

## ГЕОДЕЗИЯ

### ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

**ГЕОДЕЗИЯ**  
**ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ**

Учебное пособие

Екатеринбург  
2022

УДК 528.2/.5(075.8)  
ББК 26.12я73  
Г35

Рецензенты:

кафедра землеустройства и кадастров УрГАУ, канд. биол. наук, доцент *А. С. Гусев*;

*А. В. Борников*, канд. с.-х. наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров Оренбургского ГАУ

Авторы: *О. В. Сычугова, С. С. Зубова,*  
*Г. В. Анчугова, С. С. Постникова*

Г35

**Геодезия. Полевые и камеральные работы** : учебное пособие / [О. В. Сычугова и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 93 с.

ISBN 978-5-94984-835-7

Учебное пособие предназначено для обучающихся в вузах. Рассматриваются: вопросы выполнения теодолитно-тахеометрической съемки, съемок малой точности (буссольной), использование геодезических приборов, техники измерения и вычислений, порядок составления контурных и топографических планов.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 528.2/.5(075.8)  
ББК 26.12я73

ISBN 978-5-94984-835-7

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022

© Сычугова О. В., Зубова С. С.,  
Анчугова Г. В., Постникова С. С., 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Общие положения .....	5
1.1. Требования к прохождению практики .....	6
1.2. Правила техники безопасности на учебной практике .....	8
2. Теодолитно-тахеометрическая съемка .....	9
2.1. Теодолитная съемка .....	9
2.1.1. Сущность съемки и виды работ .....	9
2.1.2. Приборы и инструменты .....	10
2.1.2.1. Теодолит 4Т30П .....	11
2.1.2.2. Штатив .....	16
2.1.2.3. Рулетки .....	18
2.1.3. Основные поверки теодолита .....	20
2.1.4. Измерение горизонтальных углов теодолитом способом приемов .....	26
2.1.5. Измерение вертикальных углов теодолитом ....	31
2.1.6. Поверки и исследования мерной ленты (рулетки) .....	34
2.1.7. Полевые работы .....	35
2.1.7.1. Рекогносцировка местности и закреп- ление пунктов теодолитных ходов ...	35
2.1.7.2. Вешение линий .....	37
2.1.7.3. Измерение длин линий теодолитного хода рулеткой .....	38
2.1.7.4. Измерение углов в теодолитном ходе	40
2.1.7.5. Способы съемки подробностей .....	40
2.1.8. Камеральные работы теодолитной съемки .....	45
2.1.8.1. Вычисление горизонтальных проложе- ний .....	45
2.1.8.2. Вычисление высотных отметок точек хода .....	45
2.1.8.3. Вычисление угловых невязок и уравни- вание замкнутого полигона .....	46
2.1.8.4. Вычисление дирекционных углов по- лигона .....	49
2.1.8.5. Вычисление приращений и координат точек .....	49

2.1.8.6. Уравнивание диагонального (разомкнутого) теодолитного хода .....	52
2.1.8.7. Составление плана теодолитной съемки .....	54
2.2. Тахеометрическая съемка .....	55
2.2.1. Сущность съемки и виды работ .....	55
2.2.2. Приборы и инструменты .....	57
2.2.3. Полевые работы .....	59
2.2.3.1. Определение расстояний при помощи нитяного дальномера. Использование реек .....	63
2.2.3.2. Измерение горизонтальных углов в тахеометрической съемке .....	67
2.2.3.3. Съемка подробностей .....	69
2.2.3.4. Определение превышений при тахеометрической съемке .....	69
2.2.4. Камеральные работы .....	70
Составление топографического плана .....	70
3. Съемки малой точности. Буссольная съемка .....	75
3.1. Сущность съемки и виды работ .....	75
3.2. Приборы и инструменты .....	75
3.2.1. Устройство буссоли геодезической БГ-2 .....	77
3.2.2. Поверки буссоли .....	78
3.3. Полевые работы .....	79
3.3.1. Подготовительные работы .....	79
3.3.2. Проложение буссольных ходов .....	81
3.3.3. Съемка ситуации .....	86
3.4. Камеральные работы .....	87
3.4.1. Проверка и обработка полевых измерений .....	87
3.4.2. Составление плана по данным буссольной съемки.....	88
3.4.3. Графический способ распределения невязки ... способом параллельных линий .....	89
3.4.4. Оформление работы .....	90
Заключение .....	91
Библиографический список .....	92

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Геодезия. Полевые и камеральные работы» составлялось в соответствии с рабочей программой по ознакомительной практике для первого курса. Наполнение учебного пособия помогает разобраться с порядком выполнения полевых работ – разбивкой полигонов и измерений при помощи геодезических приборов; камеральных работ – вычислениями для построения контурных и топографических планов. В пособии детально описано устройство основных геодезических приборов и инструментов. Изложение материала располагает к развитию самостоятельных навыков изучения и проведения полевых и камеральных работ по геодезии.

Большую благодарность коллектив авторов выражает Канакаеву Валерию Леонидовичу за помощь в оформлении графического материала.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Раздел учебной практики «Геодезия» является продолжением в полевых условиях теоретического курса, расчетно-графических и практических работ.

Цель учебной практики – закрепить полученные при прохождении теоретического курса знания, научиться пользоваться геодезическими инструментами и приборами, проводить разные виды съемок местности, линейное и площадное нивелирование, усвоить навыки самостоятельной работы в полевых и камеральных условиях.

В процессе практики выполняются следующие основные работы:

- создание планового и высотного съемочного основания;
- топографическая съемка участка местности;
- топографо-геодезические работы при изысканиях трасс автодорог и отдельных площадей;
- экспресс-съемка малой точности.

Руководителем практики является преподаватель, закрепленный за каждой группой по приказу директора института.

Камеральные работы выполняются параллельно с полевыми. Грубые ошибки должны устраняться непосредственно при их выявлении. В конце каждого дня практики необходимо писать отчет, выполнять расчеты и, если требуется, графические работы. Общий зачет принимается после выполнения всех полевых и камеральных работ, после сдачи приборов и оборудования. Итоговый отчет сдается по бригадам (графический материал и рабочая тетрадь с расчетами) одновременно с устной защитой обучающихся. Индивидуальные отчеты должны содержать задание, дневник практики, ход выполненных работ и заключение (выводы). Индивидуальные отчеты и отзыв руководителя практики с оценкой сформированности компетенций (скрин) помещаются через личный кабинет студента в электронную информационную образовательную среду университета на курс «Учебная практика (ознакомительная)».

## **1.1. Требования к прохождению практики**

При прохождении учебной практики по геодезии работа организовывается следующим образом.

Студенты учебной группы формируют бригады из 4–6 чел. Состав бригады в течение всей практики не меняется. Руководство бригадой берет на себя наиболее ответственный инициативный студент.

Участки, на которых закладываются полигоны, распределяются преподавателем. В установленное время все студенты и преподаватель должны быть на кафедре. Получив задание, обучающиеся отправляются на свой рабочий геодезический полигон. При выполнении работ бригады должны строго придерживаться графика их выполнения, который озвучивает преподаватель. Студенты должны соблюдать дисциплину: не допускаются самовольные отлучки; указания и требования бригадира должны строго выполняться всеми членами бригады. Переключка проводится преподавателем ежедневно перед началом и по окончании выполнения работ.

В каждой бригаде заполняется рабочая тетрадь по полевой практике, в которую записываются все показатели измерений и камеральные расчеты, а также составляются абрисы (кроки). Материальную ответственность за полученные геодезические приборы и инструменты несет вся бригада, не допускается порча или поломка

приборов. Все члены бригады должны бережно относиться к приборам и инструментам.

Материально-техническое обеспечение бригады:

- теодолит 4Т30П – 1 шт.;
- нивелир ЗН-5Л – 1 шт.;
- штатив – 1 шт.;
- мерная лента – 1 шт.;
- вешки – 2 шт.;
- нивелирные рейки – 2 шт.;
- нитяной отвес – 1 шт.;
- топор – 1 шт.;
- геодезический журнал (рабочая тетрадь) – 1 шт.

Обязательным условием является выполнение обучающимися всех процессов и видов работ на геодезической практике. Перед выполнением каждой вида работ студенты должны ознакомиться с содержанием работ, изучить методику выполнения, послушать разъяснения руководителя. Бригадир распределяет работу между членами своей бригады, последовательно чередуя работы по подготовке инструмента и прочистке ходов, исполнителя измерений, реечника, по камеральным работам. Все члены бригады должны освоить каждый из вышеперечисленных переделов работ.

Все записи в рабочем журнале должны быть четкими и разборчивыми, разрешается заполнение карандашом. На каждой страничке подписываются дата и фамилии исполнителей измерений и расчетов.

Бригада не уходит с полевой практики, не проведя контроль измерений. Кроме того, необходимо убедиться, что все полевые работы выполняются с требуемой точностью. Графическое оформление работы должно выполняться тщательно в соответствии с принятым образцом. После окончания каждого дня практики проверяется исправность оборудования и приборов, все записи в полевом журнале, их наличие и правильность.

На зачетном мероприятии в конце учебной практики анализируется правильность и качество оформления рабочей тетради и графического материала, устно опрашиваются все члены бригады по всему переделу работ, по окончании выставляется дифференцированный зачет по геодезической практике. Обязательным условием является наличие индивидуального отчета по практике. Отчет выполняется по определенному образцу.



Задание на учебную практику по геодезии выдает руководитель практики. В задании указываются задачи и продолжительность практики, виды и объем работ, приборы и оборудование, необходимые для выполнения работ, последовательность выполнения работ, перечень представляемых к отчету материалов, формы контроля работы.

## 1.2. Правила техники безопасности на учебной практике

В первый день практики все студенты должны прослушать и усвоить правила техники безопасности на учебной практике, распечататься в бланке инструктажа. Без изучения правил техники безопасности обучающиеся к прохождению практики не допускаются.

Правила по технике безопасности:

- к практике не допускаются лица, которым по состоянию здоровья противопоказаны работы в полевых условиях;
- на практике обучающиеся должны иметь рабочую одежду, непромокаемую обувь, защитные средства от комаров, клещей (помимо прививки от клещевого энцефалита);
- запрещается самовольный уход с места полевых работ;
- во время работы категорически запрещается курение;
- все обучающиеся должны уметь оказывать первую помощь пострадавшим;
- бригадам обучающихся запрещается работать в полосе отчуждения железной дороги, автострады и шоссе;
- обучающимся запрещается открывать люки колодцев подземных коммуникаций;
- при приближении грозы необходимо убрать приборы и всем уйти в укрытие;
- для укрытия во время грозы нельзя использовать высокие деревья;
- не разрешается во время отдыха лежать на земле;
- запрещается выполнять работы на газонах, в огородах и посадках различных культур;
- запрещается разводить костры, бросать горящие спички, окурки;
- все студенты должны знать и выполнять правила обращения с геодезическими приборами и принадлежностями.

## 2. ТЕОДОЛИТНО-ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

### 2.1. Теодолитная съемка

#### 2.1.1. Сущность съемки и виды работ

**Теодолитной** называется горизонтальная (контурная) **съемка** местности, в результате которой может быть получен план с изображением ситуации местности (контуров и местных предметов) без рельефа. Теодолитная съемка относится к числу крупномасштабных (масштаба 1:5000 и крупнее) и применяется в равнинной местности в условиях сложной ситуации и на застроенных территориях. В лесном деле такая съемка используется на относительно малых площадях, где проведение аэрофотосъемки экономически нецелесообразно, а контуры леса и положение просек изменились.

В качестве планового съемочного обоснования при теодолитной съемке обычно используются точки теодолитных ходов.

**Теодолитные ходы** представляют собой системы ломаных линий, в которых горизонтальные углы измеряются техническими теодолитами, а длины сторон – стальными мерными лентами и рулетками либо оптическими дальномерами. Теодолитные ходы подразделяются на ходы точности 1:3000, 1:2000 и 1:1000. Обычно теодолитные ходы не только нужны для выполнения съемки ситуации местности, но и служат геодезической основой для других видов инженерно-геодезических работ. Теодолитные ходы развиваются от пунктов плановых государственных геодезических сетей и сетей сгущения.

По форме различают следующие виды теодолитных ходов:

- 1) разомкнутый ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования;
- 2) замкнутый ход (полигон) – сомкнутый многоугольник, обычно примыкающий к пункту геодезического обоснования;
- 3) висячий ход, один из концов которого примыкает к пункту геодезического обоснования, а второй конец остается свободным.

Форма теодолитных ходов зависит от характера снимаемой территории. Так, для съемки полосы местности при трассировании

осей линейных объектов (дорог, трубопроводов, ЛЭП и т. п.) прокладывают разомкнутые ходы. При съемках населенных пунктов, строительных площадок обычно по границе участка прокладывают замкнутый ход (полигон). При необходимости внутри полигона прокладывают диагональные ходы, которые могут образовывать узловые точки. Проложение висячих теодолитных ходов допускается лишь в отдельных случаях при съемке неответственных объектов; при этом длина висячего хода не должна превышать 300 м при съемках масштаба 1:2000 и 200 м – масштаба 1:1000.

Теодолитная съемка складывается из подготовительных, полевых и камеральных работ. Наибольший объем приходится на полевые работы, которые включают в себя рекогносцировку снимаемого участка, прокладку теодолитных ходов и полигонов, их привязку к пунктам геодезической опорной сети и съемку ситуации.

## 2.1.2. Приборы и инструменты

В качестве приборов и инструментов для производства теодолитной съемки используется теодолит, вешки, рейки, мерные ленты (рулетки).

**Теодолит** – геодезический прибор, предназначенный для измерения и построения горизонтальных и вертикальных углов, определения магнитных азимутов и расстояний.

Современные теодолиты делятся на четыре вида:

1) механический теодолит – это измерительный прибор, который в своей конструкции не оснащен электронными и оптическими компонентами и имеет механическую систему наведения;

2) оптический теодолит – это прибор, который оснащен оптическим отсчетным устройством для вычисления координат точек;

3) электронный (цифровой) теодолит – это прибор, который оснащен микропроцессором и дисплеем для вычисления и запоминания координат точек на местности;

4) лазерный теодолит – представляет собой электронный теодолит со встроенным лазером.

Каждый из видов имеет свои конструктивные особенности, сферу использования и точность измерения. В зависимости от допускаемой погрешности измерения горизонтального угла теодолиты подразделяют на следующие типы и группы [1]:

- высокоточный теодолит – с ошибкой измерения угла  $\leq 1'$ ;
- точный теодолит – с ошибкой измерения угла  $\leq 5'$ ;
- технический теодолит — с ошибкой измерения угла  $\leq 15' - 60'$ .

В маркировку теодолита входит обозначение типа и исполнения теодолита. В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений [1]: с уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется); с компенсатором углов наклона – К; с автоколлимационным окуляром – А; с зрительной трубой прямого видения – П; маркшейдерский – М; электронный – Э. Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе.

### 2.1.2.1. Теодолит 4Т30П

Основным инструментом для производства теодолитной и тахеометрической съемок на учебной практике является оптический теодолит 4Т30П технической точности или его предыдущие модификации 2Т30П, 2Т30 и Т30. Характеристики теодолита 4Т30П приведены в табл. 1.

Таблица 1

Общие характеристики теодолита 4Т30П

Характеристики	Значения
Цена деления лимба	1°
Отсчетное приспособление	Шкаловый микроскоп
Длина шкалы отсчетного приспособления	1°
Количество делений в шкале	12
Цена деления шкалы	5'
Точность отсчитывания	0,5'
Среднеквадратическое отклонение одним замером	
для горизонтальных углов	20'
для вертикальных	30'
Диапазон измерения вертикальных углов	+60...–55°
Приближение оптической трубы	20-кратное
Изображение	Прямого видения
Компенсатор	Отсутствует
Отсчетное устройство	Шкаловая система
Диапазон рабочих температур	–40...+50 °С

Маркировка теодолита 4Т30П расшифровывается следующим образом: буква Т обозначает тип измерительного прибора – теодолит, цифра 4 – поколение (модификация), цифра 30 – средне-квадратическую ошибку в измерении угла, выраженную в секундах, буква П означает, что его зрительная труба дает прямое изображение. Основные части теодолита 4Т30П показаны на рис. 1.

