

Глава 5. Измерение углов. Теодолит

5.1. Принцип измерения углов теодолитом

Говоря об измерении углов на местности, имеют в виду горизонтальные и вертикальные углы. Рассмотрим три точки местности AOB , расположенные на разных высотах над горизонтальной плоскостью H (см. рис. 5.1).

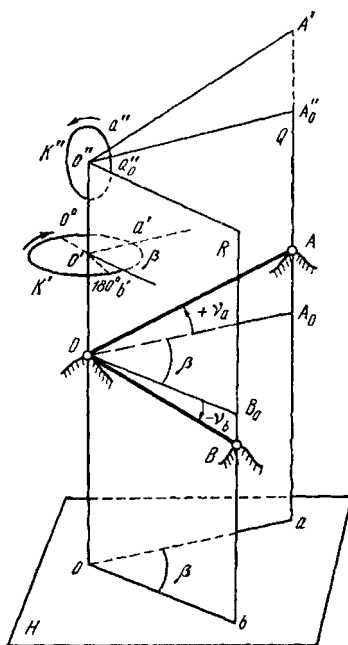


Рис. 5.1. Принципиальная схема измерения горизонтальных и вертикальных углов

Требуется измерить горизонтальную проекцию этого угла на горизонтальную плоскость. Проведём через стороны угла OA и OB отвесные плоскости Q и R , пересекающие плоскость H по направлениям oa и ob . Угол aob в плоскости H и будет горизонтальным углом β , который требуется измерить.

Расположим горизонтально угломерный круг κ' так, чтобы его центр a' разместился на отвесной линии, проходящей через вершину угла AOB . Отвесные плоскости Q и R пересекут угломерный круг по радиусам $o'a'$ и $o'v'$, а образованный между ними угол и будет равен β . Его величина будет равна разности двух значений по кругу κ' , взятых в точках v' и a' , т. е. (5.1)

$$\beta = v' - a'. \quad (5.1)$$

Чтобы измерить вертикальные углы или углы наклона линий местности AO и OB , нужно через точку O в отвесных плоскостях Q и R провести горизонтальные линии $o''a''$ и $o''v''$.

Вертикальный угол v_o с помощью вертикального круга κ'' можно получить как разность двух отсчётов по кругу в точках a'' и v_o'' , т. е. (5.2)

$$v_o = a'' - v_o'', \quad (5.2)$$

где a'' – отсчёты по радиусам $o''a''$ и $o''v_o''$.

Последовательно совмещая по таким же правилам круг κ'' с отвесными проектирующими плоскостями, проходящими через другие линии местности, можно измерять углы наклона этих линий.

Таким образом, для измерения горизонтальных и вертикальных углов необходим прибор, имеющий горизонтальные или вертикальные угломерные круги с отсчётными устройствами. Эти круги должны устанавливаться строго горизонтально или строго вертикально. Необходимо также устройство, при помощи которого можно последовательно совмещать вертикальный круг в отвесных плоскостях Q и R , проходящих через стороны заданных линий местности.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяет угломерный прибор, который называется *теодолитом*. Он является наиболее точным и распространённым прибором для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Основными частями теодолита (см. рис. 5.2) являются горизонтальный круг (лимб); отсчётное устройство лимба, расположенное на алидаде; вертикальный лимб и зрительная труба, поддерживаемая вертикальными стойками; алидада вертикального круга; цилиндрический уровень горизонтального круга; три подъёмных винта, связанные с подставкой прибора; второй цилиндрический уровень на алидаде вертикального круга.

