

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**“Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина”**

Центр классического образования

Физический факультет

Лабораторный практикум по высшей геодезии

Методические указания для студентов 3 курса

Екатеринбург, 2011

Автор доцент Т.И. Левитская

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Словарь терминов | 5 |
| Лабораторная работа № 1 «Исследование оптических теодолитов» | |
| Введение | 7 |
| 1 Особенности эксплуатации высокоточных оптических теодолитов | 7 |
| 2 Поверки и исследования высокоточных теодолитов | 9 |
| 2.1 Определение неперпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей теодолита | 11 |
| 3 Определение рена оптического микрометра | 12 |
| 4 Исследование эксцентриситета алидады и лимба | 15 |
| 4.1 Методика проведения исследования алидады | 15 |
| 4.2 Методика проведения исследования эксцентриситета лимба | 17 |
| 4.3 Определение совместного влияния эксцентриситета лимба и алидады горизонтального круга графическим способом | 20 |
| Список литературы | 21 |
| Вопросы | 21 |
| Лабораторная работа № 2 «Способы высокоточных угловых измерений» | |
| Введение | 23 |
| 1 Основные принципы высокоточных угловых измерений | 24 |
| 2 Способ круговых приемов | 26 |
| 3 Способ измерения углов во всех комбинациях | 30 |
| 4 Видоизмененный способ измерения углов во всех комбинациях | 36 |
| 5 Способ неполных приемов | 37 |
| 6 Краткие сведения о других способах угловых измерений | 39 |
| Список литературы | 41 |
| Вопросы | 41 |
| Лабораторная работа № 3 «Электронный тахеометр Nikon NIVO 2M» | |
| 1 Внешний вид тахеометра Nikon Nivo 2M | 43 |
| 2 Технические характеристики | 45 |
| 3 Подготовка к работе | 48 |
| 3.1 Установка штатив | 48 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.2 | Центрирование с помощью оптического отвеса | 48 |
| 3.3 | Горизонтирование тахеометра (нивелировка) | 49 |
| 3.4 | Наведение на цель | 51 |
| 3.5 | Установка режима измерения и подготовка цели | 51 |
| 4 | Работа с прибором | 51 |
| 4.1 | Включение и выключение инструмента | 52 |
| 4.2 | Экран и функции клавиш | 53 |
| 5 | Поверки и юстировка | 57 |
| 5.1 | Юстировка электронного уровня | 57 |
| 5.2 | Поверка и юстировка круглого уровня | 57 |
| 5.3 | Поверка и юстировка оптического центра | 57 |
| 5.4 | Ошибка места нуля вертикального круга и коллимационная ошибка | 58 |
| | Список литературы | 60 |
| | Вопросы | 60 |

Словарь терминов

Исследование теодолита – определение неустранимых отклонений с целью введения соответствующих поправок в результаты измерений.

Оптический микрометр в угломерных инструментах – приспособление для измерения долей делений лимба путем перемещения изображений его штрихов. Это перемещение осуществляется оптической системой, имеющей подвижные оптические детали, связанные с измерительной шкалой микрометра. Подвижными оптическими деталями в оптическом микрометре теодолитов служат обычно плоскопараллельные пластинки или оптические клинья с малыми преломляющими углами.

Объектив зрительной трубы – многолинзовая оптическая система, дающая действительное обратное и уменьшенное изображение, которое рассматривается в окуляр.

Окуляр – многолинзовая положительная оптическая система, которая выполняет функцию лупы при рассматривании изображения, даваемого объективом.

Параллакс нитей – несовпадение изображения предмета с плоскостью сетки нитей зрительной трубы.

Поверки и юстировки теодолита – выявление отклонений от геометрических параметров и оптико-механических требований, положенных в основу конструкции теодолита, и наиболее полное их устранение.

Пункт геодезический – пункт геодезической сети, отмеченный на местности заложением в землю центром и возведенным над ним знаком.

Теодолит – геодезический инструмент для измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний.

Триангуляция – метод определения положения геодезических пунктов путем построения на местности систем, смежно расположенных треугольников, в которых измеряют все углы и длину, хотя бы одной стороны.

Угломерный круг – основная часть теодолита, изготовляющаяся из стекла (в оптических теодолитах) и имеющая равномерную измерительную шкалу в виде радиальных одинарных или двойных штрихов.

Уровни – приспособления, предназначенные для установки вертикальных (горизонтальных) осей теодолитов (приборов) относительно отвесной линии.

Коллимационная погрешность – погрешность от неперпендикулярности визирной оси зрительной трубы к оси вращения трубы.

Лимб оптического теодолита – стеклянный диск, на поверхности которого по окружности определенного радиуса нанесена шкала делений обычно от 0 до 360

через заданный интервал между смежными штрихами (5, 10, 20 и т.д.).

Эксцентриситет алидады горизонтального круга – несовпадение точки пересечения оси вращения алидады с плоскостью круга и центра кольца делений круга.

Эксцентриситет горизонтального круга (лимба) – несовпадение оси вращения круга с центром кольца делений лимба.

Рен оптического микрометра – разность между номинальной и измеренной с помощью микрометра величиной полуделения лимба.

Сетка нитей – плоскопараллельная пластинка с нанесенным на ней перекрестием и другими штрихами.

Электронный тахеометр – прибор, который объединяет в себе электронный теодолит, светодальномер, микроЭВМ с пакетом прикладных программ и регистратор информации (модуль памяти).

Лабораторная работа № 1 «Исследование оптических теодолитов»

Введение

Угловые измерения являются самым массовым видом геодезических измерений. Точность этих измерений определяется требуемой точностью построения государственной плановой геодезической сети и регламентируется действующими инструкциями. При создании государственной геодезической сети триангуляции в полигонометрии на всех пунктах измеряют горизонтальные углы и зенитные расстояния. На пунктах Лапласа, расположенных на концах базисных сторон, выполняют астрономические определения широт, долгот и азимутов, для чего измеряют зенитные расстояния наблюдаемых звезд и горизонтальные углы между звездами и земными предметами, азимуты которых надлежит определять. В сетях трилатерации также приходится выполнять измерения горизонтальных и вертикальных углов для привязки ориентированных направлений и определения высот пунктов методом тригонометрического нивелирования. Это далеко не полный перечень основных видов геодезических работ, где необходимо выполнять угловые измерения. Для производства таких измерений используют угломерные приборы (теодолиты, электронные тахеометры) разного вида и разной точности.

Теодолиты можно разделить на разные виды в зависимости от их назначения, точности измерений и конструкции.

По назначению угломерные приборы подразделяются на теодолиты и астрономические теодолиты. Теодолиты используют для измерения горизонтальных и вертикальных углов (зенитных расстояний); астрономические теодолиты – для определения широт, долгот и азимутов на пунктах Лапласа.

По точности теодолиты подразделяются на высокоточные, точные и технические. К высокоточным теодолитам относятся инструменты, обеспечивающие измерения горизонтальных углов со средней квадратической ошибкой ($m < 1''$), к точным – с ошибкой ($1 < m < 10''$), к техническим – с ошибкой ($m > 10''$).

По конструкции теодолиты можно разделить на две группы в зависимости от вида отсчетного устройства: теодолиты с оптическим отсчетным устройством и электронные теодолиты.

1 Особенности эксплуатации высокоточных оптических теодолитов

Теодолиты являются оптическими приборами. Их угломерные круги изготовляются из оптического стекла. Окуляр отсчетного микроскопа расположен рядом с окуляром зрительной трубы. Отсчет по угломерным кругам следует

производить с точностью не ниже 0,1 наименьшего интервала. Для того чтобы обеспечить высокую точность результатов измерений, необходимо хорошо знать устройство оптических теодолитов, их особенности, уметь методически правильно пользоваться ими.

Астрономо-геодезисты должны в совершенстве освоить методы исследований теодолитов, уметь юстировать прибор на пунктах государственной сети, определять и учитывать влияние приборных погрешностей на результаты измерений. Необходимо также иметь в виду, что теодолит является чувствительной оптической измерительной системой, подверженной всякого рода деформациям. Причины деформации – внутренние напряжения в металле, оптических деталях, а также – изменения температуры. Деформации снижают точность результатов угловых измерений. Покажем на следующем примере влияние деформаций отдельных узлов теодолита на качество измерения углов. При работе на пункте государственной геодезической сети по недосмотру наблюдателя один из подъемных винтов в течение некоторого времени нагревался лучами Солнца. Следствием этого может быть линейное смещение подъемных винтов на величину Δl , равную, например, длине световой волны 0,5 мкм (рис. 1).

Принимая расстояние между подъемным винтом и осью вращения теодолита $r = 14$ см, можно оценить величину угла поворота теодолита вместе с лимбом на угол

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta l}{r} \rho'' = \frac{0.5 \cdot 2 \cdot 10^5}{14 \cdot 10^2} = 0.7''$$

На такую же величину окажется ошибочным и измеренное направление, а это недопустимо при высокоточных измерениях, которые характеризуются ошибкой порядка 0.5".

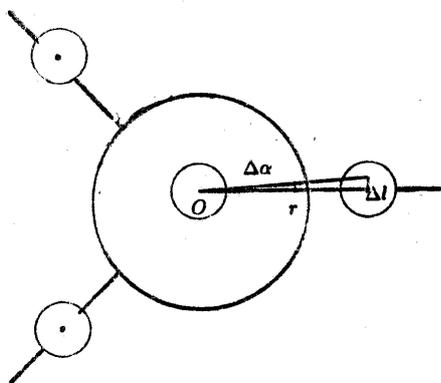


Рисунок 1 – Влияние деформации подъемных винтов на азимутальном смещении подставки теодолита

При угловых измерениях и триангуляции 1-го и 2-го классов, когда расстояния

между пунктами сети 10 - 30 км, влияние приборных ошибок теодолита m_{np} и ошибок, возникающих под воздействием внешней среды m_{bH} (рефракции, кручения сигналов, фазы сигналов и др.), на результаты угловых измерений примерно одинаково. Как известно, средняя квадратическая ошибка измерения угла в триангуляции 1-го класса $m_{\beta} < 0.7''$. Величина этой ошибки складывается из приборной ошибки теодолита и ошибок от воздействия внешней среды: $m_{\beta}^2 = m_{np}^2 + m_{bH}^2$. При $m_{np} = m_{bH}$ будем иметь

$$m_{np} \leq \frac{0.7''}{\sqrt{2}} \leq 0.5''$$

Таким образом, приборная ошибка m_{np} является результатом совокупного влияния комплекса приборных ошибок теодолита. Влияние каждого частного источника приборных ошибок в среднем не должно превышать величины 0.2 - 0.3''. Это говорит о том, какие высокие требования необходимо предъявлять к изготовлению, сборке и юстировке основных узлов оптического теодолита.

2 Поверки и исследования высокоточных теодолитов

Перед началом полевых работ с теодолитом необходимо выполнять поверку (проверку) правильности работы его отдельных узлов. Некоторые из этих проверок являются обязательными, их выполняют после транспортировки теодолита. Поверки других видов выполняют при получении теодолита со склада, когда необходимо выяснить его состояние.

В данном методическом пособии поверка и отдельные исследования будут приведены применительно к оптическим теодолитам 2Т2, 2Т2П, 3Т2КП. Эти теодолиты предназначены для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 2-го и 3-го классов, для астрономических наблюдений, измерения расстояний с помощью нитяного дальномера и для определения магнитных азимутов.

Поверки и юстировки позволяют выявить отклонения от геометрических условий и оптико-механических требований, положенных в основу конструкции теодолита, и по возможности более полно их устранить. Исследования оптических теодолитов предусматривают: определение неустраняемых отклонений с целью введения соответствующих поправок в результаты измерений; определение постоянных инструмента (цены деления уровней, цены деления оптического микрометра и т.д.); испытание правильности работы отдельных узлов теодолита и т.д. По результатам проверок и исследований определяют пригодность теодолита для выполнения геодезических работ данного класса точности. К числу обязательных проверок, позволяющих оценить техническое состояние теодолита, своевременно

выявить и устранить неисправности, относятся следующие:

1. Ось наклонного уровня должна находиться в одной плоскости с горизонтальной осью вращения трубы и должна быть параллельна ей.
2. Ось уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита.
3. Горизонтальная ось вращения трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита.
4. Наклоны трубы теодолита в вертикальной плоскости не должны вызывать азимутальных смещений оси трубы в лагерах.
5. Отсчетное устройство теодолита должно быть выверено и отъюстировано.
6. Нити биссектора окулярного микрометра трубы должны быть установлены вертикально.
7. Коллимационная ошибка зрительной трубы должна быть не более 10".

Коллимационная погрешность C вычисляется по формуле

$$C = 0,5(L - П \pm 180^0),$$

где $L, П$ – отсчеты на удаленную визирную цель (50 м) по горизонтальному лимбу при положении теодолита "круг слева" и "круг справа".

Коллимационную погрешность устраняют вращением клинового кольца специальным ключом. Остаточную величину коллимационной погрешности (1-2') устраняют смещением сетки нитей с помощью горизонтально расположенных юстировочных винтов, закрытых колпачком, в окулярной части трубы.

8. Место зенита (MZ) вертикального круга должно быть не более 10", MZ для теодолита 2Т2 или 2Т2П, 3Т2КП вычисляют по формуле

$$MZ = 0,5*(L + П - 360^0),$$

где $L, П$ – отсчеты по вертикальному кругу при двух положениях теодолита ("вертикальный круг слева" и "вертикальный круг справа").

Перед каждым снятием показания с вертикального круга необходимо совмещать концы пузырька уровня при алидаде вертикального круга. Определение MZ повторить желательно 3 - 4 раза и вычислить среднее арифметическое. Если среднее арифметическое значение более 10", то необходимо выполнить исправление MZ и повторить проверку его значения.

Привести место зенита к нулю можно следующим образом: установить теодолит по уровню и закрепить зрительную трубу; установить по шкале микрометра отсчет 5'00", а наводящим винтом зрительной трубы точно совместить штрихи лимба вертикального угла. Вращением рукоятки микрометра изменить отсчет по шкале на величину MZ : уменьшить

при MZ положительном и увеличить при отрицательном. Юстировочным винтом совместить штрихи лимба, повторить проверку MZ .

Задание

Произвести поверки и необходимые юстировки теодолита 3Т2КП или теодолита 2Т2, 2Т2П. Результаты поверок занести в тетрадь для лабораторных работ и сделать вывод о пригодности инструмента для выполнения угловых измерений

2.1 Определение неперпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей теодолита

Неперпендикулярность горизонтальной и вертикальной осей оптического теодолита определяют из обработки измерений горизонтальных направлений на три визирные цели, находящиеся в створе (допустимые отклонения не более $1-2^\circ$), с углами наклона, $v_1 = 20^\circ$, $v_0 = 0^\circ$, и $v_2 = -20^\circ$.