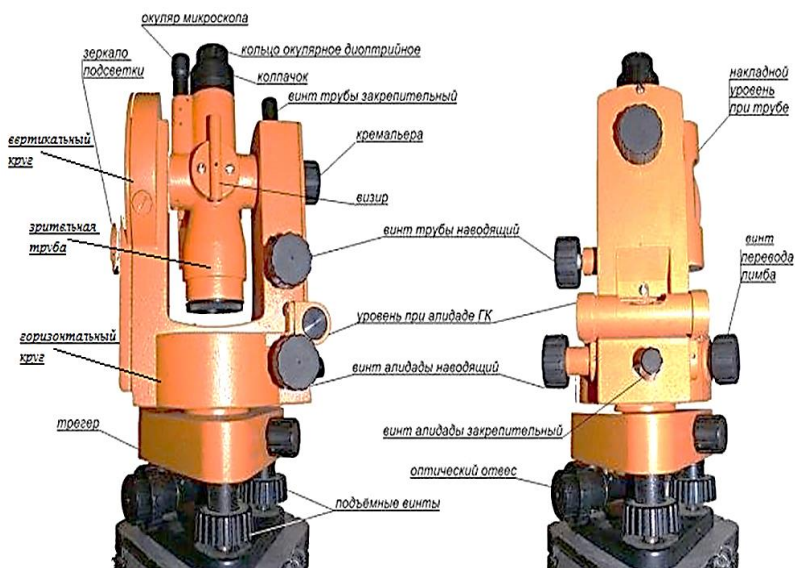


Рис. 1. Устройство теодолита 4Т30П

Назначение основных частей теодолита 4Т30П рассмотрено в табл. 2. Горизонтальный и вертикальный круги проградуированы через  $1^\circ$ . Горизонтальный круг имеет круговую оцифровку от 0 до  $359^\circ$ , а вертикальный – секторную от 0 до  $75^\circ$  и от  $-0$  до  $-75^\circ$ . Для взятия отсчетов по вертикальному и горизонтальному кругам использовано шкаловое отсчетное приспособление. При этом отсчет берется по подписанному градусному штриху делений вертикального и горизонтального лимбов. Если на шкалу вертикального круга проектируется отрицательный градусный штрих (рис. 2, б), то отсчет по минутам берется по шкале от  $-0$  к  $-6$ , т. е. справа налево, а при положительных углах наклона – по шкале от 0 к 6 (рис. 2, а).

При визировании на заданные цели вертикальный круг может находиться слева или справа по отношению к наблюдателю. Поэтому различают измерения, выполненные при «круге право» – КП, и измерения, выполненные при «круге лево» – КЛ.

*Таблица 2*

Конструкция теодолита 4Т30П

Название отдельных частей	Назначение
Вертикальный и горизонтальный круги	Каждый круг состоит из лимба и алидады. Служит для измерения вертикальных и горизонтальных углов
Лимб	Рабочая мера прибора в виде круговой шкалы. Цена деления шкалы 1°
Алидада	Часть прибора, расположенная соосно с лимбом и несущая элементы отсчетного устройства
Зрительная труба	Визирное устройство прибора, содержащее объектив, окуляр и сетку нитей
Подставка (трегер)	Нижняя часть прибора, служащая для его установки и горизонтирования
Колонка	Стойка, несущая горизонтальную ось прибора
Подъемные винты	Служат для предварительной установки прибора в горизонтальное положение
Круглый уровень при алидаде горизонтального круга	Устройство, служащее для определения положения прибора и его отдельных узлов относительно отвесной линии
Зрительная труба	Обоими концами переводится через зенит и фокусируется вращением кремальеры
Микроскоп	Служит для передачи изображения штрихов и цифр (см. рис. 2). В микроскоп передаются одновременно изображение вертикального и горизонтального кругов
Отсчетное приспособление	Отсчет и оценку доли наименьшего деления круга производят по неподвижному индексу на лимбе. Длина шкалы отсчетного приспособления составляет 1°
Окуляры	Часть оптической системы (зрительной трубы, микроскопа), обращенная к глазу наблюдателя; служит для рассматривания действительного оптического изображения
Диоптрийное кольцо	Служит для фокусирования трубы (микроскопа) по глазу. Вращением диоптрийного кольца добиваются появления четкого изображения штрихов сетки нитей (для зрительной трубы) или отсчетного устройства и шкал (для микроскопа)

Название отдельных частей	Назначение
Зеркало подсветки	Поворотом и наклоном зеркала достигается оптимальное освещение поля зрения микроскопа
Сетка нитей (рис. 3)	Система штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом зрительной трубы. Основные штрихи – штрихи сетки нитей зрительной трубы, предназначенные для наведения трубы в горизонтальной и вертикальной плоскостях
Перекрестье сетки нитей	Точка пересечения основных штрихов сетки нитей или осей заменяющих их биссекторов. (см. рис. 3)
Биссектор	Два штриха сетки нитей, используемые совместно для наведения на визирную цель (см. рис. 3)
Дальномерные штрихи	Штрихи сетки нитей, предназначенные для определения расстояний по рейке (см. рис. 3)
Коллиматорный визир	Предназначен для грубой наводки на цель. При пользовании визиром глаз должен быть на расстоянии 25–30 см от него. Закрепительные винты при этом должны находиться в открепленном состоянии
Закрепительные винты алидады горизонтального круга и трубы	Закрепительными винтами скрепляют подвижные части теодолита (лимб, алидаду, зрительную трубу) с неподвижными. Наводящими винтами сообщают малое и плавное вращение закрепленным частям
Наводящие винты алидады горизонтального круга и трубы	Точное наведение зрительной трубы на предмет в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом алидады после ее закрепления, в вертикальной плоскости – наводящим винтом трубы после закрепления соответствующим винтом. Перекрестье сетки нитей должно быть строго совмещено с центром визирной цели
Кремальера	Вращением кремальеры достигают резкого изображения предмета
Винт перевода лимба	Используется для наведения трубы на предмет с заданным или изменяющимся отсчетом по лимбу горизонтального круга
Накладной уровень при трубе	У верхнего визира может быть дополнительно установлен цилиндрический уровень, позволяющий устанавливать визирную ось в горизонтальное положение при нивелировании

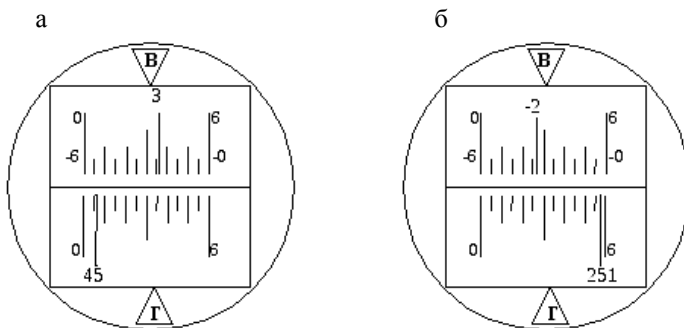


Рис. 2. Поле зрения микроскопа:

а – отсчет по вертикальному кругу  $3^{\circ}36'$ ; отсчет по горизонтальному кругу  $45^{\circ}06'$ ;  
 б – отсчет по вертикальному кругу  $-2^{\circ}33'$ ; отсчет по горизонтальному кругу  $251^{\circ}58'$

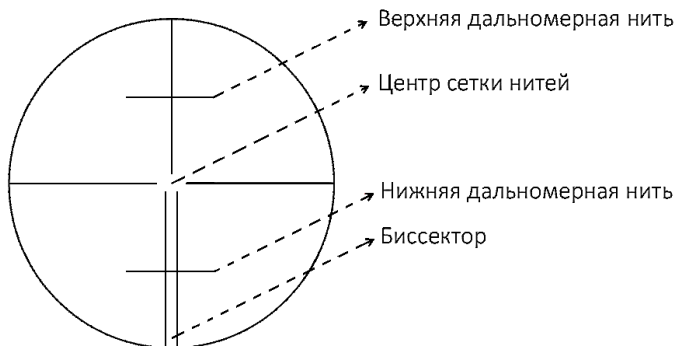


Рис. 3. Сетка нитей зрительной трубы

### *Правила обращения с теодолитом*

Полученный прибор закрепляют на штативе или кронштейне станковым винтом. Следует обратить внимание на состояние металлического футляра и выполнить общий осмотр прибора. Теодолит должен свободно, без усилий, выниматься и укладываться в футляр; при правильной укладке прибор в футляре должен быть неподвижным. При переносе без футляра прибор удерживают за подставку.



После закрепления теодолита на штативе следует убедиться в отсутствии механических повреждений металлических и оптических деталей прибора, произвести проверку металлических узлов, обратив внимание на состояние и работу всех винтов прибора, на плавность вращения его отдельных частей.

При установке прибора на штативе нужно следить, чтобы поверхность головки штатива была приблизительно горизонтальна, а подъёмные и наводящие винты находились в среднем положении, т. е. имели достаточный запас хода в любую сторону. Следует избегать чрезмерного завинчивания станowego и зажимных (закрепительных) винтов. Запрещается поворачивать теодолит в горизонтальной плоскости, взявшись рукой за трубу. Движение наводящих винтов необходимо заканчивать ввинчиванием.

Нельзя касаться руками оптических деталей зрительной трубы и отсчётного микроскопа.

При эксплуатации теодолит следует предохранять от воздействия влаги. В дождливую погоду теодолитом работать нельзя. Хранить теодолит следует в сухом отапливаемом помещении. Для предохранения от запотевания не следует вынимать теодолит из футляра после работы на холоде ранее чем через 2 ч после внесения в теплое помещение, а при вынесении на холод – вынимать из футляра не ранее 1 ч. При транспортировке следует оберегать теодолит от резких толчков и ударов. Следует предохранять теодолит от нагрева (особенно одностороннего) солнечными лучами.

Необходимо аккуратно укладывать теодолит в футляр и извлекать из него. Теодолит берут за втулку лимба, но не за трубу.

При измерении углов разрешается переносить теодолит прикрепленным к штативу с небольшим наклоном от вертикального положения.

### **2.1.2.2. Штатив**

Штативы используются для работы с измерительными инструментами в помещении и на улице. Конструкция (табл. 3) представляет собой треногу, на которой размещена площадка с винтом для крепления прибора. Ножки раздвижные с механизмом фиксации: отрегулировав их длину, можно расположить геодезический штатив так, чтобы измерительный инструмент находился на нужной высоте.

Конструкция штатива

Название отдельных частей	Назначение
Становой винт с крючком для отвеса	Служит для соединения теодолита со штативом, отвес позволяет выполнять операцию центрирования прибора
Головка	Место для установки прибора (теодолита, нивелира)
Закрепительный винт	Служит для соединения неподвижной и подвижной частей ножек
Раздвижные ножки	Основная часть штатива
Упор для ног	Крепится к металлическому наконечнику ножки, используется для установки штатива

Штативы изготавливаются двух видов:

- ШН – штатив нераздвижной с тремя ножками постоянной длины;
- ШР – штатив раздвижной с тремя составными ножками переменной длины.

Штативы бывают металлическими, деревянными, реже встречаются пластмассовые. Для теодолита 4Т30П используют универсальный алюминиевый штатив Geobox S6 (рис. 4), металлический или деревянный штатив ШР-140, где 140 – номинальный диаметр его головки в миллиметрах [2].

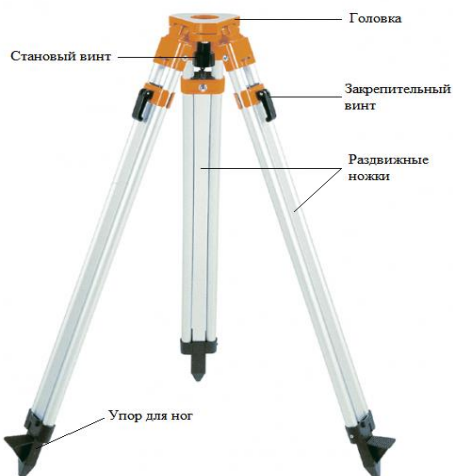


Рис. 4. Основные части штатива

Штатив служит для закрепления на нем геодезических приборов (теодолиты, нивелиры, дальномеры и др.) и предварительного приведения их в рабочее положение (см. рис. 4).

Ножки штатива шарнирно соединены с головкой. Высоту штатива изменяют выдвижением ножек, после чего их закрепляют винтами.

Изменение высоты штатива позволяет устанавливать прибор на удобную высоту по уровню глаз. Теодолит помещают на плоскость головки штатива и закрепляют становым винтом. На крючок винта подвешивают нитяной отвес.

### 2.1.2.3. Рулетки

Рулетка – самый распространенный измерительный механический инструмент и неизменный атрибут геодезистов. Долговечность использования рулеток в первую очередь зависит от качества изготовления ленты.

На учебной практике используется стальная рулетка ФТ 17780 длиной 30 м (производство Китай, рис. 5).



Рис. 5. Землемерная лента 30 м с футляром для наконечника

Рулетки можно классифицировать по номинальной длине шкалы, материалу ленты, покрытию, классу точности нанесения шкал, конструктивному исполнению вытяжного конца ленты и обозначению [3].

В отечественной промышленности [3] выпускаются рулетки со шкалами номинальной длины: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м.

Рулетки изготавливают с плоскими лентами из нержавеющей стали (Н) или углеродистой стали (У). Вытяжные концы рулеток производят с кольцом (в условном обозначении буква «К») или с грузом (в условном обозначении буква «Г»).

В зависимости от положения начала шкалы на измерительной ленте рулетки ГОСТ предусматривает выпуск рулеток в двух исполнениях: начало шкалы сдвинуто от торца измерительной ленты не менее 150 мм; начало шкалы совпадает с торцом измерительной ленты.

Шкалы рулеток наносят с миллиметровыми, сантиметровыми, дециметровыми и метровыми интервалами.

По точности нанесения шкал рулетки могут изготавливаться двух классов: 3-го и 2-го (Р30Н2К, Р5У3К, Р100У2Г, Р10Н2Г). Пример условного обозначения отечественных рулеток Р30Н2К – рулетка со шкалой номинальной длины 30 м, лентой из нержавеющей стали, 2-го класса точности, кольцом на вытяжном конце ленты.

Зарубежные фирмы выпускают рулетки, в которых используются ленты следующих видов:

- стальная лента с делениями, нанесенными методом травления;
- стальная крашенная лента;
- стальная крашенная лента с полиамидным покрытием;
- нержавеющая лента с делениями, нанесенными методом травления;
- фибerglassовая лента (пластиковая) с капроновым кордом.

Наиболее долговечными являются ленты, изготовленные из нержавеющей стали, и ленты, имеющие полиамидное покрытие. Полиамид – прозрачный пластик, который надежно защищает металлические ленты от воздействия влаги и трения. Рулетки с такими лентами не ржавеют, разметка на них не стирается.

Все рулетки имеют ряд достоинств и недостатков. Достоинства рулеток: компактность, малый вес, простота устройства и эксплуатации при сравнительно высокой точности измерений (особенно коротких линий). Недостатки рулеток: большая трудоемкость при измерении длинных линий, необходимость расчистки наземной трассы, вешения, измерения углов наклона отдельных участков линий и т. д.

### 2.1.3. Основные поверки теодолита

Теодолит должен удовлетворять соответствующим геометрическим и оптико-механическим условиям. Для этого его проверяют, а связанные с проверкой действия называют **поверками инструмента**. При выявлении неисправностей проводят его исправление, т. е. **юстировку инструмента**.

Оптико-механические условия сводятся к проверке зрительных труб, луп и микроскопов, правильности и плавности движения отдельных частей, их прочности, жесткости конструкции.

Поверки геометрических условий выполняют для того, чтобы убедиться в выполнении условий взаимного расположения геометрических осей теодолита (табл. 4, рис. 6) и в случае нарушения этих условий исправить положение той или иной оси. Для выполнения поверок теодолит устанавливают в рабочее положение на штатив.

Поверки и юстировка теодолита выполняются в следующем порядке.

Таблица 4

Геометрические оси теодолита

Название геометрических осей и обозначение	Расшифровка
Основная ось (ось вращения) теодолита $ZZ_1$	Линия, перпендикулярная к горизонтальному кругу и проходящая через его центр
Визирная ось $VV_1$	Линия, проходящая через заднюю главную точку объектива и перекрестие сетки нитей
Ось цилиндрического уровня $UU_1$	Касательная к внутренней поверхности ампулы уровня в нуль-пункте (нуль-пункт уровня – наивысшая точка ампулы, середина делений на ампуле)
Ось вращения трубы $HH_1$	Линия, вокруг которой вращается зрительная труба в вертикальной плоскости

**1. Ось цилиндрического уровня при алидаде  $UU_1$  горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения инструмента  $ZZ_1$ .**

При выполнении поверки соблюдают такую последовательность:

1) цилиндрический уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек уровня на середину;

2) поворачивают алидаду на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом выводят пузырек уровня на середину;

3) поворачивают алидаду на  $180^\circ$ . Если пузырек уровня при этом отклонится от середины более чем на одно деление, то производят юстировку.