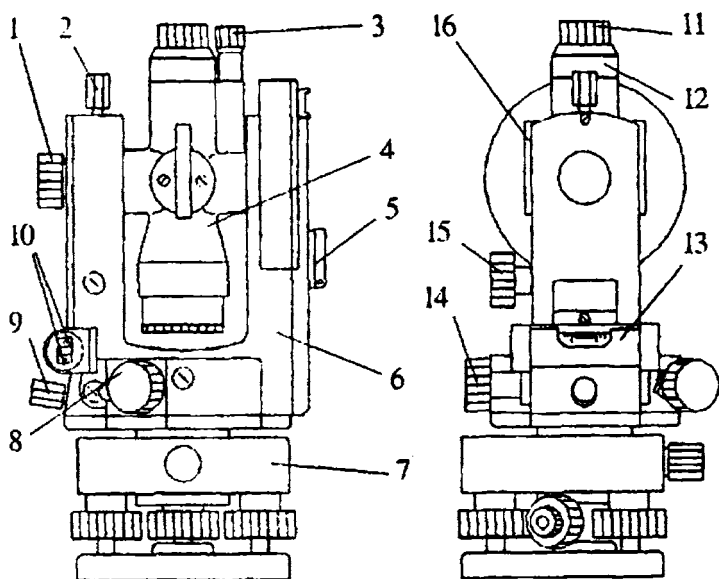


Рис. 5.2. Теодолит 4Т30П:

- 1 – кремальера; 2 – закрепительный винт трубы; 3 – окуляр микроскопа; 4 – визир; 5 – зеркало подсветки; 6 – колонка; 7 – подставка;
 8 – рукоятка перевода лимба; 9 – закрепительный винт алидады; 10 – винт юстировочный; 11 – кольцо окуляра диоптрийное; 12 – колпачок;
 13 – уровень при алидаде горизонтального круга; 14 – винт алидады наводящий; 15 – наводящий винт трубы

Горизонтальные и вертикальные лимбы современных теодолитов представляют собой круги, изготовленные из прозрачного стекла. На лимбах нанесены равномерные круговые шкалы, оцифрованные в градусной мере. Алидады горизонтального и вертикального кругов снабжены отсчётными устройствами, обеспечивающими взятие отсчётов по лимбу с определённой точностью.

Все современные теодолиты имеют перечисленные ранее основные части. Согласно ГОСТ 10529–86, выпускаются теодолиты пяти типов Т-1, Т-2, Т-5, Т-15 и Т-30. Принципиальная геометрическая схема осей всех теодолитов одинакова. Различаются они по точности измерения горизонтальных и вертикальных углов

и конструктивными особенностями. Цифры в обозначении указывают на погрешность, с которой можно измерять углы, выраженную в угловых секундах. Т-30 – погрешность 30", Т-5 – 5".

Теодолит 4Т30П используется для производства геодезических работ. Основное преимущество – малый вес и размеры, простейший способ отсчитывания по угломерным кругам при помощи штрихового микроскопа. В верхней части поля зрения отсчётного микроскопа, помеченной буквой *В*, даётся изображение штрихов вертикального круга. В нижней, помеченной буквой *Г*, – штрихи горизонтального круга. Отсчёты берутся с точностью до 1'.

5.2. Поверки и юстировки теодолита

Независимо от типа теодолита взаимное расположение его частей должно удовлетворять ряду геометрических условий. Соблюдение их устанавливают, выполняя определённые действия, которые называют поверками.

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Соблюдение этого условия необходимо для получения отвесной проектирующей коллимационной плоскости, образующейся при вращении визирной оси зрительной трубы вокруг горизонтальной оси теодолита.

3. Горизонтальная ось теодолита (ось вращения зрительной трубы) должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения трубы теодолита.

4. Один из штрихов сетки нитей должен находиться в коллимационной плоскости.

Если обнаружено, что какое-то из геометрических условий не соблюдено, то производят юстировку (регулировку) прибора.

5.3. Измерение горизонтального угла

Пусть требуется измерить горизонтальный угол между двумя направлениями *ОА* и *ОВ*. Вершина угла точка *О*. Заранее знают, какой угол необходимо измерить, левый или правый по ходу. Для направления от точки *А* к точке *В* левым по ходу является β , а правым λ , получаемый как дополнение $\lambda = 360^\circ - \beta$ (см. рис. 5.3).