Программа данного исследования состоит из шести приемов. В каждом приеме при одном положении вертикального круга (например, К или Л) наводят зрительную трубу последовательно на цели: верхнюю, в горизонте и нижнюю, снимая отсчеты по горизонтальному кругу. Затем трубу переводят через зенит и выполняют измерения при другом положении вертикального круга (КП) в обратной последовательности. Для каждой цели в каждом i -м приеме вычисляют

$$c_i = (KL - КП \pm 180^\circ)/2$$

и находят средние значения из шести приемов, c_1 , c и c_2 соответственно. С точностью до минуты измеряют углы наклона v_1 , v_0 , и v_2 на каждую визирную цель.

Угол i перпендикулярности осей теодолита вычисляют по формуле

$$i = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1 - c \sec v_1}{\operatorname{tg} v_1} - \frac{c_2 - c \sec v_2}{\operatorname{tg} v_2} \right)$$

Величина этого угла у высокоточных оптических теодолитов должна быть не более $5''$. Среднюю квадратическую ошибку определения угла i находят по формуле

$$m_i = m_c \cdot \sec v_1 \sqrt{1 + \sin^2 v_1},$$

где ошибка m_c равна

$$m_c = \sqrt{\frac{\sum v'^2}{3n(n-1)}},$$

в которой v' – отклонения значений c_i в приемах от соответствующих средних из n приемов значений $c = (KL - КП \pm 180^\circ)/2$, полученных для каждой из трех целей в отдельности.

Ошибка m_c допускается не более 0.5".

3 Определение рена оптического микрометра

Реном оптического микрометра называют разность между номинальной и измеренной с помощью микрометра величиной полуделения лимба. Другими словами, перемещение штрихов лимба на один интервал должно соответствовать перемещению шкалы микрометра на 10'.

Рен определяют отдельно для отсчетной системы горизонтального и вертикального кругов. Кроме того, рен для нижнего и верхнего изображений штрихов круга в поле зрения отсчетного устройства может быть разным, поскольку пучки линий, идущие от диаметрально противоположных краев лимба, проходят до оптического микрометра разные по длине оптические пути.

Рен оптического микрометра для горизонтального и вертикального кругов определяют на их различных участках. При исследовании рена отсчетной системы теодолитов 2Т2, 2Т2П, 3Т2КП горизонтальный круг переставляют через 60°, для вертикального круга рен определяют на участках 88, 90, 92, 268, 270, 272°.

Порядок измерений следующий.

Вращением рукоятки микрометра установить на шкале отсчет 0'00". Затем с помощью наводящего винта алидады (при определении рена горизонтального круга) или наводящим винтом зрительной трубы (при проверке рена вертикального круга) совместить по возможности более точно диаметрально противоположные штрихи A и $A + 180^\circ$ верхнего и нижнего изображений шкалы делений лимба (рис 2, 1-е положение), расположенные в центре окна под цифрой 0 шкалы десятков минут, и взять отсчет a (при совмещении штрихов A и $A + 180^\circ$) по шкале микрометра. Вращением рукоятки микрометра переместить ранее совмещенный штрих нижнего изображения к цифре 1 шкалы десятков минут, совместить его с ближайшим штрихом верхнего изображения (2-е положение) и взять отсчет b (при совмещении штрихов $A - i$ и $A + 180^\circ$). Затем рукояткой микрометра точно совместить пару штрихов, расположенную вправо от 0 цифровой шкалы, и взять отсчет c (при совмещении штрихов A и $A + 180^\circ - i$, где i – наименьшая цена деления лимба). Совмещение каждой пары штрихов повторять по два раза подряд, средние арифметические значения взять из соответствующих отсчетов. Следует отметить, что отсчеты a берут в начале, а отсчеты b и c – в конце шкалы микрометра, причем отсчет b при совмещении штрихов, расположенных справа от индекса, а отсчет c – слева от него. Рен вычисляют по формулам

$$r_B = (a - b) + 10'$$

$$r_H = (a - c) + 10'$$

$$r = 0.5 * (r_{Bcp} + r_{Hcp}).$$

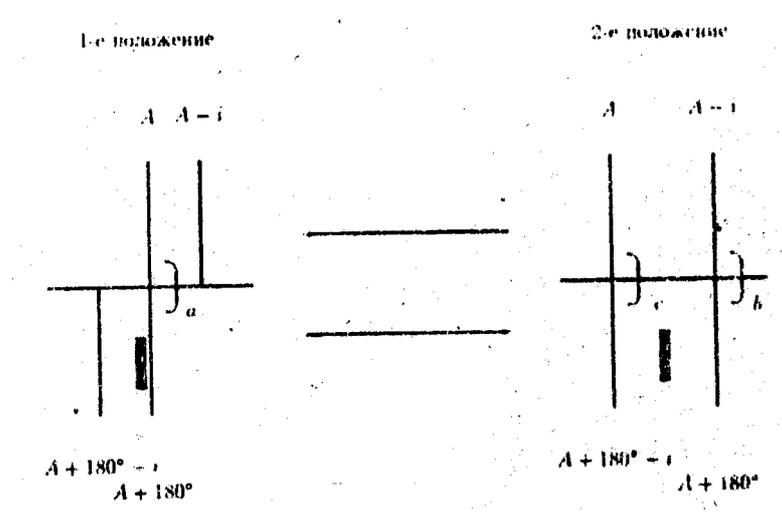


Рисунок 2 - Схема совмещений изображений штрихов лимба при определении рена оптического микрометра

Разность между средними значениями r_B и r_H не должна превышать 2", а среднее арифметическое значение r - 1,5" для горизонтального и 2" - для вертикального круга. Если значение рена больше указанного, но не превышает 10", можно не производить исправление рена. В этом случае влияние рена устраняют введением поправок в каждый отсчет по микрометру (при измерении горизонтальных направлений и зенитных расстояний). При измерении горизонтальных углов влияние рена исключается также изменением отсчета по шкале микрометра между приемами. Поправку δ_r вычисляют по формуле

$$\delta_r = 0.1 * r * u,$$

где u – отсчет по микрометру с точностью до 1".

Пример. Измеренное значение рена горизонтального круга $r = 4.6''$.

Таблица 1 - Поправки к отсчетам по шкале микрометра

| | | | | | | | | | | | |
|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| u | 0' | 1' | 2' | 3' | 4' | 5' | 6' | 7' | 8' | 9' | 10' |
| | 0" | 0.5" | 0.9" | 1.4" | 1.8" | 2.3" | 2.8" | 3.2" | 3.7" | 4.1 | 4.6 |

В табл. 2 приведен образец записи исследований рена оптического микрометра.

Таблица 2 Определение рена оптического микрометра

Оптический теодолит 2Т2П № 2967

14 марта 2010 г.

| Отсчет по индексу | Прямой ход | | | | | Отсчет по индексу | Обратный ход | | | | | |
|---------------------|------------|------|--------------------|-------|-------|-------------------|--------------|------|------|--------------------|-------|--|
| | a | b | c | a - b | a - c | | a | b | c | a - b | a - c | |
| Горизонтальный круг | | | | | | | | | | | | |
| 0°0' | -1.0 | 0.0 | 1.0 | -1.0 | 0.0 | 0°0' | -1.0 | -2.0 | -2.0 | | | |
| | 0.5 | -1.0 | 1.0 | 1.5 | -0.5 | | -2.0 | -1.0 | 0.0 | | | |
| | -0.2 | -0.5 | 1.0 | 0.3 | -1.3 | | -1.5 | -1.5 | -2.0 | 0.0 | 0.5 | |
| | 2.0 | 0.5 | 0.0 | | | | 0.0 | -2.0 | -1.0 | | | |
| 60°0' | 2.0 | 1.0 | -0.5 | | | 60°0' | -1.0 | -1.0 | 0.0 | | | |
| | 2.0 | -0.8 | -0.2 | 1.3 | 2.3 | | -0.5 | -1.5 | -0.5 | 1.0 | 0.0 | |
| | 1.0 | 1.5 | -0.5 | | | | 2.0 | -1.0 | -2.0 | | | |
| 120°0' | 0.0 | 1.0 | -1.0 | | | 120°0' | 1.0 | -1.0 | -1.0 | | | |
| | 0.5 | 1.2 | -0.7 | -0.6 | 1.2 | | 1.0 | -1.0 | -1.5 | 2.5 | 3.0 | |
| | -1.0 | -0.5 | 0.0 | | | | -1.0 | 1.0 | -2.0 | | | |
| 180°0' | 1.0 | -1.0 | -1.0 | | | 180°0' | -0.5 | -1.0 | -2.0 | | | |
| | 0.0 | -0.7 | -0.5 | -0.6 | -0.5 | | -0.7 | 0.0 | -2.0 | -0.8 | 1.3 | |
| | 2.0 | 0.0 | -1.0 | | | | 2.0 | -0.5 | 1.5 | | | |
| 240°0' | 1.0 | 0.0 | 1.0 | | | 240°0' | 0.5 | 0.0 | 1.0 | | | |
| | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | | 1.2 | -0.2 | 1.2 | 1.5 | 0.0 | |
| | 2.5 | 0.0 | -1.0 | | | | 1.0 | 0.0 | 0.0 | | | |
| 300°0' | 0.0 | 0.0 | -1.0 | | | 240°0' | -0.5 | -1.0 | 1.0 | | | |
| | 1.0 | 0.0 | -1.0 | 1.0 | 0.0 | | 0.7 | -0.5 | 0.5 | 1.3 | 0.2 | |
| | -1.0 | -1.0 | -2.0 | | | | 1.0 | -2.0 | 0.0 | | | |
| 360°0' | -1.0 | 0.0 | -2.0 | | | 360°0' | 0.0 | 0.0 | -1.0 | | | |
| | -1.0 | -0.5 | -2.0 | -0.5 | -3.0 | | 0.5 | -1.0 | -0.5 | -0.5 | 1.0 | |
| | Среднее | | | 0.3 | -0.1 | | Среднее | | | 0.7 | 0.9 | |
| Вертикальный круг | | | | | | | | | | | | |
| 88°0' | -1.0 | 0.5 | 2.0 | | | 268°0' | 0.0 | -1.0 | 1.0 | | | |
| | -1.0 | -1.0 | 1.0 | | | | 0.0 | -2.0 | -2.0 | | | |
| | -1.0 | -0.2 | 1.5 | -0.7 | -2.5 | | 0.0 | -1.5 | -0.5 | 1.5 | 0.5 | |
| 90°0' | 1.0 | 0.0 | -2.0 | | | 270°0' | 1.0 | -1.5 | -1.0 | | | |
| | -2.0 | 0.0 | -1.0 | | | | -1.0 | -1.0 | -1.0 | | | |
| | -0.5 | 0.0 | -1.5 | -0.5 | 1.0 | | 0.0 | -1.2 | -1.0 | 1.3 | 1.0 | |
| 92°0' | 1.0 | 1.0 | -1.5 | | | 272°0' | -2.0 | 0.0 | 0.0 | | | |
| | -1.0 | -2.0 | -1.0 | | | | -1.0 | -2.0 | 1.0 | | | |
| | 0.0 | -0.5 | -1.2 | 0.5 | 1.3 | | -1.5 | -1.0 | 0.5 | -0.5 | -2.0 | |
| | Среднее | | | -0.3 | -0.1 | | Среднее | | | 0.8 | -0.2 | |
| Горизонтальный круг | | | | | | Вертикальный круг | | | | | | |
| | | | $r = 0.4''$ | | | | | | | $r = 0.1''$ | | |
| | | | $r_H = 0.4''$ | | | | | | | $r_B = 0.3''$ | | |
| | | | $r_B = 0.5''$ | | | | | | | $\Delta r = 0.4''$ | | |
| | | | $\Delta r = 0.1''$ | | | | | | | | | |

Задания

Определить рен оптического микрометра теодолита 3Т2КП (2Т2, 2Т2П) по горизонтальному кругу. Результаты исследования занести в таблицу. Выполнить обработку полученных измерений. Полученное значение рена сравнить с допустимой

величиной и сделать выводы.

Определить рен оптического микрометра по вертикальному кругу. Выполнить обработку результатов измерений с целью получения значения рена, сравнить с допустимой для этого исследования величиной, сделать выводы относительно пригодности теодолита ЗТ2КП для выполнения высокоточных угловых измерений.

4 Исследование эксцентриситета алидады и лимба

В теодолите, в котором выполняются геометрические условия расположения его основных осей и плоскостей, необходимо, чтобы проекция оси O вращения алидады на плоскость лимба, центр O_1 вращения горизонтального круга 1 в центр K кольца делений 2 на лимбе совпадали (рис. 3). При центрировании неизбежны погрешности, но они не должны превышать установленных допусков.

Под эксцентриситетом алидады понимают несовпадение центра O вращения алидады с центром K кольца делений лимба, а под эксцентриситетом лимба – несовпадение центра O_1 вращения лимба с центром K кольца делений на нем. Эксцентриситет алидады характеризуется аналогичными элементами $e = KO$ и углом P , ориентирующим линейный элемент относительно нулевого штриха лимба. Эксцентриситет лимба характеризуется аналогичными элементами $e_1 = KO_1$ и углом P_1 .

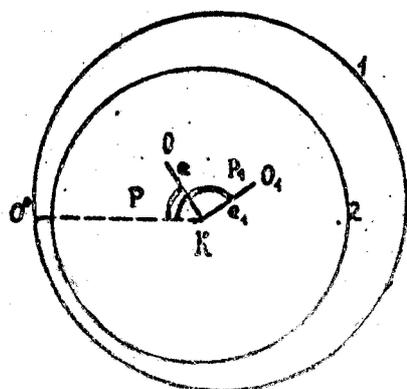


Рисунок 3 – Линейные и угловые элементы эксцентриситета алидады и лимба

4.1 Методика проведения исследований

Перед началом исследований эксцентриситета алидады тщательно выверяют уровень при алидаде горизонтального круга и приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Программа исследования включает в себя выполнение двух следующих один за другим полных оборотов (приемов) алидады по часовой стрелке (прямой ход) и двух полных оборотов ее против часовой стрелки (обратный ход).

В прямом и обратном ходе при неподвижном лимбе алидаду переставляют через 30°

и на каждой установке делают по два отсчета: t – при совмещении изображений диаметрально противоположных штрихов лимба и t' – при совмещении ближайшего штриха с отсчетным индексом j микрометра. При исследовании эксцентриситета алидады теодолитов ЗТ2КП, 2Т2, 2Т2П за индекс принимают штрих вертикального круга. Последовательность операций при снятии отсчетов следующая.

1. Маховичком микрометра устанавливаем отсчет – $5' 00''$.
2. Наводящим винтом алидады горизонтального круга подводим штрих 0° круга к цифре 0 шкалы десятков минут. Затем маховичком микрометра точно совмещаем верхние и нижние штрихи круга. Делаем по два совмещения, снимая отсчеты t_1 и t_2 , и находим среднее t_{cp} .
3. Поворачиваем рукоятку переключения отсчетной системы кругов на 45° по ходу часовой стрелки так, чтобы в поле зрения микроскопа были хорошо видны одновременно в верхней половине штрихи вертикального круга, а в нижней – штрихи горизонтального круга. Наводящим винтом зрительной трубы (а при проверке вертикального круга – наводящим винтом алидады горизонтального круга) точно подводим штрих вертикального (горизонтального) круга к середине штриха, расположенного у цифры 0 шкалы десятков минут. После этого наводящий винт трубы (или наводящий винт алидады горизонтального круга) трогать нельзя, так как совмещенный штрих вертикального (горизонтального) круга будет в дальнейшем являться индексом.
4. Маховичком микрометра точно совмещаем штрих вертикального круга, принятый за индекс, с левым бифилярным штрихом горизонтального круга. Снимаем отсчет при первом совмещении t'_1 , при втором t'_2 , находим среднее t'_{cp} . Вычисляем разности $v = t'_{cp} - t_{cp}$.