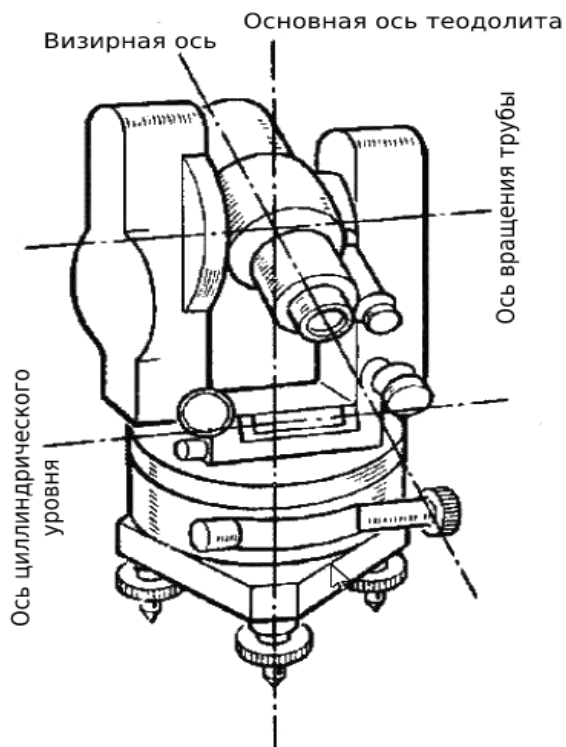


Рис. 6. Геометрические оси теодолита 4Т30П

Техника выполнения юстировки:

– исправительными винтами уровня пузырек перемещают на половину дуги отклонения;

– двумя подъемными винтами выводят пузырек уровня на середину;

– затем алидаду поворачивают на  $90^\circ$ ;

– третьим подъемным винтом приводят уровень на середину.

Проверку повторяют.

## 2. Визирная ось зрительной трубы $VV_1$ должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы $HH_1$ .

Если данное условие нарушено, то между линией визирования и горизонтальной осью вращения трубы образуется угол  $C$  (рис. 7), называемый **коллимационной ошибкой**.

Последовательность выполнения проверки:

1) зрительную трубу в горизонтальном положении наводят на удаленную точку на расстоянии не менее 50 м при двух положениях вертикального круга («лево» и «право»);

2) берут отсчеты по горизонтальному кругу  $КЛ_1$  и  $КП_1$ . Отсчитывание по лимбу с помощью шкалового микроскопа теодолита 4Т30П описано в п. 2.1.2.1;

3) для исключения эксцентриситета горизонтального круга берут еще два отсчета,  $КЛ_2$  и  $КП_2$ , предварительно повернув алидаду на  $180^\circ$ .

**Эксцентриситет алидады** горизонтального круга – несовпадение центра делений лимба и вертикальной оси вращения теодолита;

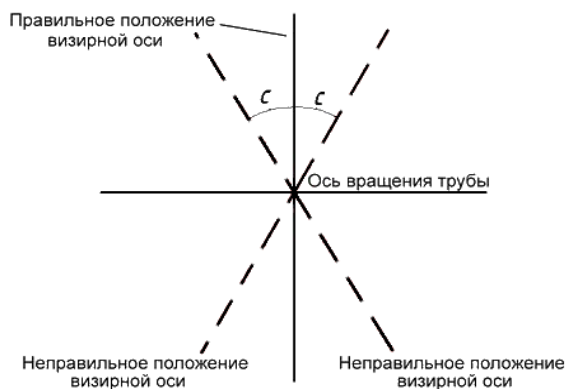


Рис. 7. Коллимационная ошибка  $C$

4) значение коллимационной ошибки  $C$  вычисляют по формуле

$$C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4};$$

5) если полученная коллимационная ошибка превышает  $1^\circ$ , то производят юстировку теодолита. Юстировка проводится в присутствии преподавателя! Техника выполнения юстировки:

- вычисляют отсчет, равный  $KП_2 + C$ ,
- наводящим винтом алидады устанавливают полученный отсчет на горизонтальном круге,
- боковыми исправительными винтами сетки нитей перемещают ее до совмещения с наблюдаемой точкой (рис. 8, а, б, в). Для этого откручивают защитный колпачок с окуляров зрительной трубы, под которым расположены четыре исправительных винта. Отпустив вертикальные винты вращением горизонтальных винтов, перемещают сетку нитей до тех пор, пока ее центр не совпадет с наблюдаемой точкой. В процессе исправления рекомендуется сначала несколько отпустить противоположный винт, а затем ввинчивать нужный, чтобы сетка нитей была устойчиво закреплена. После устранения этой ошибки поверку прибора необходимо повторить.



Рис. 8. Юстировка для устранения коллимационной ошибки

### 3. Ось вращения трубы $NN_1$ должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита $ZZ_1$ .

Последовательность выполнения поверки (рис. 9):

- 1) теодолит располагают в 10–20 м от стены здания;
- 2) центр сетки нитей зрительной трубы наводят на высоко расположенную точку М ( $25\text{--}35^\circ$  к горизонту);
- 3) закрепляют горизонтальный круг;
- 4) наклоняют трубу примерно до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию центра сетки нитей  $m$ ;



5) переводят трубу через зенит и получают вторую проекцию  $m$  этой же точки  $M$ . Если проекции точки не совпадают менее чем на двойную ширину биссектора сетки нитей, то условие выполнено. В противном случае теодолит подлежит исправлению в мастерской (проекции  $m_1$  и  $m_2$ ).

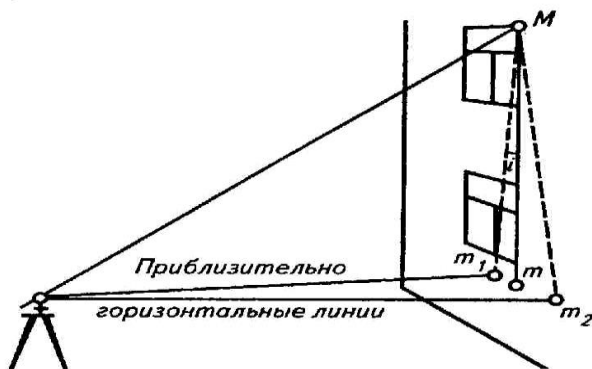


Рис. 9. Выполнение третьей поверки для теодолита

#### 4. Вертикальный штрих сетки нитей при вертикальном положении оси вращения теодолита должен занимать отвесное положение.

Последовательность выполнения поверки:

1) устанавливают вертикальную ось вращения теодолита в отвесное положение. В отвесное положение вертикальную ось теодолита приводят следующим образом. Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и пузырек уровня приводят в нуль-пункт. Алидаду поворачивают на  $90^\circ$  и пузырек снова приводят на середину третьим подъемным винтом. Такие действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет уходить от середины более чем на одно деление;

2) наводят центр сетки нитей на какую-нибудь точку и зажимают горизонтальный круг закрепительным винтом;

3) вращают трубу вокруг ее горизонтальной оси. Если при этом вертикальная сетка нитей не сходит с изображения точки, то условие считается выполненным (рис. 10, а).

В противном случае (рис. 10, б) проводят юстировку: разворачивают оправу пластинки с сеткой нитей, предварительно слегка

ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы так, чтобы данное условие выполнялось (рис. 10, в).

После этого необходимо повторить вторую проверку.

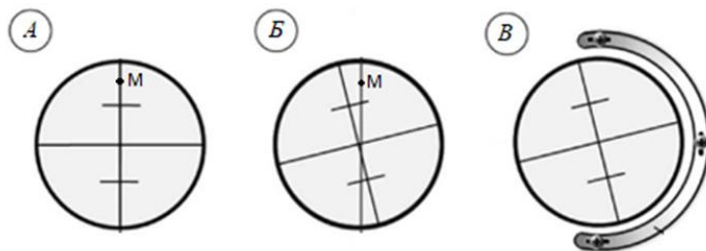


Рис. 10. Выполнение четвертой проверки для теодолита

## 5. Определение места нуля вертикального круга $M_0$ и приведение его к значению, близкому к нулю.

Место нуля  $M_0$  – это отсчет по лимбу вертикального круга при горизонтальном положении визирной оси в момент нахождения пузырька уровня горизонтального круга в нуль-пункте (рис. 11).

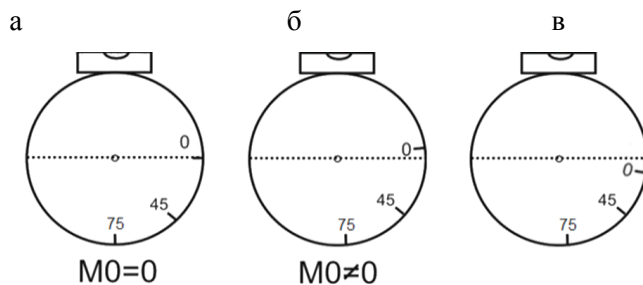


Рис. 11. Место нуля вертикального круга

Определение места нуля:

1) при двух положениях вертикального круга наводят центр сетки нитей на хорошо видимый предмет и оба раза берут отсчеты по шкале вертикального круга;

2) для теодолита 4Т30П значение  $M_0$  определяют по формуле

$$M_0 = \frac{КЛ + КП}{2}.$$

Вычисления вертикальных углов удобней производить при  $M_0$ , близком к нулю. Допустимое значение  $M_0$  2–3', обязательно имеет знак + или –. На рис. 11, б место нуля имеет положительное значение, на рис. 11, в – отрицательное.

Юстировка:

- для исправления положения  $M_0$  на вертикальном круге устанавливают отсчет КЛ -  $M_0$ ;

- при этом средний штрих сетки нитей сместится с наблюдаемой точки. Совмещения его с точкой добиваются вращением вертикальных исправительных винтов сетки.

Для контроля поверку повторяют. При выполнении этой поверки следят, чтобы пузырек уровня находился на середине.

### 2.1.4. Измерение горизонтальных углов теодолитом способом приемов

Измерение горизонтальных углов теодолитом предполагает установку прибора в вершине определяемого угла Ст. (станция, рис. 12).

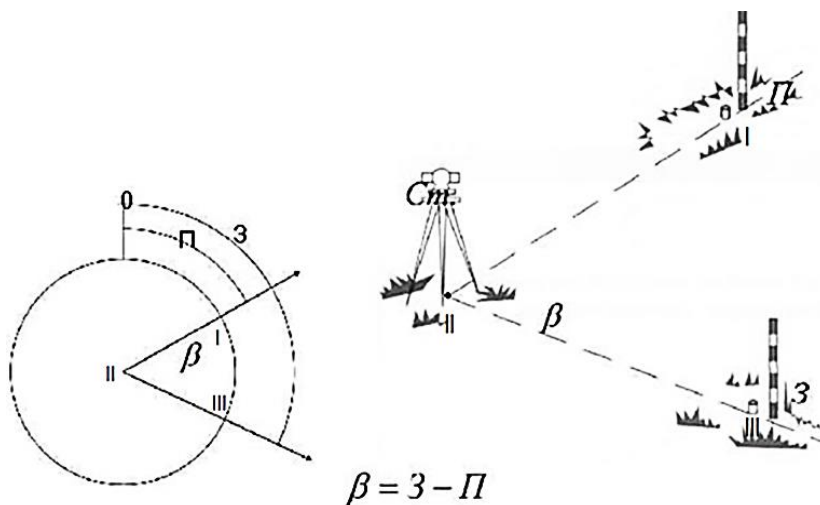


Рис. 12. Схема измерения горизонтального угла способом приемов

Для этого сначала ставят штатив так, чтобы центр площадки для установки штатива был примерно над точкой, а плоскость площадки – горизонтальна. Только после этого теодолит закрепляют на штативе, центрируют и горизонтируют прибор.

**Центрирование прибора** (рис. 13) – это проецирование оси вращения алидады и лимба по отвесной линии на вершину определяемого угла с точностью для механического отвеса  $\pm 5$  мм. Сначала проводится центрирование штатива с помощью механического отвеса с точностью 10–15 мм. При этом необходимо установить штатив горизонтально, чтобы регулировка подъемных винтов позволила произвести горизонтирование прибора. При установке прибора на штатив, производим окончательное центрирование теодолита, передвигаем теодолит, ослабив становой винт.

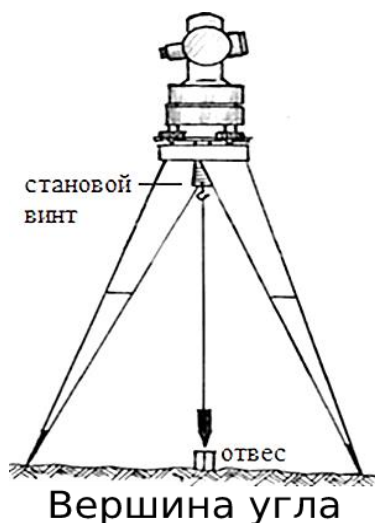


Рис. 13. Центрирование теодолита

**Горизонтирование прибора** – это последовательное горизонтирование плоскости лимба горизонтального круга и приведение вертикальной оси вращения в отвесное положение. Процесс горизонтирования контролируется по цилиндрическому уровню алидады горизонтального круга и производится посредством подъемных винтов теодолита 1, 2, 3 (рис. 14).

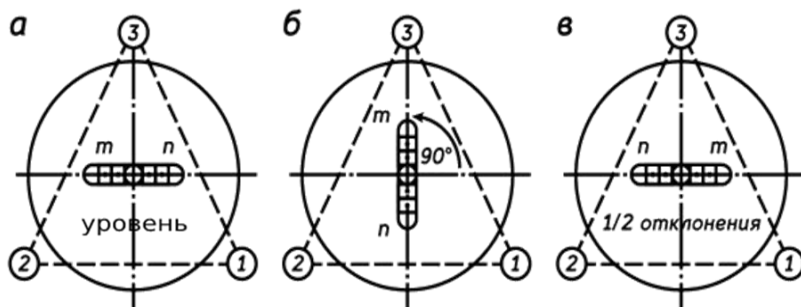


Рис. 14. Горизонтирование теодолита с помощью подъемных винтов и цилиндрического уровня

Поворачивая алидаду, направляют ось уровня по двум подъемным винтам и перемещают пузырек уровня в центр, вращая винты 1 и 2 в противоположные стороны (рис. 14, а). Затем следует повернуть алидаду на  $90^\circ$  и, используя третий подъемный винт, вновь перевести пузырек в нуль-пункт (рис. 14, б). Действия необходимо повторять до тех пор, пока пузырек не станет сходиться с середины при всех позициях алидады горизонтального круга (рис. 14, в). Допустимое его отклонение – не больше двух делений шкалы цилиндрического уровня [4].

После установки теодолита в рабочее положение (операции центрирования и горизонтирования) приступают к измерению горизонтального угла способом приемов (см. рис. 12). Для теодолитной съемки измеряют правые по ходу углы. Измерение углов выполняют при круге «право» и «лево». На две смежные точки (З – задняя точка, П – передняя) выставляют вешки, которые заглубляются в землю строго в створе линии за кольшком (обозначенной точкой). Затем производят визирование на точку (рис. 15). **Визирование** – совмещение центра сетки нитей с точкой. **Сетка нитей** – это стеклянная пластина объектива зрительной трубы с нанесенными на нем линиями. Пересечение средних линий называют центром сетки нитей (см. рис. 3, рис. 15).

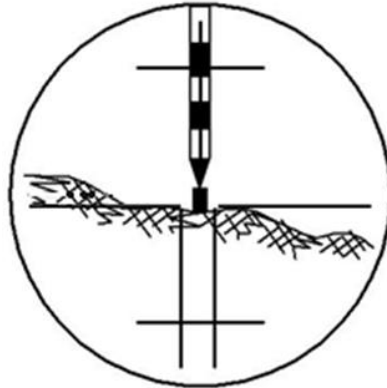


Рис. 15. Наведение центра нитей на точку при измерении горизонтального угла

Для визирования теодолита на точку необходимо:

- 1) закрепить лимб горизонтального круга;
- 2) открепить алидаду горизонтального круга, для того чтобы по грубому визиру, расположенному сверху зрительной трубы, установить прибор примерно на искомую заднюю точку;
- 3) закрепить алидаду;
- 4) для наблюдения установить зрительную трубу так, чтобы сетка нитей имела резкое изображение. Эта операция называется установкой по глазу и производится вращением окулярного кольца;
- 5) установить зрительную трубу так, чтобы точка визирования была видна наилучшим образом. Эта операция называется фокусировкой – установкой по предмету – и производится вращением кремальеры;

б) навести центр сетки нитей точно на точку визирования посредством наводящих винтов алидады и зрительной трубы. В том случае, когда вертикальный круг оказывается с правой стороны от трубы, если смотреть со стороны окуляра, говорят «круг право» (КП), когда вертикальный круг оказался слева – «круг лево» (КЛ).