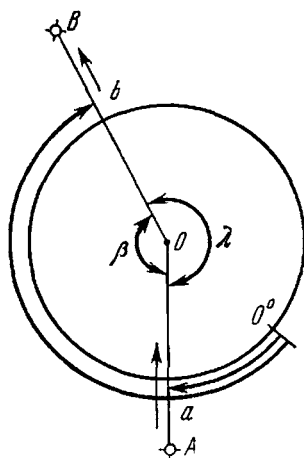


Рис. 5.3. Измерение горизонтального угла способом приёмов

Вначале устанавливают теодолит в вершине O , так чтобы его вертикальная ось была отвесна и проходила через точку O . Установка теодолита состоит из двух операций центрирования и горизонтирования, которые проводят одновременно.

Центрирование выполняют при помощи нитяного отвеса, подвешенного к верхней части штатива, на который укрепляется теодолит, или оптического центрира. Далее приводят теодолит в рабочее положение, используя уровень при алидаде горизонтального круга.

Существует ряд способов измерения горизонтальных углов теодолитом. Наиболее простой *способ приёмов* – способ измерения отдельного угла. Одновременно с приведением теодолита в рабочее положение в вершине угла O на точках A и B устанавливают визирные цели (вехи, колья, марки). Приём измерения состоит из двух независимых полуприёмов, выполняемых при КЛ и КП. Рассмотрим измерение левого по ходу угла β . Закрепляют неподвижно лимб теодолита, открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при КЛ на заднюю точку A , берут отсчёт (1) и записывают в журнал (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1

Журнал измерения горизонтальных углов

Номер приёма	Точка стояния	Визирруемая точка	КЛ КП	Отсчёт по горизонтальному кругу	Значение угла из полуприёма	Среднее значение угла из приёма	Окончательное значение угла
1	0	A	КЛ	0°04' (1)	172°44' (3)	172°44,5' (2)	172°45,2' (15)
		B		172°48' (2)			
		A	КП	180°05' (4)	172°45' (6)	172°486 (14)	
		B		352°50' (5)			
2	0	A	КЛ	90°08' (8)	172°45' (10)	172°47' (13)	
		B		262°53' (9)			
		A	КП	270°10' (11)	172°47' (13)		
		B		82°57' (12)			

Затем открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при том же круге на переднюю точку B и берут отсчёт (2). Вычисляют значение (3) левого по ходу угла (отсчёт на переднюю точку минус отсчёт на заднюю точку — первый полуприём). Приступают к выполнению второго полуприёма при КП. Зрительную трубу поворачивают вокруг горизонтальной оси, меняя местами окуляр и объектив (переводят трубу через зенит). Открепляют алидаду и при неподвижном лимбе последовательно визируют при КП на заднюю точку A и переднюю точку B . Взятые отсчёты (4) и (5) заносят в журнал (см. табл. 5.1).

Вычисляют значение угла (6) из второго полуприёма при КП отсчёт (5) – отсчёт (4). Если расхождение $\beta_{кл}$ и $\beta_{кп}$ из полуприёмов не превышает двойной точности отсчётного устройства, то вычисляют значение угла из полного приёма как среднее $\beta = (\beta_{кл} + \beta_{кп}) / 2$.

Если необходимо измерить угол несколькими приёмами, то при переходе к следующему приёму лимб переставляют на величину $180^\circ/n$ и все действия в приёме повторяют. Результатом является среднеарифметическое значение угла из нескольких приёмов.

5.4. Измерение вертикального угла

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. Началом отсчёта этих углов является горизонтальная линия в теодолитах, предназначенная для измерения углов. Лимб вертикального круга теодолита наглухо скреплён со зрительной трубой. Алидада вертикального круга несёт на себе отсчётное устройство, причём нулевой диаметр его должен быть горизонтален. Если это требование не выполнено, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы отсчёт по вертикальному кругу будет отличен от 0° или 90° . Такой отсчёт называется *местом нуля вертикального круга* (МО).