Переход на установку 30° и последующие установки алидады ($60, 90, 120, \dots, 330^\circ$) выполняются в следующем порядке:

1. Маховичком микрометра вновь устанавливаем отсчет $5' 00''$.
2. Поворачиваем рукоятку переключателя отсчетной системы кругов в горизонтальное положение и, вращая алидаду, подводим штрих 30° горизонтального круга к цифре 0 шкалы десятков минут. Затем точно совмещаем верхние и нижние штрихи круга, снимаем отсчеты t_1, t_2 , вычисляем t_{cp} .
3. Рукоятку переключателя поворачиваем на 45° и маховичком микрометра совмещаем штрих вертикального круга, принятый за индекс, с левым бифилярным штрихом 30° . Снимаем отсчеты по шкале микрометра t'_1, t'_2 ,

берем среднее t_{cp} .

4.2 Методика проведения исследования эксцентриситета лимба

Аналогично выполняется исследование эксцентриситета лимба. Алидада остается неподвижной, а переставляется лимб через 30° . Измеренные с помощью микрометра величины несовпадений штриха вертикального круга со штрихом горизонтального круга составляют на самом деле одну четвертую часть от величины v . Во-первых, потому, что эта разность определяется не по двум отсчетным устройствам, а как бы по одному; во-вторых, во время совмещения штриха горизонтального круга с индексом-штрихом вертикального круга они совмещаются навстречу друг другу на равную величину. Таким образом, умножая полученные разности v на 4, получаем величину v_a и v_k (при исследовании эксцентриситета алидады и лимба).

В табл. 3 приводятся образцы записей результатов исследований.

Измерял и записывал Копырин П.В.

Таблица 3 - Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга
29 марта 2011 г.

| Оптический теодолит ЗТ2КП № 29629 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|---------|---|-------|---------|--------------|-------------------|-----------------------------------|-------|--------|---|-------|--------|--------------|
| Установка алидады | Отсчет при совмещении штрихов t | | | Отсчет при совмещении верхнего штриха с индексом t' | | | $V = t' - t$ | Установка алидады | Отсчет при совмещении штрихов t | | | Отсчет при совмещении верхнего штриха с индексом t' | | | $V = t' - t$ |
| | I | II | ср. | I | II | ср. | | | I | II | ср. | I | II | ср. | |
| | Прямой ход | | | | | | | | | | | | | | |
| 0° | 4'59" | 5'00" | 4'59.5" | 5'45" | 5'46" | 5'45.5" | 46.0" | 180° | 5'01" | 4'59" | 5'50" | 5'33" | 5'35" | 5'34" | 34.0" |
| 30 | 5 00 | 5 03 | 5 01.5 | 5 48 | 5 46 | 5 47 | 45.5 | 210 | 5 00 | 5 01 | 5 00.5 | 5 34 | 5 33 | 5 33.5 | 33.0 |
| 60 | 4 59 | 4 59 | 4 59 | 5 45 | 5 43 | 5 44 | 45.0 | 240 | 5 00 | 5 01 | 5 00.5 | 5 32 | 5 31 | 5 31.5 | 31.0 |
| 90 | 4 58 | 4 56 | 4 57 | 5 43 | 5 42 | 5 42.5 | 45.5 | 270 | 5 00 | 5 00 | 5 00 | 5 33 | 5 33 | 5 33 | 33.0 |
| 120 | 4 59 | 4 58 | 4 58.5 | 5 38 | 5 39 | 5 38.5 | 40.0 | 300 | 4 58 | 4 57 | 4 57.5 | 5 35 | 5 38 | 5 36.5 | 39.0 |
| 150 | 5 01 | 5 00 | 5 00.5 | 5 37 | 5 38 | 5 37.5 | 37.0 | 330 | 5 01 | 5 01 | 5 01 | 5 42 | 5 43 | 5 42.5 | 41.5 |
| Обратный ход | | | | | | | | | | | | | | | |
| 330 | 5 01 | 5 02 | 5 01.5 | 5 43 | 5 43 | 5 43 | 41.5 | 150 | 5 03 | 5 04 | 5 03.5 | 5 | 32 | 5 34 | 5 33 |
| 300 | 5 02 | 5 02 | 5 02 | 5 42 | 5 40 | 5 41 | 39.5 | 120 | 4 59 | 5 01 | 5 00 | 5 35 | 5 33 | 5 34 | 34.0 |
| 270 | 5 01 | 5 00 | 5 01.5 | 5 35 | 5 35 | 5 35 | 34.5 | 90 | 5 02 | 5 03 | 5 02.5 | 5 40 | 5 42 | 5 41 | 38.5 |
| 240 | 5 03 | 5 02 | 5 02.5 | 5 33 | 5 34 | 5 33.5 | 31.0 | 60 | 5 02 | 5 02 | 5 02 | 5 44 | 5 44 | 5 44 | 42.0 |
| 210 | 5 00 | 4 59 | 4 59.5 | 5 31 | 5 32 | 5 31.5 | 32.0 | 30 | 5 01 | 5 00 | 5 00.5 | 5 43 | 5 43 | 5 43 | 42.5 |
| 180 | 5 03 | 5 04 | 5 03.5 | 5 33 | 5 31 | 5 32 | 28.5 | 0 | 5 01 | 5 00 | 5 00.5 | 5 39 | 5 41 | 5 40 | 39.5 |

| Исследование эксцентриситета горизонтального круга | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------|---------|---|-------|---------|--------------|-----------------|-----------------------------------|-------|---------|---|-------|--------|--------------|
| Установка лимба | Отсчет при совмещении штрихов t | | | Отсчет при совмещении верхнего штриха с индексом t' | | | $V = t' - t$ | Установка лимба | Отсчет при совмещении штрихов t | | | Отсчет при совмещении верхнего штриха с индексом t' | | | $V = t' - t$ |
| | I | II | ср. | I | II | ср. | | | I | II | ср. | I | II | ср. | |
| | Прямой ход | | | | | | | | | | | | | | |
| 0° | 5'00" | 5'01" | 5'00.5" | 5'44" | 5'43" | 5'43.5" | 43.0" | 180° | 5'03" | 5'02" | 5'02.5" | 5'33" | 5'33" | 5'33" | 30.5" |
| 30 | 5 01 | 5 02 | 5 01.5 | 5 46 | 5 46 | 5 46 | 45.5 | 210 | 4 57 | 4 58 | 4 57.5 | 5 30 | 5 29 | 5 29.5 | 32.0 |
| 60 | 5 00 | 4 59 | 4 59.5 | 5 44 | 5 43 | 5 43.5 | 44.0 | 240 | 4 59 | 4 57 | 4 58 | 5 30 | 5 30 | 5 30 | 32.0 |
| 90 | 4 59 | 4 59 | 4 59 | 5 40 | 5 40 | 5 40 | 41.0 | 270 | 4 58 | 4 58 | 4 58 | 5 33 | 5 32 | 5 32.5 | 34.5 |
| 120 | 4 58 | 5 00 | 4 59 | 5 41 | 5 37 | 5 39 | 40.0 | 300 | 5 00 | 4 59 | 4 59.5 | 5 35 | 5 34 | 5 34.5 | 35.0 |
| 150 | 5 00 | 4 58 | 4 59 | 5 35 | 5 35 | 5 35 | 36.0 | 330 | 5 03 | 5 02 | 5 02.5 | 5 39 | 5 40 | 5 39.5 | 37.0 |
| Обратный ход | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|--------|------|------|--------|------|-----|------|------|--------|------|------|--------|-------|
| 330 | 5'01 | 4'59 | 5'00 | 5'40 | 5'40 | 5'40 | 40'0 | 150 | 5'01 | 5'00 | 5'00.5 | 5'37 | 5'36 | 5'36.5 | 36.0" |
| 300 | 5'01 | 5'01 | 5'01 | 5'35 | 5'34 | 5'34.5 | 33.5 | 120 | 4'58 | 4'55 | 4'56.5 | 5'35 | 5'37 | 5'36 | 39.5 |
| 270 | 5'00 | 4'59 | 4'59.5 | 5'30 | 5'32 | 5'31 | 31.5 | 90 | 5'02 | 5'01 | 5'01.5 | 5'44 | 5'41 | 5'42.5 | 41.0 |
| 240 | 4'59 | 4'59 | 4'59 | 5'33 | 5'31 | 5'32 | 33.0 | 60 | 5'00 | 5'00 | 5'00 | 5'44 | 5'42 | 5'43 | 43.0 |
| 210 | 5'03 | 5'01 | 5'02 | 5'33 | 5'31 | 5'32 | 30.0 | 30 | 4'57 | 4'59 | 4'58 | 5'45 | 5'44 | 5'44.5 | 46.5 |
| 180 | 4'58 | 4'58 | 4'58 | 5'31 | 5'31 | 5'31 | 33.0 | 0 | 5'00 | 5'02 | 5'01 | 5'43 | 5'41 | 5'42 | 41.0 |

На рис. 4 и 5 представлены графики эксцентриситета алидады и горизонтального круга. По оси абсцисс отложены установки алидады или лимба через 30° , а по оси ординат – соответствующие им значения разностей v_a , v_k . Совместное влияние эксцентриситета алидады и круга можно определить графическим построением с использованием разностей v_a , v_k . Графический метод позволяет быстрее, чем аналитический, определить все элементы эксцентриситета, не прибегая к вычислениям.

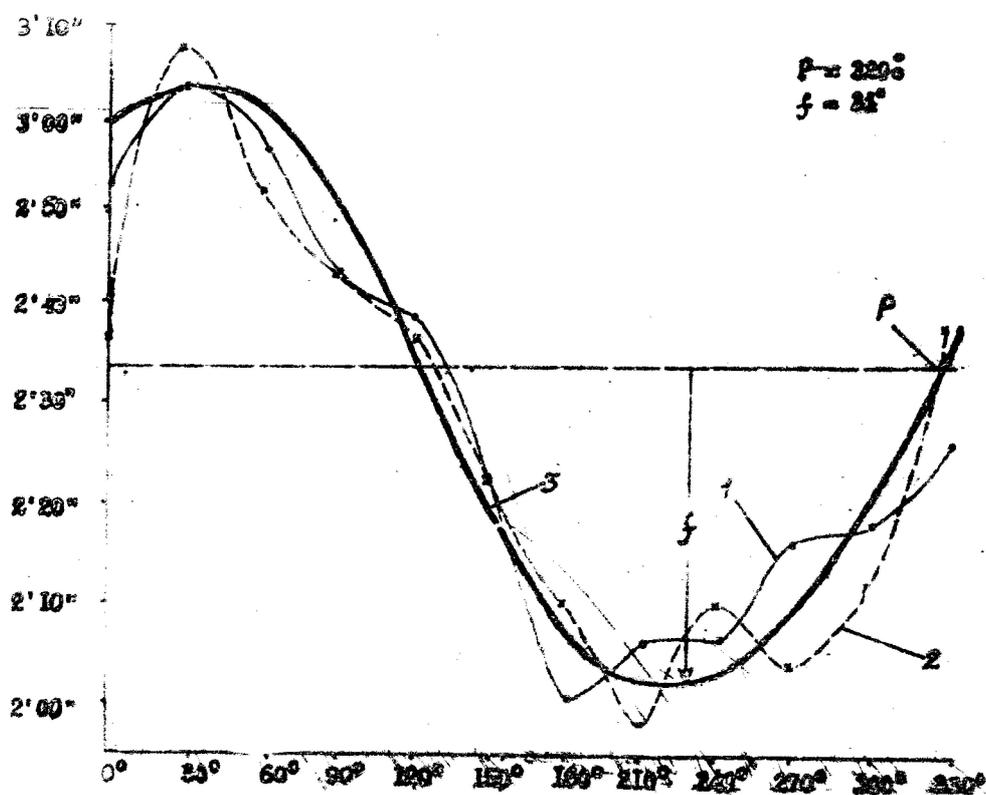


Рисунок 4 – Схема определения эксцентриситета алидады . 1 – прямой ход, 2 – обратный ход, 3 – синусоида

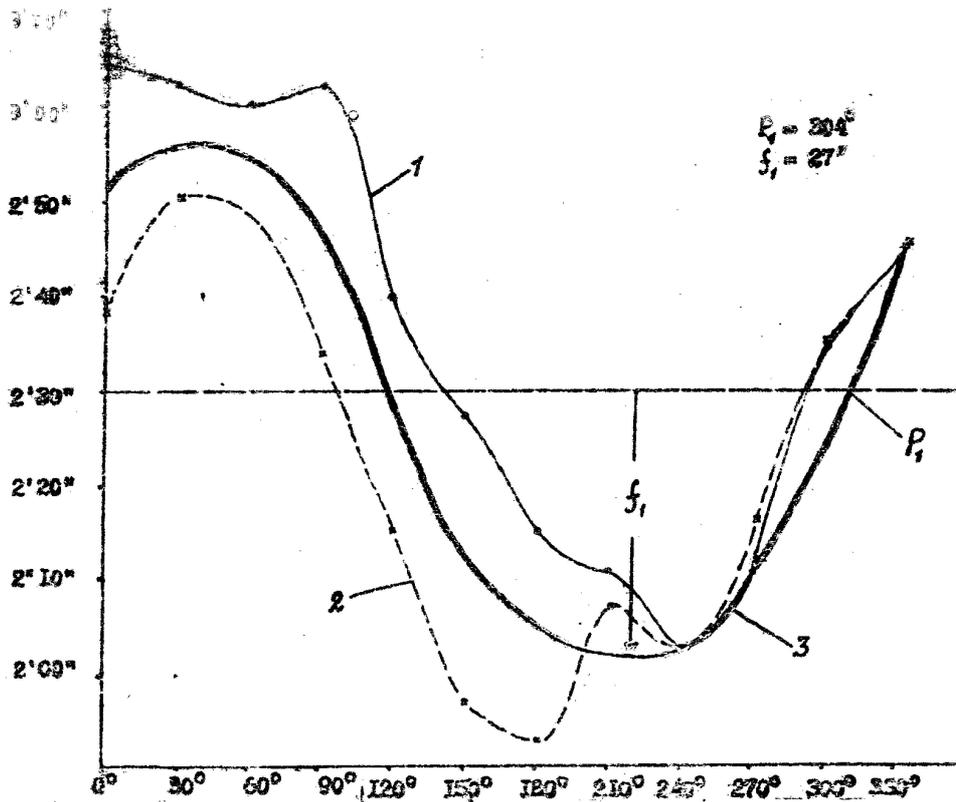


Рисунок 5 – Схема определения элементов эксцентриситета лимба: 1 – прямой ход, 2 – обратный ход, 3 – синусоида

На рис. 4 и 5 точки прямого и обратного хода соединены прямыми линиями, по ним проведена осредняющая синусоида. Синусоида характеризует собой двойной эксцентриситет алидады или круга, она может быть смещена относительно оси абсцисс вверх или вниз. Это происходит оттого, что вычисленные разности v_a, v_k включают в себя некоторую постоянную часть – двойную коллимационную погрешность $2c$. Ось симметрии синусоиды, параллельная оси абсцисс, на оси ординат дает отрезок, соответствующий величине двойной коллимационной погрешности $2c$.