Для измерения горизонтальных углов  $\beta$  способом приемов необходимо перекрестие сетки нитей совместить с самой нижней видимой точкой рейки так, чтобы вертикальная нить совпала с осью рейки для избегания ошибок из-за наклона (см. рис. 12).

Затем выполняют такую последовательность действий (первый полуприем при КЛ). Все отсчеты и вычисления заносят в табл. 5:

1) наводят центр сетки нитей на заднюю точку З и снимают отсчет по лимбу горизонтального круга – отсчет З =  $270^{\circ}15'$  и записывают в четвертый столбец;

2) наводят на переднюю точку П, снимают отсчет П =  $36^{\circ}54'$  и записывают в четвертый столбец (см. табл. 5);

3) определяют значение угла при круге лево  $\beta_{кл} = З - П$ . В табл. 5  $\beta_{кл} = 270^{\circ}15' - 36^{\circ}54' = 233^{\circ}21'$ .

Последовательность действий при втором полуприеме КП:

1) ослабляют зажимной винт вертикального круга – разблокируют зрительную трубу, которую переводят через положение зенита (наивысшая верхняя точка);

2) затем разблокируют алидаду горизонтального круга и поворачивают прибор на  $180^{\circ}$ , таким образом вертикальный круг будет находиться справа от окуляра зрительной трубы для второго полуприема (КП);

3) производят визирование и измерение аналогично первому полуприему, записывают в табл. 5 значения отчетов  $185^{\circ}42'$  и  $312^{\circ}20'$  (для З и П соответственно);

*Таблица 5*

Журнал измерения горизонтальных углов

Точки стояния (станции)	Круг	Точки визирования	Горизонтальный круг, град. и мин		
			Отсчет	Измеренный угол в полуприеме $\beta_{кл}$ или $\beta_{кп}$ , град и мин	Измеренный средний угол $\beta_{виз.ср.}$ , град и мин
1	2	3	4	5	6
I	КЛ	З	$270^{\circ}15'$	$233^{\circ}21'$	$233^{\circ}21,5'$
		П	$36^{\circ}54'$		
	КП	З	$185^{\circ}42'$	$233^{\circ}22'$	
		П	$312^{\circ}20'$		
II	КЛ	З	$121^{\circ}28'$	$130^{\circ}54'$	$130^{\circ}53,5'$
		П	$350^{\circ}34'$		
	КП	З	$21^{\circ}35'$	$130^{\circ}53'$	
		П	$250^{\circ}42'$		

4) определяют значение угла при круге право  $\beta_{\text{кп}} = 3 - \text{П}$ .  $\beta_{\text{кп}} = (185^{\circ}42' + 360^{\circ}) - 312^{\circ}20'$ . Для исключения получения отрицательных горизонтальных углов к отсчету на заднюю точку прибавляют  $360^{\circ}$ , если отсчет 3 меньше, чем П. Вычисляют  $\beta_{\text{кп}} = 233^{\circ}22'$ .

Различия в значениях угла в двух полуприемах ( $C = |\beta_{\text{кл}} - \beta_{\text{кп}}|$ ) не должно превышать двойной точности прибора ( $t$ ):  $C < 2t$ .

Для теодолита 4Т30П двойная точность составляет одну минуту. Окончательное значение угла принимается как среднее из двух полуприемов и записывается в столбец 6 табл. 5:

$$\beta_{\text{изм.ср}} = \frac{\beta_{\text{кл}} + \beta_{\text{кп}}}{2}.$$

Пример (см. табл. 5):  $\beta_{\text{изм.ср}} = (233^{\circ}21' + 233^{\circ}22')/2$ ,  
 $\beta_{\text{изм.ср}} = 233^{\circ}21,5'$ .

### 2.1.5. Измерение вертикальных углов теодолитом

Вертикальный угол – это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости. К вертикальным углам (рис. 16) относятся угол наклона  $v$  и зенитное расстояние  $Z$ . Угол между горизонтальной плоскостью и направлением линии местности (линией визирования) называется **углом наклона** и обозначается буквой  $v$ . Углы наклона бывают положительные ( $v > 0$ ) и отрицательные ( $v < 0$ ). Вертикальный угол между отвесной линией и линией визирования называется **зенитным расстоянием  $Z$** . Зенитные расстояния всегда положительные. Если угол наклона положительный, то соблюдается следующее равенство:

$$Z + v = 90^{\circ}.$$

Одновременно с измерением горизонтальных углов ведут измерение вертикальных углов – углов наклона. Отсчет по вертикальному кругу при визировании на одну и ту же точку при разных положениях вертикального круга относительно зрительной трубы должен иметь одинаковую величину, но отличаться противоположным знаком. Истинное значение угла наклона определяется при положении КЛ. Деления на лимбе вертикального круга теодолита 4Т30П нанесены в виде секторной оцифровки от 0 до  $75^{\circ}$  и от 0 до  $-75^{\circ}$ . Полный



прием измерения угла наклона состоит из измерений в положениях «круг лево» и «круг право».

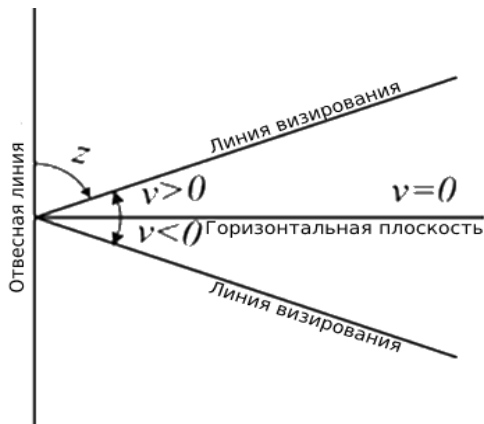


Рис. 16. Вертикальные углы

Измерение вертикальных углов выполняют в следующем порядке:

1) проводят центрирование теодолита, если это было не сделано раньше при измерении горизонтальных углов;

2) в процессе выполнения каждого полуприема теодолит горизонтируют. Рекомендуем начинать измерения при «круге лево»;

3) измеряют высоту инструмента  $i$  (расстояние по отвесной линии от центра кремальеры до закрепленной точки, над которой установлен теодолит) и отмечают ее на рейке (рис. 17). Высоту инструмента на рейке удобно отмечать тонкой круглой резинкой;

4) центр сетки нитей переводят на высоту инструмента, ранее отмеченную на рейке, после чего вновь приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину (если произошло смещение). Закрепительными винтами фиксируют положение алидад горизонтального и вертикального кругов, затем, используя наводящие винты, производят точное совмещение визирной цели и средней горизонтальной нити сетки;

5) делают отсчет КЛ по вертикальному кругу и записывают в табл. 6 (КЛ =  $1^{\circ}23'$ );

6) затем переводят зрительную трубу через зенит и снова наводят горизонтальную нить на тот же объект, приводят уровень

на середину и делают отсчет КП по вертикальному кругу ( $КП = -1^{\circ}22'$ ).

Если с одного пункта наблюдают несколько объектов, их разбивают на группы по два – четыре объекта и в каждом приеме измеряют вертикальные углы на все объекты группы сначала при одном положении вертикального круга, а затем при втором его положении.

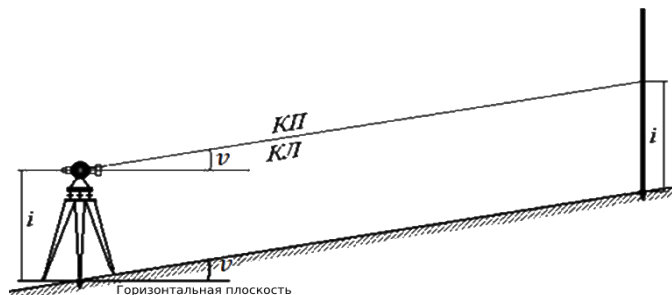


Рис. 17. Измерение вертикальных углов

Таблица 6

### Журнал измерения вертикальных углов

Точки стояния (станции)	Место нуля вертикального круга $M_0$	Точки визирования	Положение круга	Отсчет по вертикальному кругу	Угол наклона $v_{кп}, v_{кл}$	Средний угол наклона
II	$M_0 = +0^{\circ}01'$	I	КЛ	$1^{\circ}23'$	$1^{\circ}22'$	$1^{\circ}22,5'$
		III	КЛ	$-0^{\circ}55'$	$-0^{\circ}56'$	$-0^{\circ}55,5'$
		I	КП	$-1^{\circ}22'$	$1^{\circ}23'$	–
		III	КП	$0^{\circ}56,5'$	$-0^{\circ}55,5'$	–

Вычисление значений вертикальных углов выполняют следующим образом:

- 1) определяют место нуля вертикального круга  $M_0$  (п. 2.1.3);
- 2) по измеренным отсчетам КЛ и КП вертикального круга вычисляют углы наклона для теодолита 4Т30П:

$$v_{кл} = КЛ - M_0, \quad v_{кп} = M_0 - КП.$$

Разница в численном значении угла не должна превышать двойной точности прибора, т. е. 1 мин:

$$|v_{кп}| - |v_{кл}| \leq 0^{\circ}01';$$

3) из двух полуприемов при «круге право» и при «круге лево» вычисляют среднее значение угла наклона:

$$v_{\text{ср}} = (v_{\text{кп}} - v_{\text{кл}})/2.$$

В нашем примере (см. табл. 6) вычислен угол наклона линии II–I. Измерение проводят теодолитом 4Т30П:

$$v_{\text{кл}} = 0^{\circ}01' - 1^{\circ}23', \quad v_{\text{кп}} = 0^{\circ}01' - (-1^{\circ}22'),$$

$$v_{\text{кл}} = -1^{\circ}22', \quad v_{\text{кп}} = 1^{\circ}23',$$

$$|1^{\circ}22'| - |1^{\circ}23'| \leq 0^{\circ}01',$$

$$v_{\text{ср}} = (-1^{\circ}22' - 1^{\circ}23')/2 = -1^{\circ}22,5'.$$

По аналогичному алгоритму вычислен угол наклона линии II–III.

В случае если высоту инструмента, отмеченную на вешке, не видно, то при измерении вертикальных углов визируют на верх вешки, обязательно измеряют и записывают длину вехи и высоту инструмента, что впоследствии необходимо знать для вычисления превышений между точками.

## 2.1.6. Поверки и исследования мерной ленты (рулетки)

1. Внешний осмотр – убедиться в отсутствии поломок в разных местах ленты, особенно в начале и в конце, и в отсутствии сильных перегибов; в случае наличия заклепок проверить непрерывность шкалы ленты.

2. Компарирование мерной ленты проводится по заданию руководителя практики.

Действительная длина мерного прибора  $l_p$  обычно отличается от номинальной, т. е. указанной на нем длины  $l_0$ . Сравнение длины рабочей ленты с известной длиной нормального (образцового) прибора (эталоны), имеющего установленную точность, называется **компарированием ленты**.

Устройство для компарирования называется компаратором. В полевых условиях на ровной местности с ровным грунтом на расстоянии-базисе 100–120 м закладывают бетонные столбики, расстояние между ними определяют с помощью хорошо выверенной

ленты или другими более точными приборами. Компарировать можно и с помощью хорошо выверенной ленты.

Компарирование производят следующим образом: рабочей лентой измеряют расстояние-базис 6–8 раз, сравнивают средний результат с эталоном и находят поправку  $\Delta l_k$  за компарирование. Длина ленты составит  $l_p = l_0 + \Delta l_k$ , в формуле ставим знак «+», если  $l_p > l_0$  (эталон), или знак «-», если  $l_p < l_0$  (эталон).

При необходимости учета температуры измеряют температуру компарирования  $t$ , тогда длина ленты составит:

$$l_p = l_0 \pm \Delta l_k + \alpha l_0 (t - t^\circ),$$

где  $t^\circ$  – нормальная температура компарирования +20 °С;

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент линейного расширения стальной ленты.

## 2.1.7. Полевые работы

### 2.1.7.1. Рекогносцировка местности и закрепление пунктов теодолитных ходов

**Рекогносцировка** представляет собой обход и осмотр местности с целью знакомства с объектами съемки, отыскания пунктов опорной геодезической сети, окончательного выбора местоположения точек теодолитных ходов на местности.

Точки теодолитных ходов должны располагаться в местах с хорошим обзором местности; между смежными вершинами теодолитного хода должна обеспечиваться хорошая взаимная видимость. При использовании мерных лент стороны следует располагать по ровным с твердым грунтом и удобным для измерений линиям местности. Длины сторон теодолитных ходов должны быть не менее 80 м и не более 200 м. При небольшой площади участка длины линий целесообразно выбирать примерно равными 100 м.

Обзор участка, на котором будут прокладываться теодолитные ходы, производят под руководством преподавателя. По заданию руководителя практики закладывается пятивершинный замкнутый теодолитный ход (вершины I–V). Через центр полигона устраивают диагональный (разомкнутый) ход с двумя вершинами

VI и VII, опирающийся на примычные углы  $\gamma_5$  и  $\gamma_3$ , вершины которых являются станциями для замкнутого хода V и III (рис. 18).

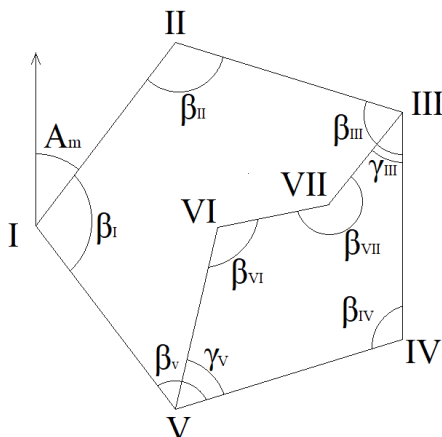


Рис. 18. Схема теодолитного хода

Для вычисления будут использоваться правые по ходу углы, поэтому нумерацию станций хода производят по часовой стрелке.

Окончательно выбранные точки закрепляют на местности деревянными колышками длиной 20–25 см на уровне земли и обозначают сторожками, на которых указывают номера вершин хода, группы и бригады (рис. 19). Высота сторожка над поверхностью земли составляет около 20 см. В верхние торцы колышков забивают гвоздь или обозначают на них перекрестие штрихов, которые будут являться центрами пунктов теодолитного хода. Возможны и другие варианты закладки и внешнего оформления пунктов теодолитного хода, применяемые по согласованию с руководителем практики.

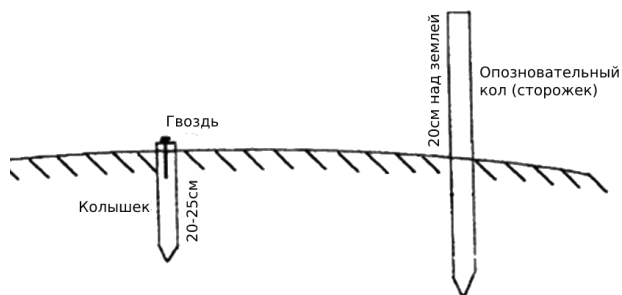


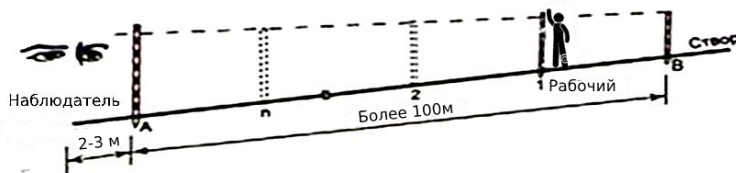
Рис. 19. Закрепление пункта теодолитного хода

### 2.1.7.2. Вешение линий

После рекогносцировки и закрепления точек бригада приступает к измерению длин линий. Если длина линии составляет более 100 м, ее необходимо провешить. Для этого намечают положение измеряемой линии, в ее конечных точках устанавливают вешки.

Вертикальная плоскость, проходящая через две точки местности, называется **створом**. Установка вешек в створе линии называется **вешением**. Вешки в створе выставляют на глаз при коротких отрезках линий или с помощью бинокля или теодолита при длинных отрезках. Для выполнения задания достаточно использовать 2 основных приема вешения (рис. 20).

#### Вешение линии "на себя"



#### Вешение линии "от себя" (продолжение линии)

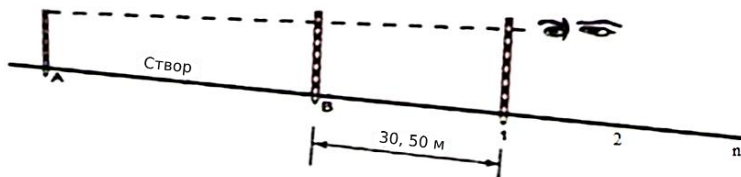


Рис. 20. Приемы вешения линий

Приемы вешения линий:

1 случай – вешение «на себя». Осуществляется вешение между крайними точками А и В, находящимися в пределах видимости. Первый исполнитель становится за вехой А, а второй по его командам устанавливает вехи 1, 2, ... n в «створе» линии АВ;

2 случай – вешение «от себя». Может осуществляться только одним исполнителем, который последовательно устанавливает вешки 1, 2, ... n в продолжении створа линии АВ. Способ менее точный, так как каждая следующая точка устанавливается менее точно, чем предыдущая.