Измерение вертикального угла теодолитом сводится к отсчитыванию по вертикальному кругу при визировании на наблюдательную точку при КЛ и КП. Для вычисления угла наклона ν вначале определяют значение $МО$ по формуле для теодолита 4Т30П (5.3)

$$MO = (KL + KP) / 2, \quad (5.3)$$

а затем вычисляют угол наклона по формуле (5.4)

$$v = KL - MO. \quad (5.4)$$

Так как конструкции вертикальных кругов в различных марках теодолитов могут значительно отличаться, мы рекомендуем формулы для вычисления MO и измеренного угла v брать из паспорта к конкретному теодолиту.

Контрольные вопросы

1. Что называется горизонтальным углом?
2. Опишите порядок действий при установке зрительной трубы для наблюдений. Для чего служит кремальера?
3. Чем отличается визирная ось от оптической и геометрической осей зрительной трубы? Что такое визирная ось?
4. Какую плоскость называют коллимационной?
5. Как устроена сетка нитей, где она находится?
6. Что называется осью цилиндрического уровня, ценой деления? Для чего служат уровни?
7. Что называют поверками геодезического прибора и зачем их выполняют?
8. В какой последовательности выполняют поверки теодолита?
9. Каков порядок работы на станции при измерении горизонтального угла?
10. Для чего измеряют горизонтальный угол при двух положениях вертикального круга?
11. Какое расхождение допускается между двумя значениями угла в полуприёмах?
12. Каково назначение цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга?
13. Что называют местом нуля вертикального круга, как его определяют? Какой допуск характеризует постоянство места нуля? Как привести значение места нуля к нулю?
14. Какие теодолиты называют оптическими? Какие отсчётные устройства применяются в оптических теодолитах?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
2. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.
3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
4. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.

Глава 6. Топографические съёмки

6.1. Виды топографических съёмок

Совокупность действий, выполняемых на местности для получения плана, называется *съёмкой*. Если она производится для получения плана без изображения рельефа, то её называют *контурной*. Если план отображает рельеф, то съёмку называют *топографической* или *высотной*. Различают несколько видов съёмок.

Теодолитная – по результатам съёмки получается контурный или ситуационный план, в основном измеряются горизонтальные углы.

Тахеометрическая съёмка выполняется тахеометрами (теодолитами) для получения плана с изображением рельефа горизонталями, при такой съёмке углы измеряют в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расстояния определяют по дальномеру.

Мензультная съёмка производится с использованием двух приборов: мензулы и кипрегеля, при помощи которых непосредственно на местности получают план с изображением рельефа. Достоинство мензультной съёмки в том, что она позволяет в процессе съёмки сопоставлять изображение, получаемое на плане, с изображаемой местностью.

Фототеодолитная съёмка производится путём фотографирования снимаемой площади с двух разных точек. Съёмка выполняется на труднодоступных участках склонов, на бортах карьеров и др. После соответствующей обработки пары снимков (стереопары) можно получить план участка местности.

Аэрофотосъёмка – съёмка, которая выполняется специальным фотоаппаратом АФА с самолёта. Она производится в сочетании с наземными геодезическими действиями, необходимыми для привязки снимков (контурная, комбинированная, стереофотограмметрическая).

Нивелирование – геометрическое нивелирование по квадратам, один из видов съёмки, позволяющей получить топографические планы равнинных участков местности.

Глазомерная, буссольная и эккерная съёмки позволяют получить ориентировочные планы территории, имеющие очень низкую точность.

6.2. Общие правила ведения топографических съёмок

Чтобы ослабить влияние ошибок измерений и не допустить их накопления в одной части снимаемой территории, принято за правило вести работы от *общего* к частному. С этой целью из множества снимаемых точек выделяют на данной территории наиболее характерные и определяют их в первую очередь и только после этого приступают к съёмке подробностей. Такие точки называют *опорными*. Они служат основой для съёмки всех объектов и контуров местности и в своей совокупности образуют геодезическую опорную сеть. Все геодезические сети выполняются с контролем.