С графиков снимаем следующие величины: f – ордината сглаживающей синусоиды от оси симметрии и направление эксцентриситета алидады относительно нуля круга P , которое определяется точкой пересечения синусоиды с осью симметрии в месте перегиба при ее восхождении; f_1 – линейный эксцентриситет круга или ордината сглаживающей синусоиды от оси симметрии. Этот отрезок характеризует значение двойного эксцентриситета круга. Точка P_1 пересечения линии перегиба синусоиды при ее восхождении с осредняющей прямой определяет направление эксцентриситета относительно нуля круга.

4.3 Определение совместного влияния эксцентриситета лимба и алидады горизонтального круга графическим способом

По найденным значениям элементов эксцентриситетов алидады и круга строят треугольник эксцентриситетов.

На рис. 6 приведено определение максимального значения эксцентриситета алидады, которое складывается из эксцентриситета круга и эксцентриситета осевой системы – несовпадения осей алидады и круга:

$$F = f_1 + f_2$$

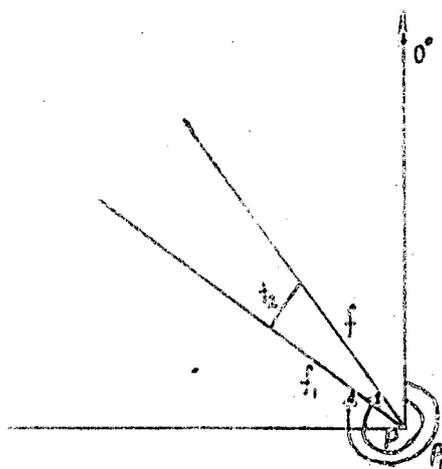


Рисунок 6 - Определение максимального значения эксцентриситета алидады

Допустимое значение углового эксцентриситета алидады для высокоточных оптических теодолитов не должно превышать $F < 40''$ (для Т2, 2Т2, 3Т2КП).

Завод-изготовитель гарантирует для вышеприведенных типов теодолитов значение эксцентриситетов, не превышающее $30''$.

Суммарная величина углового эксцентриситета алидады f и эксцентриситет горизонтального круга f_1 должны быть не более $20''$, т.е. $f + f_1 < 20''$.

Задание

Определить для теодолита 3Т2КП элементы эксцентриситета горизонтального круга и его алидады. По результатам исследования построить графики прямого и обратного ходов, показать положение синусоиды, наилучшим образом аппроксимирующей эти графики.

С графика синусоиды снять элементы эксцентриситета лимба и алидады.

Графическим способом определить совместное влияние эксцентриситета лимба и алидады. Сделать оценку полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия. М.: Академический проект. 2008. С. 275 – 283., С.455 – 460.
- 2 Яковлев Н.В. Высшая геодезия. М.,1989. С. 115-170.
- 3 Кузнецов П.Н., Васютинский И.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. М., 1984. С. 209-250.
- 4 Земских Г.В., Кортев Н.В. Маркшейдерско-геодезические приборы. Издание УГГГА. Екатеринбург, 2004. С. 30 - 51.
- 5 Захаров А.И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., 1978. С. 51-74.
- 6 Теодолит 2Т2, 2Т2П. Паспорт 2Т26, 2Т2П.
- 7 Теодолит 3Т2КП. Паспорт 3Т2КП.
- 8 Исследование высокоточных оптических теодолитов. Методические указания для студентов 3 курса. Екатеринбург. 1994.

ВОПРОСЫ

1. С какой целью выполняются поверки и юстировки оптических теодолитов?
2. Что такое поверка теодолита?
3. Что предусматривает проведение исследований теодолита?
4. Как проверить выполнение следующего условия: ось уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита?
5. Из-за невыполнения какого геометрического условия расположения основных осей в теодолите возникает коллимационная ошибка?
6. Чему равно допустимое значение коллимационной ошибки для теодолитов 3Т2КП, 2Т2, 2Т2П?
7. Как устранить коллимационную погрешность? Что такое юстировка теодолита?
8. Каким образом можно определить неперпендикулярность горизонтальной и вертикальной осей теодолита? Допуск на величину неперпендикулярности.
9. Что такое рен оптического микрометра?
10. Как выявить рен оптического микрометра по горизонтальному кругу?
11. Как определить рен оптического микрометра по вертикальному кругу?
12. Чему равны допустимые погрешности рена? Как устранить влияние рена на отсчеты по кругам?
13. Что такое эксцентриситет алидады горизонтального круга?

14. Дать определение эксцентриситета лимба горизонтального круга. К каким видам ошибок относится эта инструментальная погрешность?
15. В чем заключается методика проведения исследования эксцентриситета алидады и лимба?

Лабораторная работа № 2 «Способы высокоточных угловых измерений»

Введение

Угловые измерения проводятся в государственных геодезических сетях 1, 2, 3 и 4-го классов триангуляции и полигонометрии, в комбинированных линейно-угловых сетях, при проведении различных научно-исследовательских работ.

Известны различные способы угловых измерений, однако далеко не все из них используются при высокоточных угловых наблюдениях в государственных геодезических сетях.

Результаты угловых измерений в **ВЫСШИХ** классах триангуляции, полигонометрии, во-первых, должны быть представлены в виде одного ряда равноточных направлений, имеющих на всех пунктах один и тот же вес. Во-вторых, они должны быть получены с возможно большей точностью при минимальных затратах труда и времени на измерения и вычисления. Это связано с задачей существенного уменьшения объема вычислительных работ при уравнивании геодезической сети и получение координат пунктов с наивысшей точностью.

Решение первой задачи связано с разработкой и применением совершенных способов угловых измерений; решение второй задачи сводится к наиболее полному ослаблению всех источников ошибок в процессе измерения.

При проведении высокоточных угловых измерений должно учитываться всестороннее влияние различных факторов на конечные результаты. К факторам, определяющим конкретные условия наблюдений, относятся внешняя среда, принятая методика измерений и квалификация исполнителей работ. Совокупное влияние перечисленных факторов, а также тип прибора, определяют в конечном итоге точность получаемых результатов.

Основными источниками ошибок угловых измерений являются инструментальные, личные и внешняя среда.

Некоторые инструментальные ошибки и меры их ослабления были нами рассмотрены и исследованы на младших курсах.

Личные ошибки наблюдателя определяются психо-физиологическими особенностями наблюдателя. Этот класс ошибок еще недостаточно изучен, но есть основания полагать, что эти ошибки незначительно влияют на точность вычислений углов по разности двух направлений, если считать, что личные ошибки будут примерно постоянными на каждом пункте наблюдения.

Влияние внешней среды значительно ограничивает точность угловых

измерений. Это обменяется тем, что высокоточные угловые измерения проводятся в приземном слое воздуха, параметры которого (температура, давление, насыщенность водяными парами, пылью, дымом) меняются в течение суток под влиянием солнечного нагрева. Это определяет дальность видимости и отчетливость изображения. Поэтому высокоточные угловые измерения могут проводиться только в определенное время суток. Выгоднейшее время измерения горизонтальных углов в триангуляции и других видах геодезических работ характеризуется наилучшими условиями видимости, минимальными колебаниями изображений визирных целей, а также наименьшим влиянием местных полей рефракции. Различают три периода наилучшей видимости наблюдаемых целей; утренний, вечерний и ночной. Утренний период спокойных изображений наступает примерно через полчаса-час после восхода Солнца и продолжается в течение 1-2 часов. Вечерний период (спокойных изображений) начинается с 16-17 часов местного времени и длится в течение 3-4 часов. Спустя полчаса-час после захода Солнца начинается третий благоприятный период наблюдений – ночной, длящийся до восхода Солнца. Периоды наилучшей видимости сильно зависят от состояния погоды и конкретных местных физико-географических условий.

1 Основные принципы высокоточных угловых измерений

При намерении горизонтальных углов возможны две принципиальные схемы: 1. Измерение собственно отдельных углов; 2. Измерение направлений.

Измерение отдельных углов состоит из следующих операций: последовательное наблюдение каждой пары пунктов, образующих вместе с пунктом наблюдения данный угол; отсчитывание по лимбу и вычисление разности, определяющей величину измеряемого угла; уравнивание углов на станции.

При измерении направлений поочередно наводится труба на все визирные цели, наблюдаемые с данного пункта; снимаются отсчеты по закрепленному лимбу и вычисляется ряд углов между избранным начальным направлением и всеми остальными. Этот ряд углов называется веером направлений.

В угловых измерениях за единицу измерения принимают прием, который состоит из совокупности измерительных операций, выполняемых в определённом порядке для получения одного значения измеряемого угла или направления.

Для достижения наиболее высокой точности результатов намерений необходимо соблюдать следующие основные принципы:

1. Каждое направление (угол) должно измеряться на разных диаметрах (штрихах)

лимба, равномерно распределенных по всей окружности.

2. В каждом полуприеме должно быть обеспечено полное единообразие всех измерительных операций по каждому наблюдаемому направлению.
3. В каждом приеме должна быть обеспечена полная симметрия в расположении одних и тех же узлов теодолита относительно каждого наблюдаемого, направления.
4. Направления в каждой приеме должны измеряться симметрично во времени относительно среднего для приема времени наблюдений.
5. Каждый угол или направление должны измеряться симметрично относительно момента изотермии воздуха (как при вечерних, так и при утренних наблюдениях).
6. Вес уравненных на станции направлений должен быть одинаковым на всех пунктах триангуляции данного класса. За единицу веса направления принимается вес, полученный либо из полуприема (из одного наведения трубой на предмет), либо из одного приема. Вес же направления, или угла, полученный как среднее из m приемов, принимают равным m .

Для получения на разных пунктах наблюдения результатов угловых измерений с одинаковым весом числовую величину последнего устанавливают постоянной для всех пунктов сети.

Пусть σ_1 и σ_2 – средние квадратические ошибки соответственно i -го направления в угле, полученные из одного приема наблюдений. Тогда $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$. При равноточных измерениях $\sigma_1 = \sigma_2$, поэтому $\sigma^2 = 2\sigma_i^2$. Обозначив вес измеренного угла через $P_{y2} = 1/\sigma^2$, а вес направления – $P_H = 1/\sigma_i^2$, получим

$$P_{y2} = P_H/2. \quad (1)$$

Если считать вес уравненного на станции направления или угла зависящим от общего числа наведений на наблюдаемые пункты, то при n направлениях и m приемах вес уравненного направления

$$P_H = m * n, \quad (2)$$

а угла

$$P_{y2} = P_H/2 = m * n / 2. \quad (3)$$

Если же среднее значение каждого направления не зависит от наведения на другие направления, то в этом случае вес одного направления будет

$$q = n / m = n \quad (4)$$

т.е. числу приемов.

Пусть в сети триангуляции 2-го класса измерение направлений выполняется при $q = n = 12$. В случае измерения углов и зависимости из уравненных значений от числа

направлений на пункте n равные веса будут получены, если положить $m \cdot n / 2 = 12$ или $m \cdot n = 24 = \text{const}$ для всех пунктов сети.

В настоящее время известно несколько способов высокоточного намерения углов и направлений: при измерении углов – способ измерения углов во всех комбинациях (способ Шрейбера) и видоизмененный способ измерения углов в комбинациях (способ Томилина); при измерении направлений – способ круговых приемов (способ Струве) и способ неполных приемов (способ Аладжалова). В триангуляции I-4-го классов применяют главным образом способ Шрейбера (1-й и 2-й классы) и способ круговых приемов (способ Струве) во 2-ом, 3-м и 4-м классах.

2 Способ круговых приемов

Способ круговых приемов был предложен в 1816 г. академиком В.Я. Струве (1793-1864) – выдающимся русским геодезистом и астрономом, основателем и первым директором Пулковской обсерватории. Суть способа заключается в следующем. Оставляя лимб теодолита неподвижным и вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наводят зрительную трубу поочередно на все направления, начиная и завершая первым. При этом каждый раз фиксируют отсчеты по лимбу a, b, c, d, e, a^* (рис. 1). Указанный комплекс измерений составляет один полуприем.

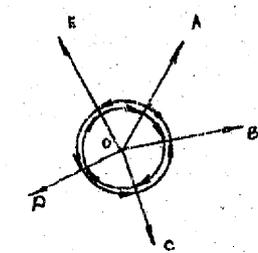


Рисунок 1 – Схема измерения направлений способом круговых приемов

Как мы видим, в конце каждого полуприема трубу теодолита повторно наводят на начальное направление и берут отсчет по лимбу, т.е. "замыкают горизонт". Это выполняют для контроля за неподвижностью подставки и лимба прибора в течение полуприема и для определения величины незамыкания, которую распределяют с обратным знаком пропорционально номеру направления, считая начальное нулевым.

По каждому направлению из двух полуприемов выводят среднее, получают значение направления из одного приема в виде:

$$a_1 = (a + a') / 2, \quad b_1 = (b + b') / 2, \quad c_1 = (c + c') / 2 \\ d_1 = (d + d') / 2, \quad e_1 = (e + e') / 2, \quad a^*_1 = (a^* + a^*') / 2,$$

На пунктах 2-го класса направления измеряют 12-15 круговыми приемами, на

пунктах 3-го класса – 9, а на пунктах 4-го класса – 6. После вывода в каждом приеме среднего значения направлений их для удобства следующих вычислений и сравнений приводят к начальному. С этой целью из отсчета по данному направлению вычитают отсчет начального и таким образом образуют ряд направлений вида:

$$a_1 - a_1 = 0 = A_1, \quad b a_1 - a_1 = B_1, \quad c_1 - a_1 = C_1, \\ d_1 - a_1 = D_1, \quad e_1 - a_1 = E_1,$$

Окончательные значения направлений на пункте государственной геодезической сети получаются после уравнивания на станции. В способе круговых приемов этот процесс состоит в выводе среднего арифметического из всех m приемов. В результате получается веер уравненных на станции направлений: А, В, С, Д, Е. Любой интересующий нас угол получается как разность двух направлений.

Между приемами лимб переставляют на угол $\sigma = (180^\circ / m) + i$, где i – наименьшее деление лимба. Этим самым обеспечивается независимость измерений направлений в разных приемах и уменьшается влияние ошибок диаметров лимба на средний результат.