После этого при необходимости вдоль линий в лесу прорубают визиры, открывающие достаточную видимость между смежными станциями.

### 2.1.7.3. Измерение длин линий теодолитного хода рулеткой

Измерение линий производят строго в створе между двумя соседними вешками в прямом ( $L_{пр}$ ) и обратном ( $L_{обр}$ ) направлениях.

Расхождение результатов двух измерений (относительное расхождение) не должно превышать допустимой величины.

$$L_{ср} = \frac{L_{пр} - L_{обр}}{2} - \text{средняя измеренная длина линии,}$$

$\frac{L_{пр} - L_{обр}}{L_{ср}} \leq \frac{1}{1000}$  – относительное расхождение при неблагоприятных условиях измерения,

$$\frac{\Delta L}{L_{ср}} \leq \frac{1}{2000} - \text{при благоприятных условиях измерения.}$$

В измерении расстояния мерной лентой (рулеткой) участвуют 4 чел.: два мерщика, один ведущий записи и один человек с вешкой. Процесс измерения одного расстояния включает следующие операции [5]:

- человек с вешкой, уходит на конец линии и там встает над центром пункта;

- передний мерщик берет конец рулетки (ленты) и идет по створу линии;

- по команде заднего мерщика он останавливается и по его сигналам, смещаясь вправо-влево, встает в створ линии с точностью до 20 см;

- задний мерщик прикладывает начало рулетки (нуль ленты) к центру пункта; передний мерщик встряхивает ленту, натягивает и против последнего штриха рулетки вертикально втыкает гвоздь в

землю, асфальт, дерево или прочерчивает линию (отметку) мелом, краской на твердых покрытиях;

– оба мерщика встают и синхронно идут вперед по створу линии;

– у воткнутого в землю гвоздя (отметки) задний мерщик дает команду остановиться и операции (установки переднего мерщика в створ, прикладывания нулевого деления к отметке (гвоздю), встряхивания ленты, ее натяжения и фиксации отметки) повторяются;

– в конце линии измеряют домер (остаток), т. е. расстояние от последней воткнутой в землю шпильки до центра пункта конца линии;

– ведущий записи идет вместе с мерщиками и считает количество уложенной ленты; он же записывает в журнал значение домера. Параллельно с записями составляется абрис.

**Абрис** – схематически зарисованный чертеж участка местности с указанием измеренных расстояний, взаимного расположения точек, подробностей территории, необходимых для составления точного плана.

Пройдя весь теодолитный ход в прямом направлении, выполняют обратный ход, повторяя все измерительные операции. За измеренное значение линии принимают среднее из двух измерений (прямо и обратно), если они различаются не более чем на 1/1000 от длины линии (10 см на каждые 100 м). Для исключения просчетов при измерении расстояний мерной лентой рекомендуется заранее измерить длины сторон теодолитного хода с помощью нитяного дальномера (во время измерения горизонтальных углов).

Измеряемая линия может иметь различные углы наклона. Поэтому горизонтальное проложение каждой части измеряемой линии с углом наклона  $v$  более  $2^\circ$  рассчитывается по формуле

$$L_0 = L_{\text{ср}} \cos v.$$

Углы наклона  $v$  могут быть измерены эклиметром, горным компасом или теодолитом. Абсолютное расхождение определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{абс}} = /L_{\text{пр}} - L_{\text{обр}}/.$$

Образец ведения записей и обработки результатов линейных измерений приведен в табл. 7.



Таблица 7

Ведомость горизонтальных проложений

Но- мер ли- нии	Прямой ход $L_{пр}$ , м	Обрат- ный ход $L_{обр}$ , м	Сред- няя длина линий $L_{ср}$ , м	Угол наклона $\nu$	Гори- зонт. проло- жения $L_0$ , м	Расхождение	
						абсо- лют- ное	отно- ситель- ное
1–2	125,45	125,51	125,48	3°10	125,29	0,06	1/2100
2–3	171,68	171,60	171,64	2°30	171,48	0,08	1/2150
3–4	136,16	139,14	139,18	0°	139,18	0,05	1/2800

Все вычисления следует выполнять с точностью до миллиметра, а затем округлить  $L$  до сантиметров.

На ровной местности ( $\nu$ ) поправку за наклон линии не вычисляют и принимают ее равной нулю. Знаки у углов не ставятся.

**2.1.7.4. Измерение углов в теодолитном ходе**

На всех точках замкнутого и диагонального теодолитных ходов измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Горизонтальные углы в полигоне измеряют внутренние, правые по ходу. Измерение правых по ходу углов предпочтительнее, так как использование левых по ходу углов требует внесения корректировок в приведенные формулы для расчета углов.

Детальное описание работы на станциях по измерению углов приведено в пп. 2.1.4 и 2.1.5. Образец ведения записей измерений и вычисления углов приводится в табл. 8.

**2.1.7.5. Способы съемки подробностей**

При проведении теодолитной съёмки параллельно с измерением горизонтальных и вертикальных углов различными способами ведётся съёмка подробностей (контурная съёмка).

Подробно способы съёмки ситуации рассмотрены в табл. 9.

При всех способах съёмки ведется абрис.

Абрис – схематический чертеж местности, служит основным съемочным документом, на основе которого составляется план местности.

Таблица 8

Образец заполнения журнала измерения углов, длин линий и превышений

Теодолит 4Т30П

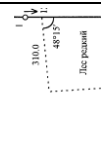
Точки стояния	Круг	Точки визирования			Горизонтальный круг			Отсчет по вертикальному кругу	Угол наклона	Длина линий $L_{np}$ , $L_{opr}$ , м		Средняя длина линии $L_{cp}$ , м	Горизонт. проложения $L_0$ , м	Расхождение	Превышение	Высота станций, м	Абрис	
		Осчет з/п	Изм. угол $\beta_{кп}$	Изм. сред. угол $\beta_{изм-ср}$	7	8	9			10	11							12
I	КЛ	V	170°15'	133°21'	133°21,5'	-	-	(1-2)	125,48	125,29	0,06	2,61	100,00			14		
		II	36°54'															125,45
$M_0 = 0°00'$	КП	V	85°42'	133°22'	133°21,5'	-	-	125,51	+1°11,5'	(2-3)	101,68	101,64	101,48	0,08	-1,08	102,65		
		II	312°20'															
II	КЛ	I	121°8'	130°54'	130°53,5'	-	-	101,60	-0°36,5'	(2-3)	101,68	101,64	101,48	0,08	-1,08	102,65		
		III	350°34'															
$M_0 = 0°00'$	КП	I	21°35'	130°53'	130°53,5'	-	0°37'	101,60	-0°36,5'	(2-3)	101,68	101,64	101,48	0,08	-1,08	102,65		
		III	250°42'															

Таблица 9

Применение и последовательность измерений при различных способах съемки подробностей (ситуации)

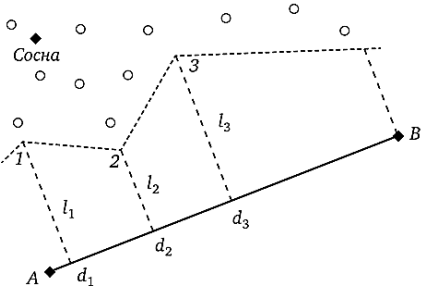
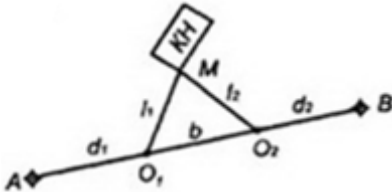
Схема	Процесс измерения
<p data-bbox="263 292 879 316">Способ перпендикуляров (ординат или прямоугольных координат)</p> 	<p data-bbox="599 316 994 339">Применяется на открытой местности для съемки контуров вытянутой формы и местных предметов, расположенных вблизи сторон теодолитного хода. Сторона теодолитного хода (например, АВ) принимается за ось абсцисс, а точка А – за начало координат. Положение снимаемых точек 1, 2, 3 определится длинами перпендикуляров <math>l_1, l_2, l_3</math> и расстояниями <math>d_1, d_2, d_3</math> от точки теодолитного хода до основания соответствующего перпендикуляра. Следовательно, для каждой характерной точки контура местности определяются прямоугольные координаты (абсциссы <math>d_1, d_2, d_3</math> и ординаты <math>l_1, l_2, l_3</math>), по которым эти точки можно нанести на план.</p> <p data-bbox="599 710 994 906">Измерение расстояний <math>d_1, d_2, d_3</math> производится стальной мерной лентой, укладываемой по створу линии АВ, а длин перпендикуляров <math>l_1, l_2, l_3</math> – рулеткой. Перпендикуляры небольшой длины (4–8 м при съемках масштабов 1:500 – 1:2000) определяют на глаз, а при большей их длине – с помощью экера</p>
<p data-bbox="453 906 688 930">Способ линейных засечек</p> 	<p data-bbox="599 938 994 1351">Применяется при съемке доступных объектов с четкими очертаниями (здания, инженерные сооружения и т. п.), расположенных вблизи сторон теодолитного хода. Для этого на стороне теодолитного хода АВ выбирают две вспомогательные точки <math>O_1</math> и <math>O_2</math>, отрезок <math>b</math> между ними является базисом. Из точек <math>O_1</math> и <math>O_2</math> лентой или рулеткой измеряют расстояния <math>l_1</math> и <math>l_2</math> до снимаемой точки М. Пересечение линейных засечек отрезками <math>l_1</math> и <math>l_2</math> определит положение точки М на плане. При линейных засечках форма треугольника <math>O_1MO_2</math> должна быть по возможности близка к равносторонней, угол <math>O_1MO_2</math> иметь величину 30–150°, а длины сторон не превышать длину мерного прибора</p>

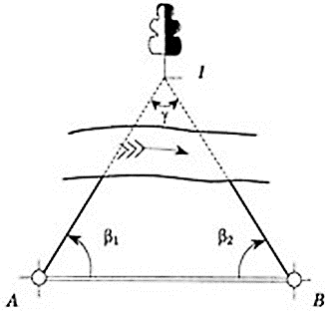
Схема	Процесс измерения
<b>Способ угловых засечек</b>	
	<p>Используется при съемке труднодоступных точек (противоположный берег реки, речки, оврага) или отдельных предметов (столбов, отдельных деревьев, опоры ЛЭП и т. п.), которые находятся на значительном расстоянии, и применение других способов невозможно.</p> <p>Для определения положения точки I измеряются два угла <math>\beta_1</math> и <math>\beta_2</math>, которые примыкают к базису АВ. Базисом может служить сторона теодолитного хода или два пункта съёмочного обоснования, между которыми есть видимость. Углы <math>\beta_1</math> и <math>\beta_2</math> должны примыкать к базису в пределах <math>30-150^\circ</math>, измеряются одним полуприёмом с точностью до <math>1'</math>. Основное требование, которое относится к угловой засечке, заключается в том, чтобы угол <math>\gamma</math> у снимаемой точки был прямым. На плане от линии АВ строят углы <math>\beta_1</math> и <math>\beta_2</math> с помощью транспортира и на пересечении этих направлений получают плановое положение точки I</p>
<b>Способ полярных координат (полярных направлений)</b>	
	<p>Применяется на открытой местности для съемки отдельных местных предметов и характерных точек контуров, удаленных от теодолитного хода. Сторона теодолитного хода АВ принимается за полярную ось, а вершина А (или В) – за полюс. Для определения планового положения точек 1 и 2 достаточно измерить горизонтальные углы <math>\beta_1</math> и <math>\beta_2</math> между исходным направлением и направлениями на снимаемые точки, а также расстояния <math>l_1</math>, <math>l_2</math> до этих точек.</p> <p>Горизонтальные углы измеряются техническим теодолитом одним полуприёмом, а расстояния – стальной лентой, нитяным или оптическим дальномером. Точкой установки теодолита при съемке ситуации полярным способом может служить одна из вершин теодолитного хода (точка А или В) либо вспомогательная опорная точка на его стороне – точка О</p>

Схема	Процесс измерения
Способ обхода	
	<p>Применяется на закрытой местности для съемки важных объектов, которые из-за дальности и местных препятствий не могут быть засняты от вершин и сторон основного теодолитного хода.</p> <p>В этом случае вокруг снимаемого объекта прокладывают дополнительный съемочный ход 1-2-3-4-5, который привязывают к основному ходу. Углы в съемочном ходе измеряют одним полу приемом, а стороны – стальной лентой или с помощью нитяного дальномера (в коротких ходах).</p> <p>Границы контура снимают от сторон съемочного хода способом перпендикуляров.</p> <p>Если контур снимаемого объекта имеет прямолinéйные границы (сельскохозяйственные угодья, лесонасаждения, застройки и т. п.), то съемочный ход прокладывают непосредственно по границам объекта. В этом случае ход будет являться контуром снимаемого объекта</p>
	<p>Применяется в случаях, когда границы ситуации пересекают стороны теодолитного хода или продолжение сторон.</p> <p>Положение снимаемых точек 1, 2, 3 определится линейными промерами <math>d_1</math>, <math>d_2</math>, <math>d_3</math>. Способ створов находит широкое применение при съемке застроенных территорий, особенно в сочетании его со способами перпендикуляров и линейных засечек</p>

В процессе съемки исполнитель должен постоянно изучать ситуацию и фиксировать ее на абрисе, не допуская пропусков в записях результатов измерений. Размер абриса должен обеспечивать четкое и удобное расположение на нем всех построений и записей. Абрисы должны быть оформлены качественно, чтобы в них мог легко разобраться другой исполнитель, не принимавший участия в съемке данного участка местности [6].

## 2.1.8. Камеральные работы теодолитной съемки

Камеральные работы начинают с тщательной проверки вычислений средних значений горизонтальных и вертикальных углов и длин линий в полевых журналах, определения фактических и допустимых ошибок, только после этого данные полевых журналов используют для дальнейших вычислений.

### 2.1.8.1. Вычисление горизонтальных проложений

Пример обработки линейных измерений вычислением горизонтальных проложений линий описан в п. 2.1.7.3 и представлен в табл. 7 и 8.

### 2.1.8.2. Вычисление высотных отметок точек хода

По вычисленным углам наклона и измеренным длинам линий  $L_{\text{ср}}$  определяют **превышения** между точками по формуле

$$h_{\text{выч}} = L_{\text{ср}} \sin \nu.$$

Знак превышения будет соответствовать знаку угла наклона. Подсчитывают алгебраическую сумму превышений, которая в замкнутом полигоне будет являться **фактической невязкой**  $f_h$  в определении превышений:

$$f_h = \Sigma h_{\text{выч}}.$$

**Допустимую невязку**, см, в превышениях определяют по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = 20 \sqrt{L},$$

где  $L$  – длина хода (периметр замкнутого хода), км.

$$L = \Sigma L_{\text{ср}}.$$

Фактическую невязку  $f_h$  распределяют на превышения пропорционально длинам сторон с обратным знаком.

$$\text{Поправка в превышения } V = -\frac{f_h L_{\text{ср}}}{L}.$$

Контроль: сумма исправленных превышений должна быть равна нулю:

$$\Sigma h_{\text{исп}} = 0.$$

Зная высоту исходной точки (станция I), которая задается преподавателем, вычисляют последовательно высоты всех точек полигона:

$$H_n = H_{n-1} + h_{n-1, \text{исп}},$$

где  $H_n$  – высота искомой точки;

$H_{n-1}$  – высота предыдущей точки;

$h_{n-1, \text{исп}}$  – исправленное превышение между этими точками.

Получение исходной высоты в конце вычисления является контролем. В нашем примере (см. рис. 18)

$$H_I = H_V + h_{V-I}.$$

Превышения и высоты вычисляют с точностью до 0,01 м.

### **2.1.8.3. Вычисление угловых невязок и уравнивание замкнутого полигона**

Для вычисления координат пунктов теодолитного (замкнутого) хода необходимо заполнить исходными данными табл. 10, рассчитать угловые невязки, уравнять горизонтальные углы, вычислить дирекционные углы и приращения координат, подсчитать и распределить линейные невязки.

В ведомость вычисления координат точек съемочного обоснования (см. табл. 10) в колонку 1 записаны номера станций (или место установки теодолита или вершины теодолитного хода), в колонку 2 – номера предыдущей и последующей вершин теодолитного хода – точки визирования, а в колонку 3 – средние значения измеренных углов на каждой точке хода, взятые из журнала измерения углов и длин линий (в нашем задании всего 5 значений записываем напротив каждой станции).