Положение любой точки можно определить топографическими координатами, выведенными из астрономических наблюдений, топографические координаты могут быть перевычислены в плоские прямоугольные координаты. Однако астрономический метод не даёт высокой точности.

Геодезический метод состоит в том, что для определения координат находят из астрономических наблюдений только несколько точек, называемых *исходными*. Каждую исходную точку математически связывают со всеми остальными опорными точками, образуя из них систему, называемую *геодезической опорной сетью* или просто геодезической сетью. Геодезическая сеть может быть образована сетью треугольников, называемой *триангуляцией* или *трилатерацией*, и сомкнутых или разомкнутых многоугольников, называемой *полигонометрией*.

6.3. Триангуляция, геодезические опорные сети

Триангуляция служит основным методом создания государственной геодезической сети как для топографических съёмок, так и для других геодезических измерений. Посредством геодезических измерений и математической обработки результатов координаты исходных точек передаются на все пункты триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Высоты пунктов определяются

нивелированием. Геодезическая опорная сеть ограничивает накопление при съёмке неизбежных ошибок измерений, обеспечивает контроль и позволяет вести топогеодезические работы одновременно на разных участках.

Сущность метода триангуляции – опорные точки выбирают, чтобы они равномерно покрывали снимаемую территорию и чтобы из каждой точки было видно не менее трёх соседних. Выбранные точки надёжно закрепляют подземными сооружениями – центрами и обозначают особыми знаками или сигналами. Опорные точки связаны между собой в сеть треугольников. Чтобы определить расположение этих точек в горизонтальной проекции, достаточно знать горизонтальную проекцию только одной какой-либо стороны и измерить горизонтальные проекции углов всех треугольников сети.

Таким образом, действия при построении триангуляции (см. рис. 6.1) на местности состоят почти исключительно из угловых измерений, выполняемых с сигналов, построенных на опорных точках для того, чтобы не мешали местные препятствия.

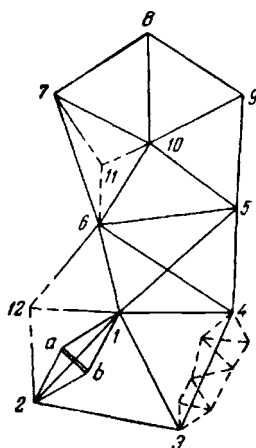


Рис. 6.1. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Сторона 1–2, служащая исходной для вычислений, называется *выходной*. Иногда вместо её измерения определяют корот-

кий базис ab и связывают его с выходной стороной при помощи вспомогательной триангуляции, называемой *базисной сетью* (угол против базиса не менее 36°). С большой точностью измеряют базис и все углы, а затем определяют расстояние 1–2. В вершинах базисной сети выполняют астрономические определения широты и долготы, а также находят истинные азимуты направлений на смежные пункты триангуляции. Пользуясь этими измерениями, находят координаты всех вершин треугольника. Высоту определяют нивелированием. Использование радио- и светодальномеров позволяет непосредственно измерять выходные стороны триангуляции без построения базисных сетей.

В России государственная триангуляция подразделяется на 1, 2, 3 и 4 классы. Триангуляция 1 класса прокладывается по параллелям и меридианам. Ряды переменных между собой образуют системы полигонов. Остающиеся внутри полигонов 1 класса площади заполняются сплошной сетью треугольников 2 класса, сгущаемой затем сетями 3 и 4 классов.

1 класс – длина стороны треугольника 20–25 км, 2 класс – 7–20 км, 3 класс – 5–8 км, 4 класс – 2–5 км. При отсутствии триангуляции 1 и 2 класса строят самостоятельные сети 3 и 4 класса с обязательными измерениями не менее двух базисов или выходных сторон с последующей их привязкой к триангуляции высших классов.