Контроль результатов угловых измерений осуществляют в каждом полуприеме по расхождениям результатов наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема, а в приемах – по колебаниям направлений в отдельных приемах, отсчитываемых от начального направления, приведенного к нулю. В триангуляции 2-4-го классов при работе на пунктах: с оптическими теодолитами типа Т2, 2Т2, 2Т2П, 3Т2КП расхождения между отсчетами на начальное направление в начале и конце полуприема не должны превышать 5-7", а колебания направлений в отдельных приемах 4-6". Приемы, в которых эти допуски не соблюдаются, подлежат повторным наблюдениям.

Для оценки точности вычисляют уклонения значения данного направления в каждом приеме v от среднего арифметического, образуют из них сумму квадратов и вычисляют среднюю квадратическую ошибку направления, выведенного из одного приема, т.е. среднюю квадратическую ошибку единицы веса:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum v^2 - \frac{(\sum v)^2}{n}}{(m-1) \cdot (n-1)}} \quad (5)$$

На практике вместо точной формулы (5) чаще применяют приближенную формулу Петерса:

$$\mu = \frac{1,45}{\sqrt{m(m-1)}} \cdot \frac{\sqrt{|v|}}{n} = k \cdot \frac{\sqrt{|v|}}{n}, \quad (6)$$

где $\sqrt{|v|}$ – сумма абсолютных величин уклонов измеренных направлений от их средних;

n – число направлений на станции;

m – число приемов; $k = 1.25 / \sqrt{m(m-1)}$ подсчитывают заранее по заданному числу приемов. Значения k при разных m следующие:

| | | | | |
|-----|------|------|------|------|
| m | 6 | 9 | 12 | 15 |
| k | 0,23 | 0,15 | 0,11 | 0,08 |

Средняя квадратическая ошибка уравненного из m приемов направления равна

$$\mu_H = \mu / \sqrt{m}. \quad (7)$$

Выполнить основное требование способа – пронаблюдать с данного пункта все направления в одной группа – не всегда оказывается возможным из-за отсутствия видимости на наблюдаемое направление. В таких случаях приходится пропускать наблюдение некоторых из них, невидимых в данный момент, с последующим их наблюдением с начальным и еще одним направлением при благоприятных условиях.

Способ круговых приемов имеет важные достоинства:

1. Простота программы наблюдений и уравнивания на станции.
2. Значительное ослабление систематических ошибок делений лимба.
3. Контроль за устойчивостью подставки и лимба теодолите в виде замыкания горизонта.
4. Экономичность способа, так как измерение направлений требует примерно в два раза меньше наведения на пункты, чем измерение углов.

Способу присущи и недостатки:

1. Значительная длительность одного приема измерений при большом числе направлений на пункте (примерно 1 минута на одно направление).
2. Разная точность измерений начального и остальных направлений.
3. Повышенные требования к жесткости, устойчивости и прочности геодезических сигналов.
4. Требование примерно одинаковой видимости по всем наблюдаемым направлениям. Направления, на которых видимость неудовлетворительная, пропускают, а затем при хорошей видимости доизмеряют с одним или двумя смежными и начальным направлениями. Это приводит к снижению производительности труда, нарушении программы наблюдений.

Несмотря на отмеченные недостатки, способ круговых приемов широко используется при угловых измерениях в сетях 2-4-го классов точности: в США его

используют даже в триангуляции 1-го класса, так как при угловых измерениях способ круговых приемов экономически наиболее эффективен.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть требуется наблюдение на пункте 3-го класса трех направлений. В этом случае число круговых приемов $m = 9$. Наблюдения выполняем теодолитом 3Т2КП (2Т2, 2Т2П). Цена деления лимба такого прибора $i = 20'$. Угол перестановки между приемами $\sigma = 180^0/9 + i = 20^020'$.

Ниже приведены все возможные перестановки для лимба данного типа теодолита. По существу, это программа работы при угловых измерениях на пункте.

Углы перестановок лимба

| Номер приема | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Значение угла перестановки | 00 ⁰ 00' | 20 ⁰ 20' | 40 ⁰ 40' | 61 ⁰ 00' | 81 ⁰ 20' | 101 ⁰ 40' | 122 ⁰ 20' | 142 ⁰ 20' | 162 ⁰ 40' |

Таблица 1

| Направление | Круг | Образец журнала наблюдений | | | | | Л - П | (Л+П)/2 | Значение направления |
|-------------|------|----------------------------|----------------------|------------|---------------------------|-------|-------|-----------------------------------|----------------------|
| | | Отсчет по штрихам лимба | Отсчет по микрометру | | $(\alpha_1 + \alpha_2)/2$ | | | | |
| | | | α_1 | α_2 | | | | | |
| 1 | Л | 20 ⁰ 23' | 10".6 | 14".0 | 12".3 | -3".7 | 14".2 | 0 ⁰ 00'00".0 (1-1) | |
| | П | 23 | 17.1 | 14.9 | 16.0 | | | | |
| 2 | Л | 61 ⁰ 21' | 34.3 | 36.8 | 35.6 | -4".1 | 37.6 | 48 ⁰ 58'22".6 (2-1) | |
| | П | 21 | 40.3 | 39.1 | 39.7 | | -0.8 | | |
| 3 | Л | 117 ⁰ 51' | 01.8 | 03.0 | 02.4 | | 03.7 | 97 ⁰ 27'47".8 (3-1) | |
| | П | | 05.4 | 04.6 | 05.0 | | -1.7 | | |
| 4 | Л | 20 ⁰ 23' | 16.8 | 15.9 | 16.4 | | 16.7 | | |
| | П | 23 | 19.5 | 14.5 | 17.0 | | -2.5 | | |

Незамыкание $\Delta_{\text{П}} = + 1''.0$ $\delta_k = -(\Delta_{\text{ср}}/n) \cdot (k - 1)$, где δ_k - поправка в направление;
 $\Delta_{\text{Л}} = + 4''.1$ k - номер по порядку наблюдаемого направления в приеме;
 Среднее $\Delta_{\text{ср}} = + 2''.55$ n - число наблюдаемых направлений в приеме

Порядок наблюдения углов в приеме следующий:

1. Устанавливаем вращением алидады заданное значение установки лимба конкретного приема (например, I прием – 00⁰00', III прием – 40⁰40' и т.д.) Совмещаем биссектор сетки нитей с визирной целью 1, закрепляем лимб.
2. Вращая алидаду по ходу часовой стрелки, берем отсчеты при последовательном наведении на визирные цели 2, 3, 1. При этом окончательное наведение всегда производится только ввинчиванием наводящего винта алидады.
3. Переведем трубу через зенит, меняем круг (поворот алидады на 180⁰), наводим на цель 1, снимаем вновь отсчет.

4. Вращая алидаду против хода часовой стрелки, снимаем отсчеты при последовательном наведении на цели 3, 2, 1.

При снятии отсчетов совмещение штрихов лимба желательно проводить дважды. Образец заполнения журнала и обработка измерений горизонтальных направлений способом круговых приемов приведен в табл. 1.

Задание

Каждому студенту выполнить 4 приема из полной программы измерения направлений круговыми приемами теодолитом ЗТ2КП. Количество направлений на пункте равно четырем.

Сделать оценку точности уравненных приведенных направлений.

3 Способ измерения углов во всех комбинациях

Данный способ предложил Гаусс, позднее его усовершенствовал Шрейбер. Суть этого способа заключается в измерении на пункте отдельных углов между направлениями, образующими между собой всевозможные комбинации. При n направлениях измеряют следующие углы:

$$\begin{aligned} &1.2, 1.3, 1.4, \dots\dots\dots 1.n \\ &2.3, 2.4, \dots\dots\dots 2.n \\ &3.4, \dots\dots\dots 3.n \\ &\dots\dots\dots (n-1).n \end{aligned} \tag{8}$$

Число таких углов равно числу сочетаний из n по 2, т.е.

$$r = C_n^2 = n(n-1) / 2.$$

Например, на пункте с $n = 5$ измеряют 10 углов (рис. 2). Вес уравненного направления на станции вычисляют по формуле

$$P = m \cdot n = \text{const},$$

где m – число приемов измерений каждого угла; n – число направлений на пункте.

Вес уравненного угла равен половине веса уравненного направления $P_{\text{угл}} = m \cdot n / 2$. В триангуляции 1-го класса вес направления принимают равным 36, а в триангуляции 2-го – 24. Принятое постоянство произведения $m \cdot n$ преследует цель получить все направления в триангуляции данного класса с одинаковыми весами. В этом заключается первое требование Шрейбера.

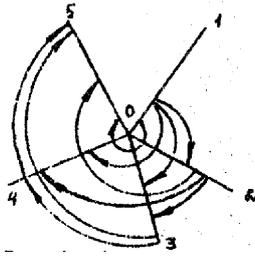


Рисунок 2 – Схема измерения углов во всех комбинациях на пункте с пятью направлениями

Для того чтобы обеспечить независимость измерений углов и свести к минимуму влияние ошибок диаметров лимба, Шрейбер сформулировал второе требование: каждое направление необходимо измерять при одном и том же положении лимба, только по-возможности, один раз. Для этого при переходе от одного приема измерения угла к другому, лимб переставляют на величину $\sigma = 180^\circ / m + i$ (i – цена наименьшего деления лимба). Кроме того, необходимо при этом учитывать, что угол перестановки лимба при измерении отдельных углов в приеме зависит от четности числа направлений n на пункте. Для четных или нечетных значений n необходимо выделить группы непримыкающих друг к другу углов. При любом произвольном положении лимба можно измерить на независимых диаметрах лимба $n/2$ углов при n четном и $(n - 1)/2$ углов при n нечетном. Количество групп примыкающих друг к другу углов будет равно при n четном

$$n(n - 1)/2 : n/2 = n - 1$$

при нечетном n (9)

$$n(n - 1)/2 : (n - 1)/2 = n.$$

Поскольку каждый угол должен быть измерен m приемами с перестановкой лимба между приемами на угол σ , то перестановки лимба при переходе от измерения одной группы непримыкающих друг к другу углов к другой должны производиться на угол δ , равный при

$$\begin{aligned} n \text{ четном} & \quad \delta = \frac{\sigma}{(n - 1)} + i, \\ \text{при } n \text{ нечетном} & \quad \delta = \frac{\sigma}{n} + i. \end{aligned} \tag{10}$$

При определении углов σ и δ учитывают цену i наименьшего деления лимба с целью ослабления влияния короткопериодических ошибок диаметров лимба.

Рассчитаем таблицу установок лимба для случая $n = 4$, $m = 6$, $m \cdot n = 24$, $i = 20'$ (табл. 2). Для составления программы наблюдений на пункте любого класса триангуляции сначала измеряют с точностью до одной минуты углы между

начальным направлением и всеми последующим направлениями. Затем от рассчитанной табл. 2 установки лимба переходят к таблице рабочих установок. С этой целью для каждого угла $j.k = 2.3; 2.4; 3.4$ и т.д., отсчитываемого не от начального (первого) направления, табличные установки лимба увеличивают на величину угла $i.j$, измеренного между начальным (первым) направлением на пункте и левым направлением данного угла $j.k = 2.3; 2.4; 3.4$ и т.д. Полученные результаты можно округлить до числа, кратного цене i деления лимба.

Таблица 2

Установки лимба для $n = 4, m = 6$

| Угол | Приемы | | | | | |
|------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| 1.2 | 0 ⁰⁰ ' | 30 ⁰²⁰ ' | 60 ⁰⁴⁰ ' | 91 ⁰⁰⁰ ' | 121 ⁰²⁰ ' | 151 ⁰⁴⁰ ' |
| 1.3 | 10 20 | 40 40 | 71 00 | 101 20 | 131 40 | 162 00 |
| 1.4 | 20 40 | 51 00 | 81 20 | 111 40 | 142 00 | 172 20 |
| 2.3 | 20 40 | 51 00 | 81 20 | 111 40 | 142 00 | 172 20 |
| 2.4 | 10 20 | 40 40 | 71 00 | 101 20 | 131 40 | 162 00 |
| 3.4 | 0 00 | 30 20 | 60 40 | 91 00 | 121 20 | 151 40 |

Рассмотрим пример составления рабочей таблицы установок лимба. Пусть значения измеренных на пункте углов с точностью до 1' получились следующими:

$$1.2 = 4^{\circ}38'; \quad 1.3 = 5^{\circ}42'; \quad 1.4 = 7^{\circ}56'.$$

Тогда для первого приема рабочие установки лимба при измерении углов будут:

угол 1.2 установка 0° 00'; 1.3 – 10°20'; 1.4. – 20° 40';

1.3 – (20°40' + 4°38') = 25°18'; 2.4 – (10°20' + 4°38') = 14°58';

1.4 – (0°00' + 5°42') = 5°42'. Таким образом, можно рассчитать рабочие установки и для других приемов.

Методика измерения отдельного угла состоит в следующем. Каждый угол при данной установке лимба измеряют двумя полуприемами. В первом полуприеме измеряют искомый угол, а во втором – дополнение его до 360°. Алидада в обоих полуприемах вращается в одном и том же направлении. При переходе от приема к приему требуется изменять направление вращения алидады на противоположное.

Согласно программе наблюдений все подлежащие измерениям углы должны быть измерены в равных условиях, т.е. в течение вечера (утра) рекомендуется измерять все углы сначала одним приемом, затем все эти же углы вторым и т.д. На рис. 3 показан порядок наблюдения угла в приеме.

Устанавливаем на направление (0,1) исходное значение угла установки лимба

(например, для II приема – (30° - 20°). Отводим алидаду на 30-400 против хода часовой стрелки и, вращая алидаду обратно, наводим биссектор сетки нитей на цель (I) (рис. 3а). Снимаем отсчет при определенном положении вертикального круга теодолита (КП или КЛ). Поворачивая алидаду по ходу часовой стрелки, наводим биссектор сетки нитей на цель 2, снимаем отсчет. Затем переводим трубу через зенит и меняем круг (поворот алидады на 180°). Наводим биссектор на цель 2, снимаем отсчет. Поворачиваем трубу по ходу часовой стрелки (рис. 3б), наводим биссектор сетки нитей на цель и снимаем отсчет.

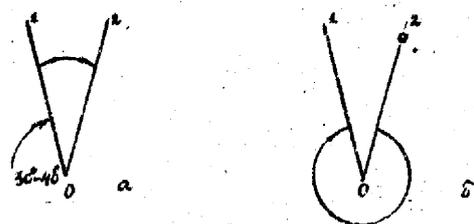


Рисунок 3 – Схема измерения угла в приеме

Уравнивание на станции результатов наблюдений и оценки точности проводят следующим образом. Для каждого угла $j.k$ вычисляют среднее значение из всех m приемов

$$j.k = \frac{1}{m} \sum (j.k)_i. \quad (11)$$

При этом следят за соблюдением установленных допусков на расхождения в приемах.

Используя средние значения углов, вычисляют уравненные на станции углы:

$$[1.2] = \frac{2.1.2 + (1.3 - 2.3) + \dots + (1.m - 2.m)}{n},$$

$$[1.3] = \frac{2.1.3 + (1.2 + 2.3) + (1.4 - 3.4) + \dots + (1.m - 3.m)}{n},$$

.....

$$[1.n] = \frac{2.1.n + (1.2 + 2.m) + \dots + (1.m - 1 + n - 1.m)}{n},$$

где n число направлений на пункте

Из формулы (12) видно, что любой уравненный угол $[j.k]$ находится как среднее весовое: непосредственно измеренному углу приписывается вес, равный двум, а всем остальным значениям его, получаемым из комбинации соответствующих пар углов, приписывают вес, равный единице.