Таблица 10

Вычисление координат точек съёмочного обоснования (замкнутый ход)

Номера точек	Гориз. углы			Дирекц. углы $\alpha$	Гориз. пролож. $L_0$ , м	Приращения координат, м					Координаты, м		Номера точек		
	измер. $\beta_{изм}$	поправки в измеренные углы	исправл. $\beta_{испр}$			вычисл.		исправл.			X	Y			
Створия	визиров.					$\Delta x$	$\Delta y$	Поправки $V_x$	Поправки $V_y$	$\Delta x$	$\Delta y$				
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	I														I
III	II														II
IV	III														III
V	IV														IV
I	I														V
Итого:				540°00'		P	$f_x = \Sigma \Delta x$	$-f_x$	$f_y = \Sigma \Delta y$	$-f_y$	$\Sigma \Delta x = 0$	$\Sigma \Delta y = 0$			

$\Sigma \beta_{теор} = 180^\circ(n-2) =$	$f\beta_{доп} = 2t\sqrt{n} =$	$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} =$	$f_{отп} = \frac{1}{1000}$
$f\beta = \Sigma \beta_{измер} - \Sigma \beta_{теор} =$	$f\beta \leq f\beta_{доп} =$	$f_{отп} = \frac{f_{абс}}{P} =$	$f_{отп} \leq \frac{1}{1000}$
		$f_x = \Sigma \Delta x =$	$f_y = \Sigma \Delta y =$



По измеренным средним значениям горизонтальных углов вычисляют их сумму  $\sum \beta_{\text{изм.ср}}$  (см. табл. 10) и определяют угловую невязку  $f_{\beta}$  по формуле

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм.ср}} - \sum \beta_{\text{теор}},$$

где  $\sum \beta_{\text{теор}}$  – теоретическая сумма углов замкнутого полигона, вычисленная по формуле  $\sum \beta_{\text{теор}} = 180^{\circ}(n - 2)$ ,  
 $n$  – число вершин полигона.

В нашем задании необходимо заложить пятиугольный полигон, поэтому теоретическая сумма углов равна:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^{\circ}(5 - 2) = 540^{\circ}00'.$$

Фактическую угловую невязку сопоставляют с допустимой, которая должна удовлетворять условию  $f_{\beta} \leq f_{\beta\text{доп}}$ .

Допустимую угловую невязку определяют по формуле

$$f_{\beta\text{доп}} = 2t\sqrt{n},$$

где  $t$  – точность взятия отсчета (для теодолита 4Т30П – 30"), в нашем случае

$$f_{\beta\text{доп}} = 2t\sqrt{5} = 2,24'.$$

Полученную угловую невязку  $f_{\beta}$  в виде поправок распределяют в измеренные углы с противоположным знаком, причем большую вводят в углы с короткими сторонами:

$$\beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + \text{поправка в измеренные углы}.$$

Все угловые значения и поправки считаются с точностью до одной минуты. У всех поправок и невязок обязательно указывается знак «+» или «-». Для контроля проверяют сумму исправленных углов, которая должна быть равной:

$$\sum \beta_{\text{испр}} = \sum \beta_{\text{теор}}.$$

## 2.1.8.4. Вычисление дирекционных углов полигона

В точке I теодолитного хода с помощью ориентир-буссоли, имеющейся в комплекте теодолита или буссоли геодезической, измеряется **магнитный азимут** стороны I–II. **Дирекционный угол** этой стороны получаем увеличением полученного азимута на величину магнитного склонения (в районе Екатеринбурга склонение восточное  $11^{\circ}59'46'' \approx 12^{\circ}$  на 2022 г.).

Вычисление дирекционных углов последующих сторон полигона производят по следующим формулам:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^{\circ} - \beta_n \text{ (при правых углах),}$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^{\circ} + \beta_n \text{ (при левых углах).}$$

Для наших вычислений используется формула для правых углов:

$$\alpha_{II-III} = \alpha_{I-II} + 180^{\circ} - \beta_2 \text{ испр.};$$

$$\alpha_{III-IV} = \alpha_{II-III} + 180^{\circ} - \beta_3 \text{ испр.};$$

$$\alpha_{IV-V} = \alpha_{III-IV} + 180^{\circ} - \beta_4 \text{ испр.};$$

$$\alpha_{V-I} = \alpha_{IV-V} + 180^{\circ} - \beta_5 \text{ испр.}$$

Если вычисленный дирекционный угол окажется более  $360^{\circ}$ , то из величины этого дирекционного угла необходимо вычесть  $360^{\circ}$ .

Контролем вычисления дирекционных углов является повторное получение дирекционного угла исходной стороны  $\alpha_n$ :

$$\alpha_{I-II} = \alpha_{V-I} + 180^{\circ} - \beta_1 \text{ испр.}$$

## 2.1.8.5. Вычисление приращений и координат точек

Все расчеты заносятся в табл. 10.

По вычисленным дирекционным углам  $\alpha$  и горизонтальным проложениям линий  $L_0$  определяют приращения координат (численная разность по абсциссам и ординатам двух смежных точек хода, рис. 21) с точностью до 0,01 м:

$$\Delta x_{\text{выч}} = L_0 \cos \alpha;$$

$$\Delta y_{\text{выч}} = L_0 \sin \alpha.$$

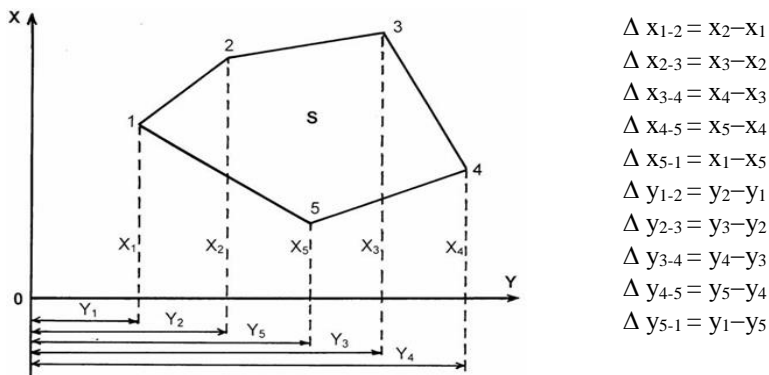


Рис. 21. К определению координат вершин хода

При вычислении на калькуляторе знаки приращений (плюсы или минусы) появляются автоматически. Вторым вариантом для определения численных значений приращений является использование специальных таблиц приращения координат.

В этом случае для установления знаков приращений  $\Delta x$  и  $\Delta y$  можно воспользоваться табл. 11.

*Таблица 11*

Определение знаков приращений координат

Четверть, дирекционные углы, град	Знаки приращения координат	
	$\Delta x$	$\Delta y$
I (0–90)	+	+
II (90–180)	–	+
III (180–270)	–	–
IV (270–360)	+	–

Затем подсчитывают линейные невязки  $f_x$  и  $f_y$  в приращениях:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч}}, \quad f_y = \sum \Delta y_{\text{выч}}.$$

Теоретическая сумма приращений координат в замкнутом полигоне должна быть равна нулю. По невязкам в приращениях координат вычисляют абсолютную линейную невязку всего замкнутого полигона;

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

Точность теодолитного хода будет определяться относительной невязкой, которая должна быть менее допустимой величины, т. е. 1/2000 при средних условиях измерения и 1/1000 при неблагоприятных.

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} \leq \frac{1}{1000} \dots \frac{1}{3000}.$$

где  $P$  – периметр теодолитного хода, м;

$f_{\text{отн}}$  – выражается правильной дробью с числителем, равным 1.

Если относительная ошибка превышает допустимую, проверяют полевой журнал и вычисления. Если при этом ошибка не будет обнаружена, необходимо проверить измеренные длины линий в натуре.

Допустимые  $f_x$  и  $f_y$  распределяют на все вычисленные значения  $\Delta x_{\text{выч}}$  и  $\Delta y_{\text{выч}}$  пропорционально длинам сторон с обратным знаком невязок, округляя поправки  $V_x$  и  $V_y$  до 0,01 м:

$$V_x = -f_x \frac{L_0}{P},$$

$$V_y = -f_y \frac{L_0}{P},$$

$$\Delta x_{\text{исп}} = \Delta x_{\text{выч}} + V_x,$$

$$\Delta y_{\text{исп}} = \Delta y_{\text{выч}} + V_y,$$

## Контроль

1. Суммы поправок  $\Sigma V_x$  и  $\Sigma V_y$  должны равняться величинам невязок  $f_x$  и  $f_y$ , но с обратным знаком:

$$\Sigma \Delta x = -f_x,$$

$$\Sigma \Delta y = -f_y.$$

2. Суммы исправленных приращений при этом должны быть равны нулю:

$$\Sigma \Delta x_{\text{исп}} = 0,$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{исп}} = 0.$$

По исправленным приращениям координат вычисляют последовательно координаты всех вершин полигона:

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x_{\text{исп}},$$

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y_{\text{исп.}}$$

## Контроль

По координатам последней (конечной) точки V ( $x_5, y_5$ ) замкнутого хода и исправленным приращениям координат должны быть получены координаты исходной (начальной) точки I ( $x_1, y_1$ ):

$$x_{1(\text{нач})} = x_{5(\text{конеч})} + \Delta x_{\text{исп.}}$$

$$y_{1(\text{нач})} = y_{5(\text{конеч})} + \Delta y_{\text{исп.}}$$

### **2.1.8.6. Уравнивание диагонального (разомкнутого) теодолитного хода**

В табл. 12 вписывают исходные данные: средние значения измеренных углов диагонального хода  $\beta_{VI}, \beta_{VII}$ , включая и примычные углы  $\gamma_5$  и  $\gamma_3$  (см. рис. 18), горизонтальные проложения линий, дирекционные углы начальной  $\alpha_{IV-V}$  и конечной  $\alpha_{III-IV}$  сторон хода и координаты точек, между которыми проложен диагональный ход. Угловую невязку диагонального хода  $f_\beta$  вычисляют по формулам

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - (\alpha_n - \alpha_k + 180^\circ n) \text{ (при правых углах);}$$

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{изм}} - (\alpha_k - \alpha_n + 180^\circ n) \text{ (при левых углах),}$$

где  $\sum \beta_{\text{изм}}$  – сумма измеренных углов диагонального хода, включая примычные;

$\alpha_n, \alpha_k$  – дирекционные углы начальной и конечной сторон хода;  
 $n$  – число углов хода, кроме примычных.

Для расчетов и измерений по нашему заданию используются правые по ходу углы.

Допустимая угловая невязка определяется по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 2t\sqrt{n},$$

где  $t$  – точность взятия отсчета (для теодолита 4Т30П – 30").

По исправленным углам вычисляют дирекционные углы сторон диагонального хода. По дирекционным углам и горизонтальным проложениям вычисляют приращения координат  $\Delta x_{\text{выч}}$  и  $\Delta y_{\text{выч}}$  (п. 2.1.8.5).

Таблица 12  
Вычисление координат точек съёмочного обоснования (разомкнутый – диагональный ход)

Номера точек	Гориз. углы		Дирекц. углы $\alpha$	Гориз. пролож. $L_0, M$	Приращения координат, м				Координаты, м		Номера точек			
	измер. $\beta_{изм}$	исправл. $\beta_{испр}$			вычисл.	исправл.	X	Y						
визиров.	измер. $\beta_{изм}$	исправл. $\beta_{испр}$	Дирекц. углы $\alpha$	Гориз. пролож. $L_0, M$	$\Delta x$	$\Delta y$	По-правки $V_{xi}$	По-правки $V_{yi}$	$\Delta x$	$\Delta y$	X	Y		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V		-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	
VI												$X_n$	$Y_n$	V
VII														VI
III														VII
IV												$X_k$	$Y_k$	III
Итого						$\Sigma \Delta x$	$-f_x$	$\Sigma \Delta y$	$-f_y$					IV

$f_{\beta} = \Sigma \beta_{изм} - (\alpha_n - \alpha_k + 180^\circ n) =$ $f_{\beta, доп} = 2t \sqrt{n} =$ $f_{\beta} \leq f_{\beta, доп} \text{ (расширить значение)}$	$f_x = \Sigma \Delta x - (X_k - X_n) =$ $f_y = \Sigma \Delta y - (Y_k - Y_n) =$	$f_{акс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} =$ $f_{отп} = \frac{f_{акс}}{P} =$ $f_{отп} \leq \frac{1}{1000}$
--	---	--

Затем вычисляют линейные невязки в приращениях координат по формулам

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч}} - (x_k - x_n);$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч}} - (y_k - y_n),$$

где  $x_k, x_n, y_k, y_n$  – координаты исходных точек диагонального хода.

**Абсолютная, относительная и допустимая линейные невязки** определяются по тем же формулам, что и для замкнутого хода (п. 2.1.8.5).

По исправленным приращениям от координат исходной точки (замкнутого хода) вычисляют координаты всех точек диагонального хода.

Все угловые значения вычисляют с точностью до одной минуты, линейные – в метрах с точностью до второго знака после запятой (см).

Вычисление высот диагонального хода производится аналогично вычислению замкнутого хода (п. 2.1.8.2). Невязка в превышениях рассчитывается по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{выч}} - (H_k - H_n),$$

где  $H_k$  – высота искомой точки;

$H_n$  – высота предыдущей точки;

$h_{\text{выч}}$  – вычисленное превышение между этими точками.

### 2.1.8.7. Составление плана теодолитной съемки

Составление плана производится в масштабе 1:1000 и осуществляется в следующем порядке: построение координатной сетки, нанесение точек теодолитного хода по координатам, нанесение ситуации и оформление плана. Подробно ход работы описан в п. 2.2.4.1.

## 2.2. Тахеометрическая съемка

### 2.2.1. Сущность съемки и виды работ

**Тахеометрическая съемка** – это вертикально-горизонтальная съемка, при которой, пользуясь полярной системой координат и при одном визировании на рейку, находящуюся в снимаемой точке (реечной), получают все данные для трех координат этой точки – направления, расстояния и превышения.

**Пространственными полярными координатами** снимаемых точек местности относительно каждой станции являются (рис. 22):

а) горизонтальный угол  $\beta$  между направлением на снимаемую точку и ориентирным направлением на одну из соседних точек опорной сети;

б) расстояние  $D$  (определяемое по дальномеру) между точкой станции и снимаемой точкой;

в) углы наклона  $\nu$  между точкой станции и снимаемой точкой местности;

г) кроме того на каждой станции один раз измеряется высота инструмента  $i$  и на каждой реечной точке фиксируется высота наведения визирной оси зрительной трубы на рейку, т. е. высота визирования  $V$ .

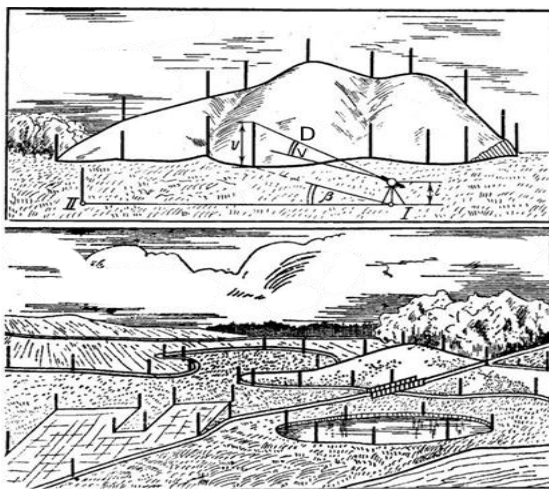


Рис. 22. Установка реечных точек на местности



В зависимости от назначения тахеометрическая съемка бывает маршрутная (для проектирования линейных сооружений – дорог, осушительных каналов и др.) и площадная (съемка отдельного участка).

Процесс съемки представляет собой комплекс измерений, предназначенных для определения положения и высоты характерных точек, необходимых для построения в короткий срок плана с изображением ситуации и рельефа. Точки, в которых устанавливается инструмент при съемке, называются основными, или станциями, остальные точки – реечными или пикетными. На рис. 22 обозначена установка реечных точек:

- а) для съемки рельефа и получения топографического плана,
- б) для съемки ситуации и получения контурного плана местности.

Если совместить обе съемки вместе, то конечным результатом будет являться получение топографического контурного плана местности. На нашей учебной практике необходимо выполнить такую задачу.

Расстояния определяют по нитяному дальномеру, направления (горизонтальные углы) – при помощи горизонтального круга, превышения – по вертикальному кругу теодолита, тахеометра, теодолита-тахеометра.

**Тахеометр** – автоматический прибор, с помощью которого могут быть непосредственно измерены превышения, горизонтальные расстояния и горизонтальные углы (п. 2.2.2).