Координаты пунктов государственной геодезической сети вычисляются в *общегосударственной системе геодезических координат* (система 1941 г.). Исходным пунктом этой системы является центр сигнала Пулковской астрономической обсерватории. Геодезические координаты, по существу – это топографические координаты. Для всех пунктов геодезической сети вычисляются и прямоугольные координаты.

Космогеодезия позволяет увязать геодезическую сеть России с геодезическими сетями других стран.

Сети местного значения строят путём сгущения государственных геодезических сетей. Их прокладывают между пунктами государственной геодезической сети. Они разделяются на аналитические, полигонометрические сети 1 и 2 разрядов и сети технического нивелирования.

Съёмочные сети подразделяются на плановые и высотные.

Плановые создают методом засечек с пунктов геодезических сетей всех классов и разрядов, проложением теодолитных и мензульных ходов и построением геометрических сетей. Точность плановых съёмочных сетей 1:3 000.

Высотная съёмочная сеть прокладывается в виде ходов и полигонов нивелирования с ошибками не более 0,1–0,2.

6.4. Теодолитная съёмка

6.4.1. Общие требования

Теодолитная съёмка позволяет получить план с изображением или без изображения рельефа. Основным прибором является теодолит, которым измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Опорой при теодолитной съёмке служат теодолитные ходы, представляющие собой системы ломаных линий, в которых углы измеряются одним полным приёмом, а стороны – стальной 20-метровой лентой или дальномером с точностью 1:2 000. Концами этих линий должны быть пункты опорной геодезической сети. Обычно съёмочная сеть при теодолитной съёмке представляет собой:

- 1) сеть треугольников;
- 2) сеть полигонов;
- 3) просто теодолитных ходов.

Формы теодолитных ходов зависят от характера снимаемой территории. При съёмке полосы будущей дороги прокладывают разомкнутые ходы, которые, по возможности, должны быть вытянутыми с углами поворота, близкими к 180° . На участке строительства предприятия обычно прокладывают сомкнутый полигон. Точки теодолитных ходов выбирают так, чтобы длины сторон при измерении лентой были в среднем 250 м (400 – max, 50 – min), а углы наклона не превышали 5° . Перед производством измерений все вершины полигона закрепляют (обозначают) на местности, вехами и т. п. Не реже чем через 1 км закладывают центры. Таким образом, теодолитная съёмка включает:

- подготовительные работы;
- закрепление точек на местности;

- измерение линий и углов в полигонах и ходах;
- съёмку подробностей;
- вычислительные работы;
- графические работы.

При проложении теодолитного хода измеряют горизонтальные углы в вершинах углов хода и длины линий между этими вершинами. Углы, правые по ходу, измеряют одним полным приёмом. При измерении углов во втором полуприёме измеряют по вертикальному кругу теодолита угол наклона, если он больше 1° . По буссоли теодолита измеряют магнитные азимуты или румбы сторон угла, по которым вычисляют измеряемый горизонтальный угол для контроля измерений. Стороны измеряют дважды в прямом и обратном направлениях (нитяной дальномер непригоден).

После измерения углов и линий производят съёмку ситуации территории, прилегающей к вершинам углов и линиям. Результаты угловых и линейных измерений заносят в журнал и абрис.

Чтобы определить недоступное расстояние, когда его нельзя измерить непосредственно, его определяют косвенным путём из решения ΔABC . Выбирают базис $AC = b$, чтобы треугольник был равнобедренным (6.1)

$$c = \frac{b \sin C}{\sin(A + C)}. \quad (6.1)$$

Часто приходится прокладывать очень длинные теодолитные ходы, что приводит к накоплению больших погрешностей в измерениях и вычислениях, поэтому их привязывают к пунктам опорной геодезической сети. Теодолитный ход, у которого привязана только одна точка – *висячий*. Чаще начальная и конечная точка хода привязаны к пунктам геодезической сети с известными координатами. С этих точек должны быть известны направления на другие пункты геодезической сети, характеризующиеся дирекционными углами α_N, α_K . Привязка хода заключается в измерении *примычных* углов, правых по ходу β_N и β_K при точках N и K . Для повышения точности обычно измеряют не один, а два примычных угла.

