 2Т5К; 2Т30П):*

$$M0 = \frac{КП + КЛ}{2}; \nu = \frac{КЛ - КП}{2}; \nu = КЛ - M0; \nu = M0 - КП.$$

При расчёте по этим формулам добавлений 360° делать не нужно.

Вычисленные средние углы записывают в журнал (табл.6.2).

Оптический теодолит GEOBOX OT-05. Вертикальные углы считаются от зенита. Место зенита МЗ или МZ вычисляют по формуле

$$MЗ = \frac{1}{2} [(КЛ + КП) - 360^\circ].$$

Зенитное расстояние вычисляют по формуле

$$Z = КЛ - MЗ.$$

Затем вычисляют вертикальный угол:

$$\nu = 90^\circ - Z.$$

Таблица 6.2

Фрагмент журнала измерения вертикальных углов

№№ точек наблюдения	Отчеты по вертикальному кругу				МО		Угол наклона	
	КЛ		КП					
	°	'	°	'	°	'	°	'
			Станция № I					
II	-0	35	+0	37	+0	01	-0	36

Пример 6.5. Вычислите вертикальный угол для стороны I-II теодолитного хода. Отсчёт при КЛ равен 0°11', при КП - -0°12' (2Т30).

Решение:

$$M0 = \frac{КЛ + КП}{2} = \frac{0^{\circ}11' + (-0^{\circ}12')}{2} = -0^{\circ}00,5';$$

$$\nu = M0 - КП = -0^{\circ}00,5' - (-0^{\circ}12') = 0^{\circ}11,5'.$$

Контроль:

$$\nu = \frac{КЛ - КП}{2} = \frac{0^{\circ}11' - (-0^{\circ}12')}{2} = 0^{\circ}11,5'.$$

Пример 6.6. Вычислите вертикальный угол для стороны IV-V теодолитного хода. Отсчёт при КЛ равен $2^{\circ}48'$, при КП - $177^{\circ}10'$ (Т30).

Решение:

$$M0 = \frac{КП + КЛ + 180^{\circ}}{2} = \frac{2^{\circ}48' + 177^{\circ}10' + 180^{\circ} + 360^{\circ}}{2} = 359^{\circ}59';$$

$$\nu = КЛ - M0 = 2^{\circ}48' + 360^{\circ} - 359^{\circ}59' = 2^{\circ}49'.$$

Контроль:

$$\nu = \frac{КЛ - (КП + 180^{\circ})}{2} = -\frac{2^{\circ}48' + 360^{\circ} - (177^{\circ}10' + 180^{\circ})}{2} = \frac{362^{\circ}48' - 357^{\circ}10'}{2} = 2^{\circ}49'.$$

Пример 6.7. Вычислите вертикальный угол для стороны теодолитного хода 1-2. Отсчёт при КЛ равен $86^{\circ}47,5'$, при КП $273^{\circ}12'$ (ГЕО-ВОХ ОТ-05).

Решение:

$$M3 = \frac{1}{2}(КЛ + КП) - 360^{\circ} = \frac{1}{2} \cdot [(86^{\circ}47,5' + 273^{\circ}12') - 360^{\circ}] = -15''.$$

$$Z = КЛ - M3 = 86^{\circ}47,5' + 15'' = 86^{\circ}47'15''.$$

$$\nu = 90^{\circ} - Z = 90^{\circ} - 86^{\circ}47'45'' = 3^{\circ}12'15''.$$

Таким образом, значение вертикального угла можно получить и не вычисляя место нуля. Однако $M0$ является надёжным средством контроля измерений и вычисления вертикальных углов. Если на станции одним теодолитом измеряют и вычисляют несколько вертикальных углов, то $M0$ должно оставаться постоянным в установленных пределах.

Особенности измерения вертикальных углов электронным теодолитом ГЕОВОХ ТЕ-20.

В электронных теодолитах отсчёты по вертикальному и горизонтальному кругам производятся автоматически.

Для измерения вертикальных углов у теодолита ТЕ-20 существует 4 режима измерения: от зенита, от горизонта, в полукруговом счёте и в %. Для установки выбранного режима необходимо следовать процедурам установки режимов, описанным в паспорте прибора.

Для приведения трубы в режим измерений вертикальных углов необходимо повернуть её так, чтобы она пересекла место нуля. Тогда в верхней части дисплея появится значение вертикального угла.⁶

Вертикальный угол рассчитывается по формулам, соответствующим режиму измерения вертикального угла.

Точность измерения углов теодолитом ТЕ-20 составляет 20". Предельный угол компенсации при автоматической компенсации по вертикальной оси. – 3'. При больших углах наклона прибор выходит из режима угловых измерений и необходима корректировка цилиндрического уровня при горизонтальном круге.

Литература

1. Попов В.Н., Чекалин С.И. Геодезия: Учеб. для вузов. – М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2007. – 722 с.
2. Основы геодезии и топографии: учебное пособие / В.М. Передерин, Н.В. Чухарева, Н.А. Антропова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 123 с.
3. Геодезия: учебное пособие для вузов / Поклад Г.Г., Гриднев С.П. - М. : Академический проспект, 2007. - 592 с.

⁶ При повороте трубы датчик проходит нулевое значение и измерение угла начинается