В качестве опорного обоснования используются теодолитно-нивелирные, теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы, которые по возможности привязывают в плановом и высотном отношении к пунктам государственной геодезической сети, а также к реперам технического нивелирования. В теодолитно-нивелирных ходах высотное обоснование создается с помощью геометрического нивелирования.

Съемочным планово-высотным обоснованием (опорной сетью) для нашей тахеометрической съемки на учебной практике служат теодолитные ходы, т. е. тахеометрическая съемка ведется с пунктов теодолитных ходов – станций (вершины теодолитного замкнутого хода I–II–III–IV–V и диагонального хода VI–VII, см. рис. 18). Все станции отмечены на местности (см. рис. 19). Речные точки на местности не отмечаются.

Тахеометрическая съемка состоит из полевых и камеральных работ.

Полевые включают в себя определение расстояний  $D$  нитяным дальномером теодолита, горизонтальных  $\beta$  и вертикальных  $\nu$  углов на реечных точках (см. рис. 22). На каждой станции составляют кроки (абрис), в которых дополнительно стрелками показывается направление склонов местности между точками. По результатам полевых работ заполняется журнал тахеометрической съемки с кроками.

Камеральные работы включают в себя обработку полевых данных, составление и вычерчивание топографического плана.

Тахеометрическая съемка применяется для создания планов небольших участков в крупных масштабах.

## 2.2.2. Приборы и инструменты

В качестве основных приборов для тахеометрических съемок в настоящее время используются электронные тахеометры, теодолиты-тахеометры, теодолиты, рейки нивелирные, рейки телескопические, вешки геодезические, тахеометрические вехи, светодальномеры.

Широкое применение при тахеометрической съемке находят **электронные тахеометры** (рис. 23). Это приборы, сочетающие в себе угломерное устройство (теодолит) со светодальномером. Обязательным элементом электронных тахеометров является встроенная ЭВМ, позволяющая автоматизировать процесс измерений и вычислений по заложенным в ней программам. Предназначены эти приборы для измерения горизонтальных и вертикальных углов с ошибкой 1–5" и расстояний с погрешностью 1–10 мм. В комплект прибора входит отражатель, но многие тахеометры могут работать и в безотражательном режиме. Микропроцессоры и запоминающие устройства, которыми они обеспечены, позволяют решать ряд инженерных геодезических задач непосредственно в поле, автоматизировать запись результатов измерений и промежуточных данных. Наличие дисплея и клавиатуры дает возможность вести работу с прибором в диалоговом режиме.

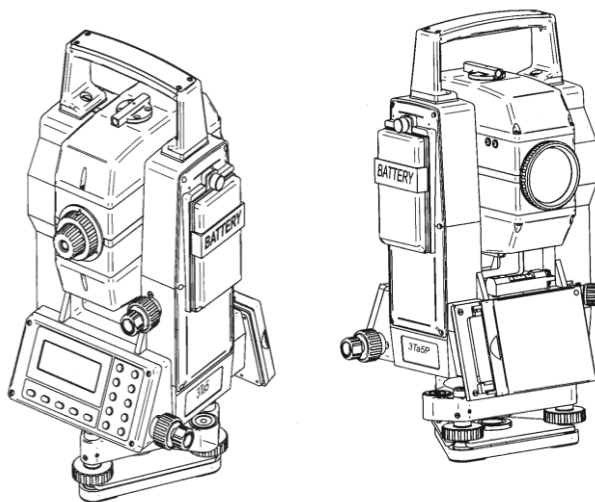


Рис. 23. Тахеометр электронный 3Та5Р (УОМЗ, Россия)

Использование этих приборов позволяет создать автоматизированную технологическую цепочку: электронный тахеометр – регистратор информации – ЭВМ – графопостроитель, которая обеспечивает получение готовых топографических планов в автоматическом режиме и сводит к минимуму личные ошибки исполнителей.

При автоматизации процессов составления планов и карт, проектировании объектов строительства необходимо топографическую информацию представить в виде ЦММ, предполагающей в качестве одной из ее составляющих массив трех прямоугольных координат точек местности. Электронные тахеометры вычисляют указанные координаты на основании измеренных горизонтальных и вертикальных углов, а также наклонного расстояния от прибора до визирной цели. Самые совершенные из них отличаются полной автоматизацией процессов: наведение на цель; определение углов и расстояний; предварительная обработка информации до получения координат точек или других величин; выдача результатов на дисплей и в накопитель либо транслирование их в назначенные места; введение различных поправок, в частности из-за метеоусловий, и др.

Наибольшее распространение в нашей стране получили приборы фирм YOM3, Leica, Sokkia, Trimble, Nikon, Pentax [7]. Для нашей тахеометрической съемки на учебной практике съемку рельефа и ситуации производят при помощи теодолита-тахеометра 4ТЗ0П (см. рис. 1) и реек РНЗ-3000СП.

### 2.2.3. Полевые работы

Полевые работы включают [8]:

1) рекогносцировку участка (изучение местности с целью выбора метода составления съемочного обоснования и мест закрепления его пунктов);

2) закрепление пунктов съемочного обоснования;

3) установку (горизонтирование и центрирование над станцией) теодолита-тахеометра, с помощью которого осуществляется тахеометрическая съемка на станции. Измерение высоты инструмента с погрешностью не более 0,5 см. Определение места нуля для вертикального круга;

4) последовательную установку тахеометрической рейки на характерных пунктах ситуации и рельефа, называемых **съемочными пикетами, или речечными точками**;

5) наведение зрительной трубы на рейку и фиксацию отсчетов для определения полярных и высотных координат точек местности. По результатам полевых работ заполняется журнал тахеометрической съемки;

6) составление на каждой станции схематичной зарисовки ситуации и рельефа – **кроки** (абрис, рис. 24). Стрелками показывается направление склонов местности между точками. Кроки (абрис) тахеометрической съемки могут изображаться в горизонталях.

Пункты 1–3 полевых работ описаны в разделе «Теодолитная съемка». В соответствии с заданием на практику съемочным планово-высотным обоснованием (опорной сетью) для нашей тахеометрической съемки служат теодолитные ходы (замкнутый и диагональный), заложенные ранее. Поэтому к тахеометрической съемке приступают с установки теодолита на станции и с последовательным размещением речечных точек на местности.

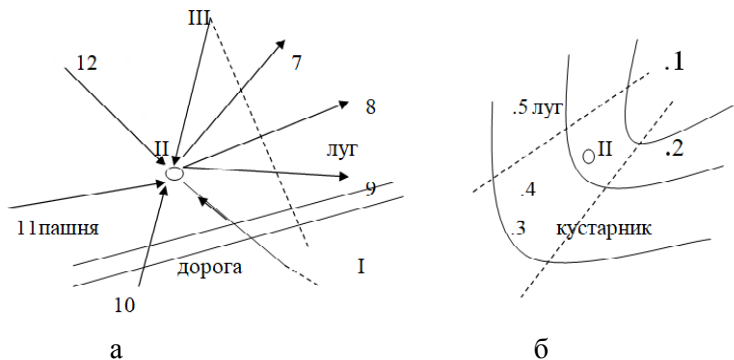


Рис. 24. Абрис тахеометрической съемки  
(I, II, III – станции; 1–12 – речные точки):  
а – кроки с указанием скатов; б – кроки в горизонталях

Особенно важное значение при тахеометрической съемке имеет правильный выбор речных точек – съемочных пикетов [8]. С каждой станции хода полярным способом снимают речные точки; при этом вначале определяют те из них, по которым можно построить на плане контуры ситуации, потом снимают высотные точки, необходимые для изображения рельефа горизонталями.

Пикеты должны быть разбиты в таком количестве и расположены с таким расчетом, чтобы вычисленные отметки вполне охарактеризовывали рельеф снятой местности и чтобы по этим отметкам точек можно было вычислить отметку любой другой точки местности, на которой рейка не ставилась. Поэтому пикеты должны быть выбраны настолько близко друг к другу, чтобы местность между парой соседних пикетов имела постоянный уклон (без перегибов).

Пикеты должны быть расположены по всем характерным линиям рельефа местности, составляющим его остов: по тальвегам, водоразделам, основным направлениям и т. д. Пикеты берутся на всех вершинах холмов, на дне впадин, по подошве холмов и впадин, по бровкам оврагов, террас и т. д.

Одновременно пикеты должны дать возможность изобразить существенные контуры местности: реки, дороги, границу леса, здания и т. п.

Очень важным является вопрос о степени густоты пикетов. Она зависит прежде всего от характера рельефа. Сложный, сильно расчлененный рельеф требует пикетов гораздо больше, чем спокойный. Однако при всей сложности рельефа нужно учитывать масштаб плана. Желательно, чтобы на 1 см<sup>2</sup> плана было не больше четырех-пяти пикетов даже при очень трудном рельефе. При среднем рельефе на 1 см<sup>2</sup> достаточно одного пикета, а при легком рельефе – еще реже. Густота речных точек определяется сложностью ситуации и рельефа, но предельные расстояния между ними не должны быть больше указанных в табл. 13.

*Таблица 13*

### Требования к выбору речных точек при тахеометрической съемке

Масштаб съемки	Сечение рельефа, м	Максимальное расстояние между речными точками, м	Максимальное расстояние от тахеометра до рейки, м, при съемке		
			рельефа	нечетких контуров	четких контуров
1:500	0,5	15	100	80	60
	1,0	15	150	100	60
1:1000	0,5	20	150	100	80
	1,0	30	200	100	80
1:2000	0,5	40	200	150	100
	1,0	40	250	150	100
	2,0	50	250	150	100
1:5000	0,5	60	250	200	150
	1,0	80	300	200	150
	2,0	100	350	200	150
	5,0	120	350	200	150

Так как пикеты на местности не обозначаются, то очень важно, чтобы на плане не оказалось мест с неизвестным рельефом. Для этого оставляют рейку на пикете, находящемся впереди хода на границе областей, снимаемых с двух станций, вплоть до перехода

инструмента на следующую станцию, для которой эта рейка делается задней.

Для того чтобы не оставить неснятыми те или иные участки земной поверхности, нужно придерживаться правила избирать границей съемки с данной станции какую-либо естественную или искусственную линию местности, хорошо заметную в натуре.

При организации работ следует иметь в виду, что размещение реек по пикетам является важным моментом работы. За него отвечает бригадир, лично руководя расстановкой реечников, давая соответствующие указания.

При этом в расстановке реек должна быть определенная продуманная система. Так, рейку можно направить по дороге, по тальвегу, по бровке оврага или террасы, по водоразделу, по гребню, по берегу реки и т. д. Возможна и иная система.

При съемке, рассчитанной на крупный масштаб, расстояние между соседними пикетами должно быть весьма незначительно, особенно при наличии сложного рельефа. В таком случае на переходы от пикета к пикету времени нужно немного, и поэтому при съемке вполне достаточно двух реек. В некоторых случаях хватает одной рейки.

В процессе съемки бригадир расставляет реечников, сам производит некоторые работы по определению положения точек, лежащих вблизи выставленной рейки, и делает различные промеры, например, определение ширины дороги, ручья, насыпей или валов, высоты некоторых предметов над землей.

Для контроля работ при съемке нужен учет числа снимаемых пикетов. Чаще всего ведут сквозную нумерацию, т. е. если на первой станции взяли 17 пикетов, то на второй станции начинают с 18-го пикета, причем в этом случае и в тахеометрическом журнале, и в кроки подчеркивают номер последнего пикета, взятого на каждой станции. Для того чтобы не спутать на кроки и на плане, какой пикет с какой станции взят, нужно начинать на каждой станции расстановку пикетов с задней станции по ходу части территории, расположенной вокруг станции. Пикеты, имеющие особенно важное значение, нужно определять методом двойных измерений. Некоторые пикеты, находящиеся на границе двух областей, снимаемых с двух соседних станций, полезно снимать для контроля и с той, и с другой станции.

Нумерацию пикетов необходимо все время сверять. Обязательной должна быть поверка каждого 10-го, 20-го и т. д. пикетов. При всяком сомнении, а также при съемке особо важных пикетов нужно делать сверку с визированием на пикет и при окончании работ на станции.

При большом числе пикетов, приходящемся на одну станцию, следует время от времени проверять ориентировку лимба. Прежде чем снимать инструмент со станции, необходимо сверить составленный кроки с тахеометрическим журналом, в котором должны быть сделаны к этому времени все нужные расчеты вплоть до предварительных значений превышений. Визуально сопоставляя кроки с местностью и расставленными пикетами, необходимо сравнить превышения, вычисленные в журнале, с действительностью и кроки в целях выявления грубых промахов, если таковые имели место в процессе работы.

Лишь после этого осуществляется переход на следующую станцию. Таким образом, организация работ должна быть продумана с расчетом на максимальный полевой контроль тахеометрической съемки. Только при этих условиях удастся избежать необходимости частого возвращения с инструментом на станцию и повторения работ [8].

### **2.2.3.1. Определение расстояний при помощи нитяного дальномера. Использование реек**

Определение расстояния от станции до речной точки (пикета) производится с помощью **нитяного дальномера** и нивелирной рейки.

Для технического нивелирования используются деревянные 3- или 4-метровые **рейки**, иногда складные, с сантиметровыми делениями, двусторонние. Одна сторона реек выкрашена в черный цвет (черная сторона), другая – в красный (красная сторона). Низ рейки называют пяткой. На черной стороне деления оцифрованы снизу вверх, начиная с нуля. На красной стороне отсчеты возрастают также снизу вверх, но счет начинается с некоторого числа, например 4800 мм. Этот отсчет называют разностью пяток. Очевидно, что разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки,



т. е. разность пяток, должна быть одна и та же. Красная сторона используется для контроля превышений, измеренных по черной стороне, и повышения точности их определения [9].

Деления на рейке оформлены в виде дециметров, разделенных на 10 частей; каждый дециметр подписан двузначным числом, например 03, 04 ... 29 – на черной стороне и 48, 49 ... 74 – на красной стороне. Начало каждого дециметра фиксируется тонким горизонтальным штрихом, от которого строится пятисантиметровая фигура в форме буквы Е; затем следуют еще 5 делений (рис. 25).



Рис. 25. Изображение рейки и сетки нитей в зрительной трубе

Отсчет по нивелирной рейке берется в миллиметрах и всегда выражается четырехзначным числом: первые две цифры – номер дециметра, 3-я цифра – число полных сантиметровых делений от начала дециметра до средней нити, 4-я цифра – миллиметры. На рис. 25 отсчет по центральной нити 1200.

Для получения расстояния по дальномеру необходимо зрительную трубу в горизонтальном положении навести на рейку на высоту инструмента и по ней взять два отсчета: по верхней  $a_1$  и по нижней  $a_2$  дальномерным нитям.

Разницу отсчетов ( $n = a_1 - a_2$ ) умножают на коэффициент дальномера  $K$  и получают наклонное расстояние от инструмента до рейки:

$$D_{\text{изм}} = K_n + C,$$

где  $C$  – постоянная дальномера (обычно для инструментов с внутренней фокусировкой  $C = 0$ ).

**Коэффициент дальномера  $K$**  в современных приборах равен 100. В теоретическом курсе подробно излагается определение коэффициента нитяного дальномера.

Пример вычисления расстояния по дальномеру: на рис. 25 отсчеты по дальномерным линиям равны:  $a_1 - 1288$ ,  $a_2 - 1113$ , величина  $n$  равна разнице этих отсчетов – 175.

Горизонтальное расстояние определяется как

$$D_{\text{изм}} = 100 \cdot 175 + 0 = 17500 \text{ мм} = 17,5 \text{ см}.$$

Если расстояние по дальномеру определяется при горизонтальном положении трубы или угле наклона  $\nu \leq 2^\circ$ , то будет справедлива формула

$$D_{\text{изм}} = D_0.$$

При  $\nu > 2^\circ$  горизонтальные проложения линий рассчитываются по тахеометрическим таблицам или по формуле

$$D_0 = D_{\text{изм}} \cos^2 \nu.$$

Величина  $D_0$  определяется в метрах с точностью до сотых. При расчетах на калькуляторе значение косинуса должно содержать не менее четырех знаков после запятой.

Все измерения и вычисления записываются в «Ведомость тахеометрической съемки» (табл. 14).