6.4.2. Съёмка ситуации и обработка результатов теодолитной съёмки

После проложения теодолитных ходов по границе землепользования (участка) и диагональных ходов снимают контуры ситуации внутри участка, иногда этот процесс совмещают с проложением теодолитных ходов. Результаты съёмки заносят в абрис – чертёж, составляемый от руки на местности. Абрис – основной документ съёмки и является материалом для составления плана. На абрисе показывают взаимное расположение опорных точек, линий и снимаемых объектов со всеми числовыми результатами измерений и пояснительными записями.

Абрис составляется с использованием метода обхода (границы землепользования), методом прямоугольных координат, методом полярных координат, методом засечек, методом створов.

В результате полевых работ при теодолитной съёмке получают геодезический журнал и абрис. Вычислительная обработка теодолитных ходов (и полигонов) производится для получения координат точек этих ходов. Исходными данными для вычисления координат являются начальные координаты хода (X , Y), длины горизонтальных проекций сторон хода (d), горизонтальные проекции углов между ними (β), дирекционные углы сторон (α), румбы (r).

Обычно из непосредственных измерений на местности получают для каждой стороны полигона d и β и лишь для одной из них определяют дирекционный угол или магнитный азимут, или румб. Дирекционные углы и румбы остальных сторон получают посредством вычислений. Вследствие накопления неизбежных ошибок измерений практические расчёты всегда расходятся с теоретической суммой. Эта разность называется *невязкой*. Одна из задач – распределить невязку между результатами измерений, т. е. ввести поправки. Процесс распределения невязок называется *увязкой* (уравниванием). Таким образом, по результатам теодолитной съёмки должны быть выполнены следующие действия:

- обработка угловых измерений и вычисление дирекционных углов и румбов;
- вычисление горизонтальных проекций сторон;
- вычисление координат вершин полигонов.

Теоретическая сумма S_m углов многоугольника равна (6.2)

$$180^\circ(n-2), \quad (6.2)$$

где n – число углов многоугольника.

Практическая сумма $S_n = \Sigma\beta$. Разность $S_n - S_m$ – *угловая невязка* $f(\beta)$ (6.3)

$$f(\beta) = \Sigma\beta - 180^\circ(n-2). \quad (6.3)$$

Получив угловую невязку, определяют, допустима ли она. Для теодолита 30-секундной точности принимают предельную угловую невязку, равную (6.4)

$$\text{пред. } f(\beta) = \pm 45'' \sqrt{n}, \quad (6.4)$$

где n – число измеренных углов.

Если $f(\beta) \leq \text{пред. } f(\beta)$, то её считают допустимой. В этом случае углы полигона нужно увязать, распределив поровну невязку на все углы, вводя в углы поправку со знаком, обратным знаку невязки. Если невязка значительно меньше допустимой, то, округлив в сторону уменьшения невязки и значения углов с дробными частями, оставшуюся часть невязки распределяют только на углы с короткими сторонами.

Соотношение между дирекционными углами и углами полигона. Дан дирекционный угол α_o исходной стороны теодолитного хода AB . $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – углы, правые по ходу, измеренные теодолитом. Найдём дирекционные углы $\alpha_1 \dots \alpha_n$ остальных сторон хода. На основании зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами можно записать (6.5)

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_o + 180^\circ - \beta_1, \\ &\dots \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n. \end{aligned} \quad (6.5)$$

Дирекционный угол последующей линии равен предыдущему дирекционному углу плюс 180° минус угол, лежащий вправо по ходу. Контроль выполняют по формуле (6.6)

$$\alpha_o - \alpha_n = \Sigma\beta - n \cdot 180^\circ. \quad (6.6)$$

Угловая невязка теодолитного хода (6.7)

$$f\beta = \Sigma\beta_n - n \cdot 180^\circ - (\alpha_o - \alpha_n). \quad (6.7)$$

Дирекционные углы в сомкнутом многоугольнике продолжают вычислять до тех пор, пока получают исходный дирек-

ционный угол линии AB , что служит контролем правильности вычислений. Если при вычислении углов уменьшаемое меньше вычитаемого, то к уменьшаемому прибавляют 360° , если больше, то вычитают 360° .