Среднюю квадратическую ошибку единицы веса получают по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum v^2}{(n-1)(n-2)}}, \quad (13)$$

где $v = j*k - [j.k]$ – разности между измерениями (средними из приемов) и уравненными значениями углов; m – число приемов; n – число направлений.

Средняя квадратическая ошибка уравненных направлений равна

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{P_H}} = \frac{\mu}{\sqrt{m \cdot n}} = \sqrt{\frac{2 \sum v^2}{n(n-1)(n-2)}}, \quad (14)$$

а средняя квадратическая ошибка уравненных углов

$$M_y = M_H \sqrt{2} = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}} = \sqrt{\frac{4 \sum v^2}{n(n-1)(n-2)}}. \quad (15)$$

Ниже приводится пример обработки угловых измерений на пункте I-го класса с четырьмя направлениями.

1. Результаты измерений на пункте.

| Угол | Среднее из m приемов |
|------|------------------------|
| 1.2 | 610 18' 48.57" |
| 1.3 | 87 27 18.04 |
| 1.4 | 145 49 02.59 |
| 2.3 | 26 08 28.36 |
| 2.4 | 84 30 13.39 |
| 3.4 | 58 21 45.02 |

2. Значения уравненных углов (табл. 3) вычислены по формуле (12).

3. Составляют сводную таблицу уравненных направлений (табл. 4).

4. Вычисляют среднюю квадратическую ошибку единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{2m \sum v^2}{(n-1)(n-2)}}.$$

5. Вычисляют затем среднюю квадратическую ошибку уравненного угла

$$M_y = \frac{\mu}{\sqrt{mn/2}}$$

Способ измерения углов во всех комбинациях (способ Шрейбера) обладает рядом достоинств:

1. Гибкость способа, так как углы можно измерять в любой последовательности, используя для наблюдения наилучшие условия видимости целей;
2. Малая продолжительность одного приема (3-5 мин.) способствует уменьшению

влияния внешней среды и гарантирует стабильное состояние геодезического сигнала;
 3. Значительно ослабляются ошибки делений круга на результаты измерений благодаря большому числу перестановок лимба.

Таблица 3

| | Уравненные углы | | | | | |
|----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 2.3 | 2.4 | 3.4 |
| | 48.57" | 18.04" | 02.59" | 28.36" | 13.39" | 45.02" |
| | 48.57 | 18.04 | 02.59 | 28.36 | 13.39 | 45.02 |
| | 49.68 | 16.93 | 01.96 | 29.47 | 14.02 | 44.55 |
| | 49.20 | 17.57 | 03.06 | 28.37 | 13.38 | 45.03 |
| Среднее | 49.20 | 17.64 | 02.55 | 28.64 | 13.54 | 44.90 |
| $\nu =$ | | | | | | |
| - 0.43 | + 0.40 | + 0.04 | -0.28 | -0.15 | +0.12 | |
| = 0.4618 | | | | | | |

Таблица 4

Уравненные направления

| Номер направления | Уравненное направление | Вес направления |
|-------------------|------------------------|-----------------|
| 1 | 0° 00' 00".0 | M = 9 |
| 2 | 61° 18' 29".00 | N = 4 |
| 3 | 87° 27' 17".64 | P = m·n = 36 |
| 4 | 145° 49' 02".55 | |

Способу присущи и недостатки:

I. С увеличением числа n направлений на пунктах уменьшается количество приемов непосредственного измерения углов.

Например, при $n \cdot m = 24$ имеем

| | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| m | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 |

Это снижает точность вычисления средних значений углов, а, следовательно, и уравненных углов. Поэтому при числе направлений больше 7 предпочитают применять другие способы.

2. Способ Шрейбера более трудоемок, чем способ круговых приемов. Измерение отдельных углов требует примерно в два раза больше наведений на визирные цели, чем измерение направлений. С существенным увеличением числа $N = m \cdot r$ измеряемых углов с ростом числа n направлений на пунктах недостаточно полно ослабляется влияние всех видов систематических ошибок – приборных, личных и

внешней среды. Например, при $n \cdot n \approx 24$ и $r = n(n-1)/2$ имеем следующий объем работы с увеличением числа n на пунктах:

| | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|-----|
| n | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| N | 24 | 36 | 50 | 60 | 63 | 24 | 108 |

Задания

Составить стандартную и рабочую таблицу установок лимба горизонтального круга для измерения углов во всех комбинациях по программе 2-го класса триангуляции ($m \cdot n = 24$, $n = 4$, теодолит ЗТ2КП).

Провести обработку результатов измерений. Найти среднюю квадратическую ошибку единицы веса, среднюю квадратическую ошибку уравненного угла.

4 Видоизмененный способ измерения углов до всех комбинациях

При наблюдениях на пунктах 2-го класса с большим числом направлений ($n \geq 7$) применяется также способ, предложенный в 1950 г. геодезистом А.Ф. Томилиным, согласно которому на станции с n направлениями независимо измеряют два группы углов (рис. 4):

$$\begin{array}{cccccc} 1.2, & 2.3, & 3.4, & \dots, & n.1 \\ 1.3, & 2.4, & 3.5, & \dots, & n.2 \end{array}$$

т.е. углы между смежными направлениями и углы, являющиеся суммой двух смежных углов. Число этих углов равно $2n$. Этот способ получил название видоизмененного способа измерения углов во всех комбинациях или способа Томилина.

Каждый угол измеряют на разных установках лимба по той же методике, как и при измерении углов во всех комбинациях. Число приемов измерения углов принимают одинаковым и равным 5 или 6 независимо от числе направлений на пункте. В денном методе намеряют не все углы, образующиеся при сочетании направлений из n по 2, а только часть их. Поэтому результат уравнивания углов на станции не может быть представлен в виде одного ряда равноточных, направлений. Число недостающих углов, равное $\Delta r = n(n-1)/2 - 2n$ увеличивается мере роста числа n направлений на пункте:

| | | | | | |
|------------|---|---|---|----|----|
| n | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Δr | 0 | 3 | 7 | 12 | 18 |

При $n = 5$ исчерпываются все комбинации направлений из n по 2, т.е. как в способе Шрейбера. Поскольку при $n \geq 6$ измеряются не все углы $r = C_n^2$, то

уровненные на станции углы и направления имеют разные веса. Это является одним из недостатков данного способа.

К достоинствам способа Томилина следует отнести следующее. При $n = 7 \div 9$ число приемов непосредственных измерений углов $m = 5 \div 6$ больше, чем при использовании способа Шрейбера, следовательно, и точность непосредственно измеренных углов будет выше. Способ Томилина требует меньших затрат труда наблюдателей, чем способ Шрейбера. Он нашел применение в сплошных сетях триангуляции 2-го класса на пунктах с 6 - 9 направлениями.

5 Способ неполных приемов

В сетях триангуляции 2-го класса на пунктах с 7 - 9 направлениями применяют также способ неполных приемов, предложенный в 1954 г. геодезистом Ю.А. Аладжаловым. Главная задача, поставленная автором при разработке этого способа заключалась в следующем: в триангуляции 2-го класса при наблюдениях с пунктов с большим числом направлений по-возможности избавиться от недостатков, присущих способу круговых приемов и способу измерения углов во всех комбинациях. Суть этого способа заключается в том, что направления на пункте измеряют отдельными группами по три направления в каждой (без замыкания горизонта). Группы направление, подбираются таким образом, чтобы по результатам измерений можно было вычислить все углы, образующиеся при попарном сочетании направлений из n по 2.

Программа наблюдений в способе Аладжалова строится следующим образом. Сначала выписываются все углы (8), а затем каждые три угла объединяются в группу из трех направлений. Например, углы 1.2, 1.3, 2.3 составляли группу 1.2.3; углы 2.4, 2.5 и 4.5 объединялись в группу 2.4.5 и т.д. Однако в способе Аладжалова только в двух программах наблюдений, при $n = 7$ и $n = 9$, удалось объединить все углы (8) в группы по три направления в каждой (табл. 5), при $n = 4; 5; 6; 8$ кроме групп из трех направлений предусмотрено изменение отдельных углов, которые дополняют программу наблюдений до требуемого числа углов (8).

Для ослабления влияния ошибок диаметров лимба между приемами горизонтальный круг переставляют на угол $\delta = (180^\circ/m + i)$, а при переходе от одной группы направлений к другой – на угол $\delta = (\sigma/r + i)$, где m – число приемов, r – число групп направлений, i – цена наименьшего деления лимба.

Вес уравненных направлений вычисляют по формуле

$$P = 2 m * n / k,$$

где m – число приемов измерений направлений и отдельных углов (см. табл. 5), n – число направлений на пункте; k – число направлений в группе ($k = 3$); для углов $k = 2$.

Таблица 5
Программа наблюдений неполными приемами

| Номер группы | Программа наблюдений при разном числе направлений на пункте | | |
|--------------|---|-------|-------|
| | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 1.2.3 | 1.2.3 | 1.2.3 |
| 2 | 2.4.5 | 1.4.8 | 4.5.6 |
| 3 | 3.4.6 | 1.5.7 | 7.8.9 |
| 4 | 3.5.7 | 2.4.5 | 1.4.7 |
| 5 | 5.6.1 | 2.7.8 | 2.5.8 |
| 6 | 6.7.2 | 3.4.6 | 3.6.9 |
| 7 | 4.7.1 | 3.5.8 | 1.5.9 |
| 8 | | 1.6 | 2.4.9 |
| 9 | | 2.6 | 3.5.7 |
| 10 | | 4.7 | 2.6.7 |
| 11 | | 5.6 | 1.6.8 |
| m | 5 | 5/3 | 4 |

Уравнивание на станции и оценка точности в способе неполных приемов сводится к следующему. Вычисляют средние из m приемов значения измеренных в группах направлений и отдельных углов. Далее, используя эти средние значения, вычисляют все углы (8), выводимые по три угла из каждой группы, состоящей из трех направлений. По формулам (12) находят уравненные углы $[l.k]$.

Средние квадратические ошибки уравненных направлений вычисляют по формуле

$$M_H = \sqrt{\frac{3 \sum v^2}{n(n-1)(n-3) + rk}}, \quad (16)$$

где $v = j*k - [j.k]$ – разности между средними из приемов и уравненными значениями углов; n – число направлений на пункте; r – число отдельных углов в программе наблюдений.

Отметим следующие достоинства способа:

1. Объем работы на пункте наблюдения в среднем из 20-25% меньше, чем при измерении углов во всех комбинациях.
2. Число приемов непосредственных измерений групп направлений при $n = 7 \div 9$ больше, чем при измерении углов во всех комбинациях, что способствует более полному ослаблению ошибок измерений.
3. В случае неблагоприятных условий видимости по разным направлениям способ Аладжалова дает возможность измерять направления, который в данный момент

времени характеризуются хорошими условиями видимости.

Среди недостатков отметим следующие:

1. При $n = 7$ программа наблюдений предусматривает измерение большого числа отдельных углов, что приводит к уменьшению точности наблюдений и производительности труда.
2. Программа наблюдений в данном способе не предусматривает ослабления односторонне действующих ошибок измерений, что также не способствует повышению точности наблюдений.

Задание

Составить стандартную и рабочую таблицу установок лимба горизонтального круга при измерении групп направлений неполными приемами. Выполнить два приема при $n = 7$. Сравнить точность полученных результатов.

6 Краткие сведения о других способах угловых измерений

Кроме рассмотренных ранее четырех способов измерения углов и направлений существуют другие способы угловых измерений. К ним относится способ симметричных комбинаций направлений, видоизмененный способ круговых приемов и способ привязки отдельных направлений к направлению на марку. Остановимся несколько подробнее на сущности этих способов. Идея способа симметричных комбинаций направлений принадлежит В.Н. Ганьшину. В основе способа лежит требование, впервые указанное еще Гауссом, заключающееся в том, чтобы программы наблюдений предусматривали измерение возможно большего числа углов, дополняющих друг друга до 360° . В этом случае наиболее полно компенсируются систематические и односторонне действующие ошибки измерений, возникающие, например, из-за люфта подъемных винтов при вращении алидады теодолита.

Программа симметричных комбинаций направлений следующая. Каждое направление во всех группах программы наблюдений при $n = 3 \div 9$ бывает начальным, средним и конечным в группе, что обеспечивает симметрию наблюдений. Группы в большинстве случаев образуются по единому правилу: $i, i + 1, i + 3$, где i – порядковый номер направления на пункте. Каждая группа направлений измеряется по той же методике, как и в случае измерений круговыми приемами, но без замыкания горизонта. Лимб между приемами переставляют на $\delta = (180^\circ/m + i)$, а между группами направлений на угол $\delta = (\sigma/r + i)$, где m – число приемов, r – число групп направлений, i – цена наименьшего деления лимба. Число приемов измерений

каждой группы направлений вычисляют по формуле

$$m = kP/2nt,$$

где k – число направлений в группе, P – заданный вес уравненного направления, n – число направлений на пункте, t – число разных групп.

Основным достоинством этого способа является тот факт, что объем угловых измерений в этом способе в среднем в полтора раза меньше, чем в способе измерения углов во всех комбинациях. К недостаткам способа можно отнести более сложную структуру программы наблюдений, чем в способе круговых приемов, и при измерений углов во всех комбинациях.

Идея видоизмененного способа круговых приемов принадлежит И.М. Конопальцеву. Как известно, измеренные на пункте направления искажаются из-за влияния внешней среды и рефракции. Поэтому число приемов наблюдений недостаточно точно характеризует действительный вес каждого измеренного направления.

Поставив задачу получать все углы, отсчитываемые от начального направления на пункте, с одинаковыми весами, Конопальцев предложил в процессе наблюдений добиваться того, чтобы средние квадратические ошибки каждого такого угла, вычисленные по отклонениям от среднего из приемов, были одинаковыми. Программа наблюдений сводится к следующим операциям. Сначала все направления измеряют круговыми приемами. Затем для каждого угла 1.2; 1.3; ...; 1. n по отклонениям от среднего в приемах вычисляют средние квадратические ошибки m_{12} , m_{13} , ... , m_{1n} . Те углы, ошибки которых превышают допустимую $m_{\text{доп}}$, измеряют дополнительно до выполнения требования $m_{1j} \leq m_{\text{доп}}$. При этом сами значения m_{1j} не вычисляют, а заменяют их некоторыми эквивалентами – дифференцированными допусками.

За уравненные направления, отсчитываемые от начального, принимают для каждого из них среднее арифметическое из основных и дополнительных приемов измерения.

Данный способ удобен в случае неблагоприятных условий видимости по разным направлениям.