По результатам измерения расстояний и углов наклона в теодолитном ходе находят горизонтальные проекции сторон. Далее, решая прямые геодезические задачи, вычисляют приращения координат ΔX и ΔY по формулам (6.8).

Известно, что теоретическая сумма проекций сторон замкнутого многоугольника на любую ось равна 0, практическая сумма, как правило, отличается на величину невязки (6.8)

$$\begin{aligned}\Sigma \Delta X &= 0 \text{ и } \Sigma \Delta Y = 0, \\ \Sigma \Delta X &= f_x \text{ и } \Sigma \Delta Y = f_y,\end{aligned}\quad (6.8)$$

где f_x и f_y – невязки в приращениях координат.

Под влиянием ошибок измерений получаем как бы разомкнутый полигон на величину $A_f A = f$ – невязка в периметре полигона (6.9)

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (6.9)$$

Если P – периметр полигона, то f/P – относительная невязка.

Допустимая невязка от 1:2 000 до 1:1 000 в среднем 1:1 500, $f \leq 1:1 500$ длины периметра.

Если невязка больше, то выполняют проверку вычислений или проверку полевую. Если невязка допустима, то приращения увязывают (уравнивают), невязку распределяют на все вычисленные приращения пропорционально длинам сторон и вводят поправки в вычисления приращений со знаком, обратным знаку невязки. После этого сумма приращений должна быть равна нулю.

По заданным координатам начальной точки хода и исправленным приращениям последовательно вычисляют координаты всех точек хода с обязательным контролем. В замкнутом полигоне получают исходные координаты, в разомкнутом полигоне координаты другого пункта геодезической сети, на который опирается ход.

При построении полигонов наносят сначала внешний полигон, а потом внутренние ходы. Построение плана начинают с построения на листе чертёжной бумаги координатной сетки.

Размеры рамок планов для масштабов 1:500–1:2 000 50х50 см; для масштаба 1:5 000 40х40 см. Координатная сетка строится в виде сетки квадратов, от точности её построения будет зависеть точность плана. Построенную и проверенную сетку (неравенство диагоналей 0,2 мм) оцифровывают в соответствии с координатами теодолитного хода. Теодолитный ход должен располагаться в центре чертежа. Затем приступают к нанесению по координатам точек хода, контролируют их положение. Затем точки соединяют карандашом, и на план наносится ситуация, при этом используется абрис. Расстояние откладывают при помощи циркуля измерителя, горизонтальные углы измеряют транспортиром.

Справа под южной рамкой плана указывают фамилию исполнителя и составителя плана, а также сроки выполнения работ.

6.5. Тахеометрическая съёмка

Одновременная съёмка контуров и рельефа местности, при которой пространственное положение точек местности определяют со станции полярным способом, измеряя при помощи топографического прибора тахеометра (или теодолита) горизонтальные углы, расстояния и превышения, называется *тахеометрической*. В переводе с греческого *тахеометрия* означает «быстрое измерение».

Тахеометрическая съёмка выполняется по принципу от общего к частному. Первоначально создают планово-высотную основу, а затем ведут съёмку рельефа и подробностей, по результатам которой в камеральных условиях составляется топографический план. Тахеометрическую съёмку рекомендуется производить для составления топографических планов небольших участков или узких полос местности.

Горизонтальные углы измеряют между исходной линией, по которой ориентируется нуль лимба тахеометра, и направлениями на точки местности. Расстояние определяют оптическим дальномером. Превышение снимаемой точки над станцией находят методом тригонометрического нивелирования.

В качестве исходной плановой и высотной основ для тахеометрической съёмки используют пункты государственной геодезической сети, теодолитные и нивелирные ходы, прокладываемые