На территории нашей страны имеются районы с особенно, неблагоприятными условиями видимости (горные районы, низменные и т.д.). Видимость на наблюдаемые пункты в таких районах, может отсутствовать длительное время. В таких случаях желательно использовать французский способ угловых измерений, суть которого состоит в следующем. На расстоянии 1-2 км от пункта устанавливают

специальную марку (визирную цель). Углы, измеряет между маркой и каждым направлением в отдельности при хороших условиях видимости. Измерение углов выполняют при независимых установках лимба. Уравнивание на станции сводится к вычислению средних значений углов из приемов.

К достоинствам способа следует отнести возможность измерения углов при плохих условиях видимости в исключительно короткие сроки, а также полное ослабление влияния ошибок диаметров лимба.

К недостаткам способа относится тот факт, что углы между направлениями на геодезические пункты получают косвенно, а не из непосредственных измерений. Это снижает точность.

В основе способа лежит предположение о неизменности направления на марку в течение всего периода наблюдений. В действительности мы не можем гарантировать, что марка стабильна, и, кроме того, каждое измеряемое направление подвержено воздействию рефракции и внешней среды.

Список литературы

- 1 Яковлев Н.В. Высшая геодезия. М., 1989. С.209-239.
- 2 Хаимов З.С. Основы высшей геодезии. М., 1984. С. 229-245;.
- 3 Справочник геодезиста / Под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука/ М., 1985. Кн.1. С. 398-405.
- 4 Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия. М.: Академический проект. 2008.
- 5 Способы высокоточных угловых измерений. Методические указания для студентов астрономо-геодезической специальности. Свердловск, 1991.

Вопросы

1. Какие существуют способы измерения углов и направлений?
2. Перечислите основные принципы высокоточных угловых измерений.
3. Как получить равноточные направления на геодезическом пункте?
4. В каких классах триангуляции применяется способ круговых приемов? Почему он так называется?
5. Программа и порядок наблюдений способом круговых приемов на пункте триангуляции.
6. Каким образом осуществляется контроль и оценка точности измеренных направлений способом круговых приемов?
7. Как вычислить среднюю квадратическую ошибку единицы веса и уравненного

направления?

8. В чем преимущества и недостатки способа круговых приемов?
9. В чем суть способа измерения углов во всех комбинациях?
10. Как составить стандартную и рабочую таблицы установок лимба для измерения отдельного угла?
11. Назовите два требования Шрейбера при измерении углов способом во всех комбинациях.
12. Сущность уравнивания на станции при измерении углов во всех комбинациях. Оценка точности.
13. Какие можно выделить преимущества и недостатки измерения углов в способе во всех комбинациях?
14. Особенности применения видоизмененного способа измерения углов во всех комбинациях.
15. Сущность способа неполных приемов. Преимущества и недостатки.

Лабораторная работа № 3 «Электронный тахеометр Nikon NIVO 2M»

1 Внешний вид тахеометра Nikon Nivo 2M

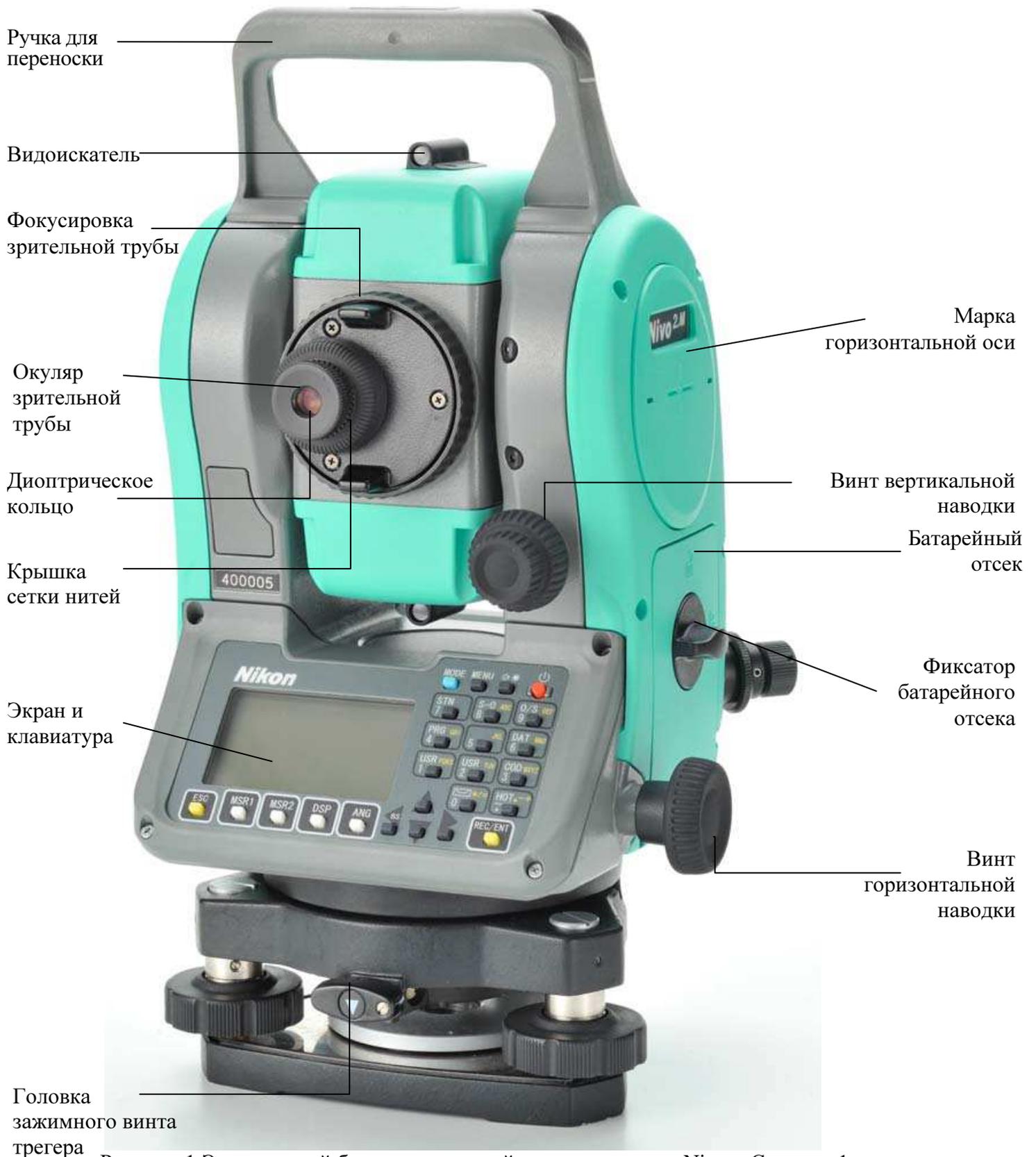


Рисунок 1 Электронный безотражательный тахеометр серии Nivo – Страница-1



Рисунок 2 Электронный безотражательный тахеометр серии Nivo – Сторона-2

2 Технические характеристики

| | |
|--------------------------------|---|
| Инструмент | Nikon Nivo 2M |
| Зрительная труба | |
| Длина | 125 мм (4,91 дюйма) |
| Увеличение | 30x |
| Эффективный диаметр объектива | 40 мм (1,57 дюйма) EDM 45 мм (1,77 дюйма) |
| Изображение | Прямое |
| Угол поля зрения | 1°20': 2,3 м на 100 м |
| Разрешающая способность | 3,0'' |
| Расстояние фокусировки | от 1,5 м до бесконечности |

Дальность измерений

Расстояния менее 1.5 м не могут быть измерены этим дальномером. Дальность измерений приведена для хороших условий: нет тумана, видимость примерно 40 км (25 миль):

Отражательный режим:

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Отражательная марка (5 см x 5 см) | 270 м |
| Стандартная призма (1P) | 3000 м |

Безотражательный режим 300 м

Опорная цель

- На цель не попадают прямые солнечные лучи.
- “Опорная цель” белого цвета из хорошо отражающего материала.
- Максимальная дальность измерений в безотражательном режиме составляет 500 м.

Точность измерения расстояния

| | |
|-------------------------|---|
| Точный режим | |
| Отражательный | $\pm (2 + 2 \text{ ppm} \times D)$ мм (от -20 °C до +50 °C) |
| Безотражательный | $\pm (3 + 2 \text{ ppm} \times D)$ мм (от -20 °C до +50 °C) |
| Нормальный режим | |
| Отражательный | $\pm (10 + 5 \text{ ppm} \times D)$ мм |
| Безотражательный | $\pm (10 + 5 \text{ ppm} \times D)$ мм |

Интервалы измерений

Интервалы измерений зависят от расстояния измерения и погодных условий. Начальное измерение может занять несколько секунд.

| | |
|------------------|-------|
| Точный режим | |
| Отражательный | 1,6 с |
| Безотражательный | 2,1 с |
| Нормальный режим | |
| Отражательный | 0,8 с |
| Безотражательный | 1,2 с |

Компенсатор

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Метод | Жидко-электрическое |
| Диапазон компенсации | детектирование $\pm 3'$ |

Микрометрический винт

| | |
|-----|---|
| Тип | Фрикционная муфта, бесконечное точное перемещение |
|-----|---|

Треггер

| | |
|-----|---------|
| Тип | Съемный |
|-----|---------|

Уровень

| | |
|---------------------|--|
| Электронный Круглый | Отображается на экране Точность $10'/2$ мм |
|---------------------|--|

Оптический центрир

| | |
|----------------------|---------------------------|
| Изображение | Прямое |
| Увеличение | 3x |
| Поле зрения | 5° |
| Диапазон фокусировки | от 0,5 м до бесконечности |

Экран и клавиатура

| | |
|-------------------|-----------------|
| Тип экрана | Графический ЖКИ |
| Разрешение | 128 x 64 |
| Подсветка экрана | Лампа подсветки |
| Количество клавиш | 25 |

Соединение инструмента

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Связь | |
| Тип | RS-232C |
| Максимальная скорость передачи данных | 38400 бит/сек асинхронная |
| Внешнее питание | от 4,5 В до 5,2 В постоянного тока |

Аккумуляторная батарея

| | |
|---|-------------------------|
| Выходное напряжение | 3,8 В постоянного тока, |
| Время непрерывной работы | перезаряжаемая |
| Непрерывное измерение расстояний/углов | 19 часов |
| Измерение расстояний/углов каждые 30 секунд | 57 часов |
| Непрерывное измерение углов | 62 часа |

Протестировано при температуре 25 °С (номинальная температура). Время работы сильно зависит от рабочих условий и износа батареи.

Температурный диапазон

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Диапазон рабочих температур | от -20 °С до +50 °С |
| Диапазон температур хранения | от -25 °С до +60 °С |

Размеры

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Инструмент | 149 (Ш) x 145 (Г) x 303 (В) мм |
| Транспортировочный ящик | 435 (Ш) x 206 (Г) x 297 (В) мм |

Вес

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Инструмент без аккумулятора | 3,8 кг, прибл. |
| Аккумулятор | 0,1 кг, прибл. |
| Транспортировочный ящик | 2,4 кг, прибл. |
| Зарядное устройство и сетевой | 0,4 кг, прибл. блок питания |

Защита от воздействия окружающей среды

| | |
|---|------|
| Водонепроницаемость/пыленепроницаемость | IP66 |
|---|------|

3 Подготовка к работе

3.1 Установка штатива

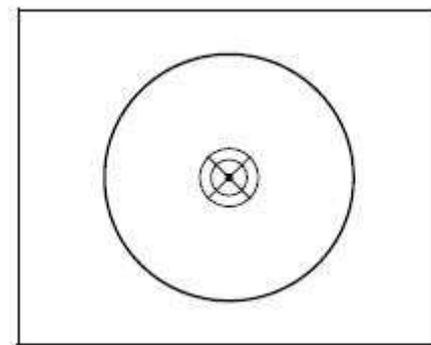
ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ - Ножки штатива достаточно острые и вы можете пораниться об них. Будьте осторожны при переноске и установке штатива.

1. Для установки штатива раздвиньте его ножки так, чтобы он был достаточно устойчив.
2. Разместите штатив непосредственно над точкой станции. Для проверки положения штатива, посмотрите через центральное отверстие площадки штатива.
3. Хорошо вдавите ножки штатива в землю.
4. Выставьте по уровню верхнюю плоскость площадки штатива.
5. Затяните зажимные винты на ножках штатива.
6. Установите прибор на площадку штатива.
7. Вставьте становой винт штатива в центральное отверстие трегера инструмента.
8. Затяните становой винт штатива.

Примечание - Не переносите прибор на штативе.

3.2 Центрирование с помощью оптического отвеса

Когда вы центрируете инструмент, вы выставляете его центральные оси так, чтобы они проходили через точку станции. Этого можно достичь двумя методами: используя нитяной или оптический отвес.



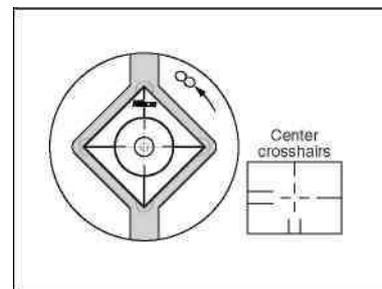
Примечание - Не забудьте выполнить проверку и юстировку оптического отвеса, если вы хотите достичь высокой точности измерений. Подробные инструкции приводятся в разделе Проверка и юстировка оптического центрира.

Для центрирования инструмента с помощью оптического отвеса:

1. Установите инструмент на штатив. Как это сделать, описано в разделе Установка штатива.
2. Наблюдая в окуляр оптического отвеса, совместите изображение точки центра

двум подъемным винтам (В и С).

3. Используйте подъемные винты В и С для перемещения пузырька в нуль пункт электронного уровня.
4. Поверните алидаду примерно на 90°.
5. Переместите пузырек в нуль пункт электронного уровня, вращая подъемный винт А.
6. Повторите шаги с 1 по 5, чтобы привести пузырек в центр в обеих ситуациях.
7. Поверните алидаду на 180°.



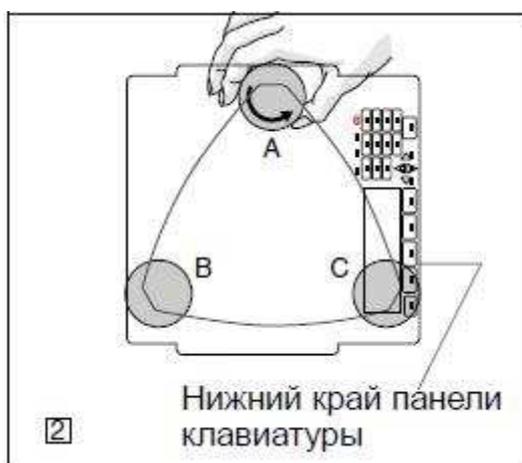
Если пузырек электронного уровня остается в нуль-пункте, нивелировка прибора выполнена. Если пузырек уходит из нуль-пункта, сделайте проверки и юстировки электронного уровня.

3.4 Наведение на цель

Когда вы наводите инструмент, вы нацеливаете зрительную трубу на цель, фокусируете изображение цели и совмещаете изображение с пересечением визирных нитей.

Для наведения инструмента:

1. Настройте визир:
 - a. Наведите зрительную трубу на светлую поверхность такую, как небо или лист бумаги.
 - b. Наблюдая в окуляр, вращайте окулярное кольцо до тех пор, пока сетка нитей



не будет отчетливо видна.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ – Никогда не смотрите на Солнце через зрительную трубу.

Так вы можете нанести вред своему зрению или потерять его.

2. Устраните параллакс:
 - a. Нацельте зрительную трубу на изображение цели.
 - b. Поверните кремальеру до появления сфокусированного изображения цели на сетке нитей.
 - c. Перемещайте ваш глаз вертикально и горизонтально. Смотрите, переместилось ли изображение цели относительно сетки нитей. Если изображение цели не переместилось, значит параллакс отсутствует.
 - d. Если изображение цели сдвинулось, вращайте кольцо фокусировки зрительной трубы. Затем повторите действия, начиная с Шага с.
3. Поверните винт точной наводки:
 - Последний поворот винта точной наводки должен быть в направлении *по часовой стрелке*, чтобы цель находилась точно в перекрестии сетки нитей.



3.5 Установка режима измерения и подготовка цели

Тахеометр серии Nivo имеет два режима измерения: отражательный режим и безотражательный режим. Эти режимы могут быть изменены в любое время при помощи нажатия на одну секунду клавиш [MSR1] или [MSR2].

Как установить режим измерения в зависимости от измеряемой цели показано в следующей таблице.

| Цель | Параметры цели |
|-------------------------------|---|
| Призма, отражательная марка | Отражатель (Отражательный режим) |
| Другое (отражающие материалы) | Без отражателя (Безотражательный режим) |

В некоторых случаях вы можете измерить цель, отличную от подходящей установленному режиму.

Примечание – Тахеометр серии Nivo^{2.M} имеет класс лазера 3R в безотражательном режиме и в режиме лазерного указателя и класс лазера 1 в режиме измерения по призме. Не визируйте призму, когда включен лазерный указатель.



4 Работа с прибором

4.1 Включение и выключение инструмента

Включение инструмента

Для включения инструмента нажмите кнопку [PWR]. Появится стартовый экран. На нем показаны: название модели, текущая температура, давление, дата и время через 2 секунды на дисплее автоматически отобразится электронный уровень.

Выключение инструмента

Чтобы начать процесс выключения питания инструмента, нажмите [PWR] и [ENT].

Затем сделайте одно из следующего:

Если вы нажмете программную клавишу **Перез** программное обеспечение перезагрузится и появится основной экран измерений без открытия проекта.

Режим ожидания

Если вы нажимаете программную кнопку **Ожид** в экране отключения питания или устанавливаете параметры режима энергосбережения инструмент переходит в режим ожидания.

Когда он находится в этом режиме, он ожидает что произойдет одно из следующего:

- Вы нажмете клавишу
- Инструмент получит команду дистанционного управления
- Вы повернете алидаду
- Вы наклоните зрительную трубу

4.2 Экран и функции клавиш

На следующем рисунке показана клавиатура инструмента серии Nivo и его жидкокристаллический экран.

| | | |
|-------------|--|----------|
| Нажмите... |  | |
| [ENT] снова | | трубу |
| программную | программную | пустить |
| программную | ручку | ожидания |
| | (энергосбережения) | |
| [ESC] | прекратить процесс выключения прибора и вернуться к предыдущему экрану | |

КЛ

КП

Ниже приведены функции клавиш инструмента серии Nivo.

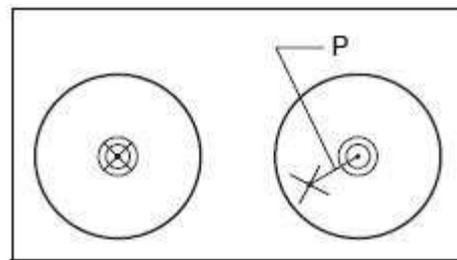


| Клавиша | Функция |
|---|---|
|  | Включение или выключение инструмента. |
|  | (Клавиша подсветки) Обеспечивает доступ к окну с переключателями. Если нажата в течение одной секунды, включает и выключает подсветку ЖК-дисплея. |
| <p>MENU</p>  | Отображает экран МЕНЮ. |
| <p>MODE</p>  | При нажатии клавиши при вводе значений в поля РТ или СD изменяет режим ввода с алфавитно-числового на числовой и наоборот. При нажатии в главном экране измерений активирует режим Qкод. |
|  | Запись измеряемых данных, перемещение к следующему экрану или подтверждение и применение введенных данных в режиме ввода. Если вы подержите нажатой эту клавишу одну секунду, находясь в главном экране измерений, вы получите доступ к опциям для записи измерений в виде СР записей вместо SS записей. Вывод инструментом измеренных данных (РТ, НА, VA и SD) на COM порт при нажатии этой клавиши в главном экране измерений или Экране Разбивка (в поле "Запись" меню Запись должно быть установлено значение "COM") |
|  | Возврат к предыдущему экрану. В числовом и алфавитно-числовом режиме - удаление введенных данных. |
|  | Запуск измерения расстояния, с использованием режима, установленного для клавиши [MSR1]. Если удерживать нажатой одну секунду, будут показаны настройки режима измерения. |
|  | Запуск измерения расстояния, с использованием режима, установленного для клавиши [MSR2]. Если удерживать нажатой одну секунду, будут показаны настройки |

| | |
|--|---|
| | режима измерения. |
|  | Переключение между доступными для отображения экранами. Переключение полей, появляющихся на экранах DSP1, DSP2, DSP3, если удерживать клавишу одну секунду. |
|  | Отображает меню Угол. |
|  | Выводит меню Настройки станции. В числовом режиме ввод числа 7. В алфавитно-числовом режиме ввод 7. |
|  | Отображает меню Разбив.. Показывает параметры разбивки, если удерживать одну секунду. В числовом режиме ввод числа 8. В алфавитно-числовом режиме ввод А, В, С или 8. |
|  | Отображает меню Измерения со смещением. В числовом режиме ввод числа 9. В алфавитно-числовом режиме ввод D, E, F или 9. |
|  | Отображает меню Программы, которое содержит дополнительные программы измерений. В числовом режиме ввод числа 4. В алфавитно-числовом режиме ввод G, H, I или 4. |
|  | В числовом режиме ввод числа 5. В алфавитно-числовом режиме ввод J, K, L или 5. |
|  | Отображает меню Выбор формата данных. В зависимости от вашей установки будут выбраны RAW, XYZ или STN данные. В числовом режиме ввод числа 6. В алфавитно-числовом режиме ввод M, N, O или 6. |
|   | Выполнение функции, которая назначена для клавиши [USR1]. В числовом режиме ввод числа 1. В алфавитно-числовом режиме ввод P, Q, R, S или 1. Выполнение функции, которая назначена для клавиши [USR2]. В числовом режиме ввод числа 2. В алфавитно-числовом режиме ввод T, U, V или 2. |

| | |
|--|--|
|  | <p>Открывает окно, в которое вы можете ввести код. Значение кода по умолчанию - последний введенный код. В числовом режиме ввод числа 3. В алфавитно-числовом режиме ввод W, X, Y, Z или 3.</p> |
|  | <p>Выводит меню "Кл.НОТ" в которое входят настройки Высоты цели, Температуры-Давления, Цели, Примечания и Точки по умолчанию. В числовом режиме ввод знака - (минус). В алфавитно-числовом режиме ввод десятичной точки, - (минус) или + (плюс).</p> |
|  | <p>Показывает пузырьковый уровень. В числовом режиме ввод 0. В алфавитно-числовом режиме ввод символов *, /, =, (пробел) или 0.</p> |
| <p>DSP ESC  (КП)</p> | <p>В функции наблюдения переключает экран, где предоставляется доступ к двум или более отобраемым экранам. В других функциях действует также как кнопка [ESC] на клавиатуре КЛ.</p> |
| <p>OSET   (КП)</p> | <p>Устанавливает горизонтальный угол на 0 в функции наблюдения. При отображении меню или списка перемещает курсор к предыдущему пункту.</p> |
| <p>MSR   (КП)</p> | <p>В функции наблюдения запускает измерение расстояний, при этом режим измерения назначается кнопке [MSR1], и отображает результат. При отображении меню или списка перемещает курсор к следующему пункту.</p> |
| <p>ENT  (КП)</p> | <p>Действует также как кнопка [REC/ENT] на клавиатуре КЛ.</p> |

5 Поверки и юстировка



5.1 Юстировка электронного уровня

Юстировка электронного уровня выполняется по ошибкам места нуля вертикального круга и коллимационным ошибкам. Подробные инструкции приводятся в разделе «Ошибка места нуля вертикального круга и коллимационная ошибка».

5.2 Поверка и юстировка круглого уровня

После юстировки электронного уровня выполните поверку круглого уровня. Если пузырек находится не в нуль-пункте, выполните юстировку юстировочными винтами круглого уровня на инструменте или на трегере.

5.3 Поверка и юстировка оптического центрира

Оптические оси центрира должны совпадать с вертикальными осями инструмента. Для поверки и настройки оптического центрира:

1. Поставьте инструмент на штатив. Вам не надо устанавливать инструмент по уровню.
2. Поместите лист толстой бумаги с нарисованной меткой X на землю под инструментом. Пока вы смотрите через оптический центрир, подстраивайте уровневые винты, пока рисунок X не будет в центре визирной марки.



Для лазерного центрира отъюстируйте лазерный указатель на отметку X.

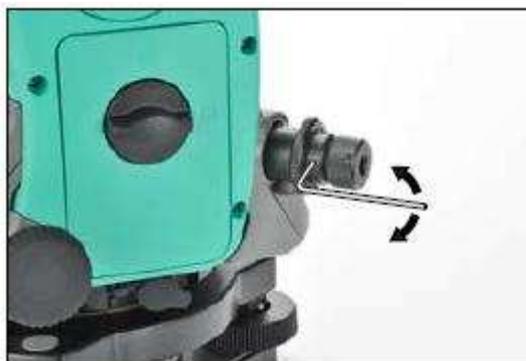
3. Поверните алидаду на 180° . Если картинка по месту совпадает с центром визирной марки, никаких настроек не требуется. Для лазерного центрира, если лазерный указатель находится на отметке X, юстировка не требуется.



4. Если картинка или лазерный указатель по месту не совпадает с центром визирной марки, настройте оптический или лазерный центрир:

а. Используя шестигранник, покрутите настроечные винты, пока изображение X не окажется в позиции Р. Позиция Р является центром точки линии, соединяющей X с центром визирной марки .

б. Повторите процедуру с Шага 2. Для юстировки лазерного центрира требуется снять крышку.



5.4 Ошибка места нуля вертикального круга и коллимационная ошибка

Проверка

1. Установите инструмент на штатив.
2. Выполните процедуру нивелировки, описанную в разделе «Горизонтирование (Нивелировка)».
3. Поверните зрительную трубу в положение КЛ.
4. Наведитесь на точку, расположенную в пределах 45° от горизонтальной плоскости.
5. Возьмите отсчет вертикального угла в поле VA1 главного экрана измерений.
6. Поверните инструмент на 180° и разверните зрительную трубу в положение КП.
7. Возьмите отсчет вертикального угла в поле VA2.
8. Сложите оба вертикальных угла вместе $VA1 + VA2$.
 - Юстировка не требуется, если ноль вертикального круга установлен в «Зенит» и $VA1 + VA2$ дают в сумме 360° .
 - Юстировка не требуется, если ноль вертикального круга установлен в «Горизонт» и $VA1 + VA2$ дают в сумме 180° или 540° .
 - Если $VA1 + VA2$ не дают в сумме одного из значений, приведенных выше, необходима Юстировка.

Примечание – Разница между вертикальным углом и значимым углом (любой из следующих: 360° от зенита или 180° или 540° от горизонта) в ПО прибора обозначается как $ACV = \text{верт. ошибка}$. Место Нуля вертикального круга $M0 = (КП + КЛ) / 2 = ACV / 2$.

Юстировка

Для входа в меню юстировки нажмите [MENU] и [7].

1. Инструмент серии Nivo имеет двухосевую компенсацию уровня. Произведите измерение на точку около горизонтальной плоскости при КЛ. Нажмите [ENT]. Вертикальный угол показан в V0 dir= Horiz setting.

VA1 Вертикальный угол при КЛ (значение без наклона)

HA1 Горизонтальный угол при КЛ (значение без наклона)

X1 Значение наклона оси X при КЛ

Y1 Значение наклона оси Y при КЛ

Пока проводятся измерения, на экране появляется надпись **Не трогать!** Затем **Пов. на КП.**

2. Произведите измерение этой же точки при КП. Нажмите [ENT]. После завершения измерения при КП появятся значения четырех параметров.

VA2 Вертикальный угол при КП (значение без наклона)

HA2 Горизонтальный угол при КП (значение без наклона)

X2 Значение наклона оси X при КП

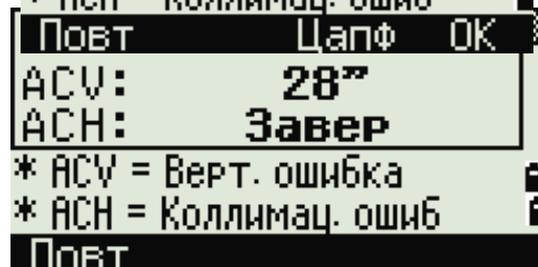
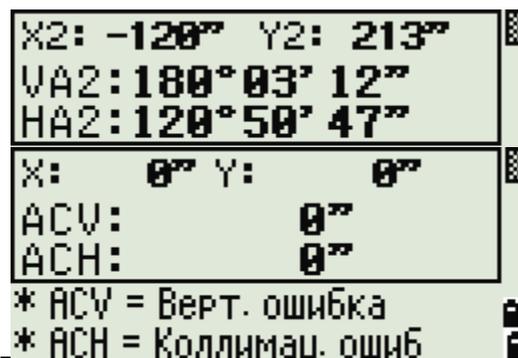
Y2 Значение наклона оси Y при КП

3. Сделайте одно из следующего:

– Для возврата в первый экран наблюдений нажмите [ESC] или программную клавишу **Повт.**

– Чтобы установить параметры на инструменте нажмите [ENT] или программную клавишу **OK.**

Если значения ACV, ACH, X или Y выходят за допустимый диапазон, отображается надпись **ПРЕВЫШЕНО.** Нажмите любую клавишу для возврата в первый экран наблюдений.



Список литературы

- 1 Руководство пользователя. Электронный тахеометр Nikon Nivo 2M.
- 2 Поклад Г.Г., Гриднев Г.Г. Геодезия. М.: Академический проект. 2008.
- 3 Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение. Тверь. ООО ИПГ «Ален», 2008.

Вопросы

1. Что такое электронный тахеометр? Дать определение этому геодезическому прибору?
2. Устройство электронного тахеометра Nikon Nivo 2M.
3. Какие Вы знаете технические характеристики электронного тахеометра Nikon Nivo 2M?
4. Как выполняется горизонтирование (нивелирование) тахеометра?
5. Зачем в электронном тахеометре имеется экран и каковы функции клавиш?
6. Какие в электронном тахеометре выполняются поверки и юстировки?
7. Методика определения места нуля вертикального круга и коллимационной ошибки.