Таблица 14

Образец ведомости тахеометрической съемки

№	Отсчет по горизонт. кругу		Расст. по дальн. визир. D <sub>виз.</sub> , м	Высота визиров. V, м	Отсчет по верт. кругу, п		Угол наклона, v		Гориз. пролож. D <sub>0</sub> , м	Превышения, м		Высота H <sub>p</sub> , м	Характеристика точек	Абрис
	град	мин			град	мин	табл. h <sub>г</sub>	вычисл. h <sub>выч</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Станция I N = 1,60 = i H <sub>ст</sub> =135,99														
I	00													
1	230	15	75,0	4	02	4	02	74,6	5,26	5,26	141,25	ЛЭП		
2	250	00	55,3	358	59	-1	01	55,3	-0,98	-0,98	135,01	дорога		
3	282	50	91,4	358	03									
4	310	55	48,4	358	59									
5	342	45	94,7	357	25									
6	357	20	48,3	356	45									
Станция IV N = 1,57 = i H <sub>ст</sub> =														
III	00													
7	258	35	65,5	3	12									
8	283	32	24,7	4	51									
9	356	08	65,9	358	44									
Станция V N = 1,63 = i H <sub>ст</sub> =														
IV	00													
10	269	50	62,0	1	29									
11	324	25	79,6	2	22									
12	349	53	45,7	4	01									

### 2.2.3.2. Измерение горизонтальных углов в тахеометрической съемке

Полярные координаты в плановом отношении (см. рис. 22) определяются двумя значениями: расстоянием  $D$  от станции (инструмента) до снимаемой реечной точки и горизонтальным углом  $\beta$  между направлениями, принятыми за начальное и на реечную точку от станции. Начальным направлением является в нашем случае опорная сеть – теодолитный ход.

После установки теодолита на станции, его центрирования и горизонтирования выбирается направление полярной оси на смежный пункт съемочного обоснования. Выбор заключается в наведении зрительной трубы на вешку, находящуюся на выбранном пункте, и установке на лимбе горизонтального круга отсчета  $0^{\circ}00'$  при вращении винта перевода лимба (см. рис. 1). Чаще всего в качестве ориентира выбирают заднюю станцию опорной сети. Устанавливают основное положение круга – КЛ. Затем наводят зрительную трубу на рейку в снимаемой пикетной точке, берут отсчет по горизонтальному кругу с точностью до  $10'$  и записывают его в журнал (см. табл. 14).

Одновременно берут отсчет по вертикальному кругу и измеряют расстояние по дальномеру. Значения записывают в журнал. Далее производят последовательное измерение – визирование на все снимаемые (реечные) точки по ходу часовой стрелки, на которых устанавливают рейку (рис. 26).

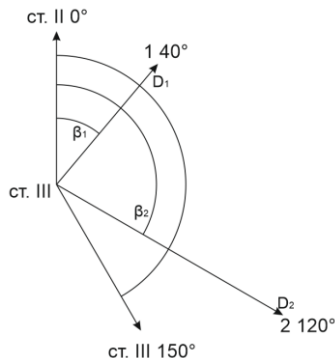


Рис. 26. Измерение горизонтальных углов в тахеометрической съемке

Кроме записи и вычислений в журнале ведется абрис, на котором указывается положение пункта установки теодолита, положение опорной сети и речных точек, зарисовывается плановая ситуация (объекты местности, подлежащие съемке). Ориентирование лимба на станции проверяют после измерения. В журнале на ориентируемую точку записывают значение величины горизонтального угла  $0^{\circ}00'$ .

Абрисы целесообразно составлять в виде круговых диаграмм в масштабе съемки или в горизонталях (рис. 27). Снятые точки сразу наносят полярным способом на абрис без использования линейки и транспортира, поскольку окружности на круговых диаграммах проводят обычно через 1 см и разбивают заранее через каждые 10 или  $20^{\circ}$ . Абрис является полевым контролем определения планового положения съемочных точек и контролем нанесения их на план при составлении плана съемки.

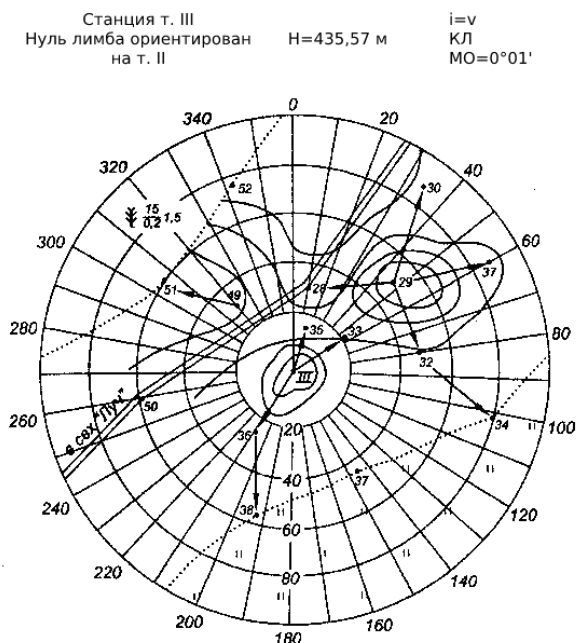


Рис. 27. Абрис в виде круговой диаграммы

## 2.2.3.3. Съёмка подробностей

Одновременно со съёмкой реечных точек ведется съёмка подробностей местности. Способы съёмки ситуации описаны в п. 2.1.7.5. Основным способом для съёмки подробностей в тахеометрической съёмке является способ полярных координат.

## 2.2.3.4. Определение превышений при тахеометрической съёмке

При тахеометрической съёмке одновременно с измерением расстояний дальномером определяют превышения между точками по следующим формулам:

$$h_{\text{табл}} = \frac{D}{2} \sin 2v - \text{при наведении средней нити зрительной трубы на высоту инструмента};$$

$$h_{\text{выч}} = \frac{D}{2} \sin 2v + i - V - \text{при наведении средней нити не на высоту инструмента,}$$

где  $v$  – угол наклона линии;

$D$  – наклонное расстояние, измеренное дальномером;

$i$  – высота инструмента, м;

$V$  – высота визирования на рейке (вешке), м.

На каждой станции перед взятием отсчетов вычисляют место нуля вертикального круга  $M_0$  и фиксируют его в журнале.

Угол наклона вычисляют по формуле

$$v = \text{КЛ} - M_0.$$

При измерении вертикального угла наилучшим способом является визирование на высоту инструмента, отмеченную на рейке. В некоторых случаях это не представляется возможным из-за большого уклона местности, тогда визируют на ту часть рейки, которую возможно увидеть в зрительную трубу. Высоту визирования обязательно отмечают в журнале (см. табл. 14) и учитывают при расчете превышений.

Превышения могут определяться по тахеометрическим таблицам [10]. Вычисляются отметки реечных точек по формуле

$$H_p = H_{cp} + h_{выч},$$

где  $H_p$  – отметка реечной точки, м;

$H_{cp}$  – отметка точки (станция) теодолитного хода, м;

$h_{выч}$  – превышение между точкой станции и реечной, м.

## 2.2.4. Камеральные работы

Камеральные работы включают в себя обработку полевых данных, составление и вычерчивание топографического плана. Обработка журнала состоит из проверки правильности записей и вычислений. Большинство вычислений целесообразно делать в полевых условиях на станции для исключения ошибок и повторных измерений вследствие просчетов.

### Составление топографического плана

При проведении камеральных работ план изготавливают в масштабе 1:1000 и оформляют в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

Составление плана осуществляется в следующем порядке.

1. Построение координатной сетки.
2. Нанесение точек теодолитного хода по координатам.
3. Нанесение ситуации и рельефа местности на план.
4. Оформление плана.

#### *Построение координатной сетки*

Координатную сетку разбивают на листе чертежной бумаги А3 с размерами квадратов 10x10 см. Построение координатной сетки производят с помощью линейки Дробышева следующим образом.

Отступив от нижнего края листа 6–8 см остро отточенным твердым карандашом проводят линию АВ (рис. 28, а). На эту линию

накладывают линейку так, чтобы она проходила посередине окошечек линейки. По скошенным краям окошечек делают карандашом прочерки. Далее линейку располагают перпендикулярно к линии АВ (рис. 28, б), совмещая штрих первого окошечка с точкой А; по скошенным краям окошечек делают прочерки. Те же самые действия производят в точке В. После чего штрих первого окошечка совмещают с точкой В, а сама линейка располагается по диагонали (рис. 28, в) таким образом, чтобы ее скошенный торец совпал с последним штрихом, нанесенным на перпендикуляре в точке А. По скошенному торцу линейки делают прочерк, засечкой получают точку С (северо-западный угол рамки). Аналогично получают северо-восточный угол рамки (точку Д).

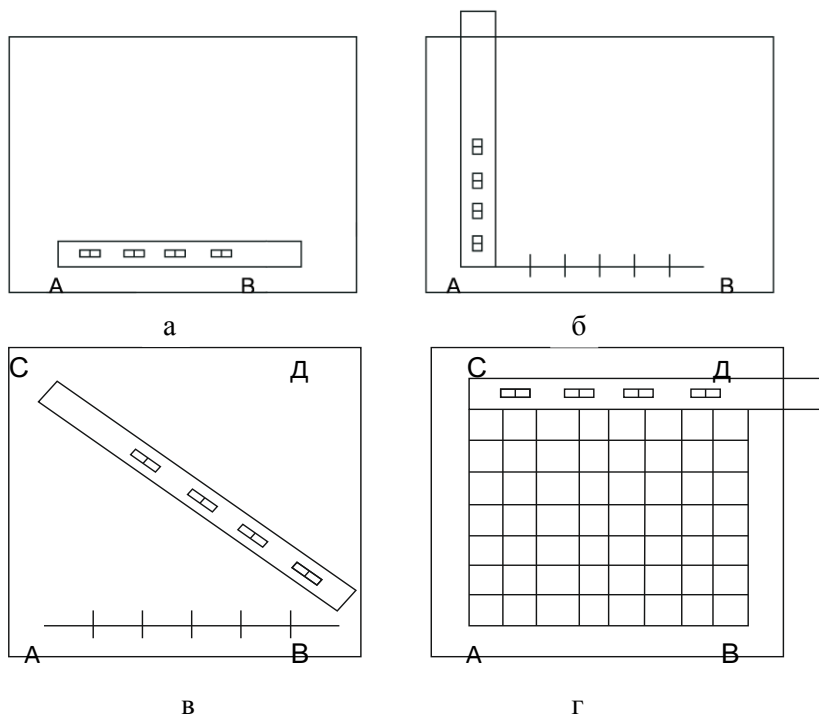


Рис. 28. Построение координатной сетки



Контроль построения квадрата заключается в сравнении расстояния между засечками С и Д с расстоянием между крайними окошечками линейки. Расхождение допускается 0,2–0,3 мм. После этого делают прочерки по линии СД и вычерчивают линии координатной сетки. Если построенная сетка не соответствует размеру снятого участка, то она расширяется во все стороны листа (рис. 28, г).

### *Нанесение точек теодолитного хода по координатам*

Для нанесения вершин полигона на план по координатам в масштабе 1:1000 сетку координат оцифровывают через 100 м. За начало координат принимают юго-западный угол сетки. Значения координат  $x$  и  $y$  юго-западного угла сетки выбирают таким образом, чтобы теодолитный ход разместился примерно в середине листа.

Каждую вершину полигона по ее координатам наносят на план с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Полученные точки изображают условным знаком, рядом надписывают номер точки теодолитного хода и ее отметку с точностью до 0,1 м. Правильность нанесения вершин полигона проверяют по горизонтальным проложениям между двумя смежными точками в масштабе плана. Расхождение допускается  $\pm 0,2$  мм.

### *Нанесение ситуации и рельефа местности*

Ситуацию наносят на план по данным журнала тахеометрической съемки и абрисов. Съёмочные точки наносят на план по горизонтальному углу и горизонтальному проложению. Горизонтальные углы откладывают с помощью кругового транспортира, а горизонтальные проложения – циркулем-измерителем по масштабной линейке. Полученную точку обводят кружком, рядом подписывают ее отметку с точностью до 0,1 м. В соответствии с абрисом и записями, сделанными в примечаниях тахеометрического журнала, условными знаками изображают элементы ситуации.

По отметкам съёмочных точек вычерчивают горизонтали рельефа с сечением через 1,0 м или 0,5 м (при этом пользуются палеткой, рис. 29, а). По всем полярным лучам и теодолитному ходу выполняется графическое интерполирование горизонталей, т. е. на

линиях ставятся точки, через которые пройдут горизонталы, и подписываются. Интерполирование горизонталей лучше выполнять с помощью палетки – небольшого листа прозрачной бумаги с нанесенными на нем параллельными линиями. Расстояние между линиями палетки должно соответствовать крутизне скатов; практически – 10, 5 или 3 мм. Оптимальное количество линий палетки – 20.

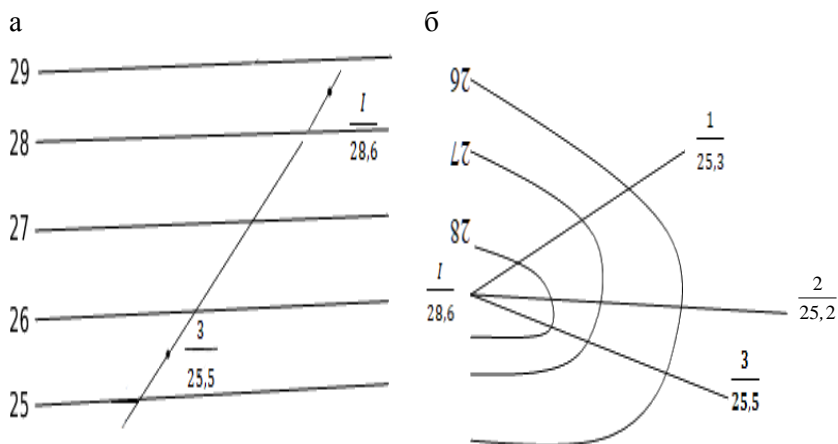
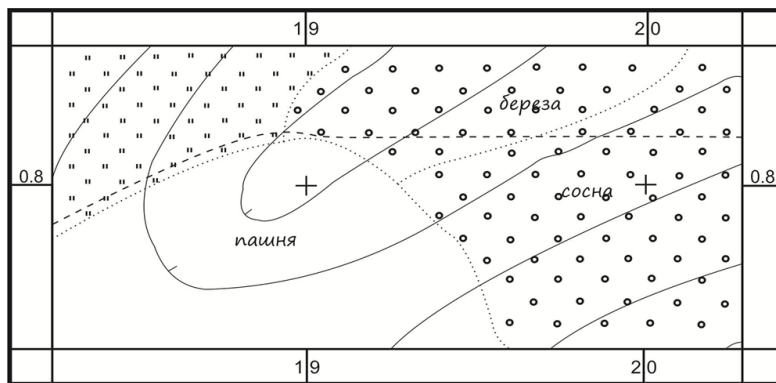


Рис. 29. Графическая интерполяция горизонталей

Полученные точки с равными высотами соединяют плавными линиями-горизонталями в карандаше (рис. 29, б). При этом вначале горизонталы вычерчивают в наиболее высоких и наиболее низких участках местности, а затем в остальных. Расположение горизонталей корректируют – выполняют укладку горизонталей, т. е. проводят их так, чтобы горизонталы были по возможности параллельны и расстояние между горизонталями изменялось постепенно. Горизонталы должны иметь вид плавных кривых без резких угловатых поворотов.

Условные знаки объектов местности и заполняющие значки (рис. 30) рисуют по данным абриса в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500» [10].

ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН



в 1 сантиметре 10 метров

1:1000

Студент

Сплошные горизонталы проведены через 1 метр

Группа

Система высот условная

Рис. 30. Топографический план местности

*Оформление плана*

Размеры рамок для плана должны быть выдержаны по стандарту: расстояние между внешними краями рамок равно 14 мм. Толщина внешней рамки 1,2 мм, внутренней 0,1 мм (соответственно расстояние между внутренними краями рамок 12,7 мм). Надписи не должны выступать ни влево, ни вправо за пределы внутренних рамок чертежа.

Чертёж, выполненный безукоризненно по условным знакам, но с небрежными надписями, создаёт неприятное впечатление и не внушает доверия к его содержанию. Поэтому к выполнению самих надписей следует относиться так же внимательно, как и к выполнению чертежа.

Над верхней рамкой топографическим шрифтом Т-132 выполняется надпись: Топографический план (заглавные буквы 15 мм, строчные 7 мм). Под нижней рамкой также топографическим шрифтом выполняются следующие надписи:

– в левом нижнем углу – масштаб плана, высота сечения рельефа, система высот;

– в правом нижнем углу – данные об исполнителе.

Расстояния от зарамочных надписей вверху и внизу чертежа, а также боковых рамок до линий обреза чертежа, т. е. поля, должны быть равны 20 мм со всех четырёх сторон плана [11].

## 3. СЪЕМКИ МАЛОЙ ТОЧНОСТИ. БУССОЛЬНАЯ СЪЕМКА

### 3.1. Сущность съемки и виды работ

**Буссольная съемка местности** является горизонтальной (плановой) углоизмерительной съемкой малой точности на небольших участках местности, а также используется для съемки ситуации при других, более точных методах съемки. Этими приборами выполняют работы, не требующие высокой точности: съемку внутриквартальной ситуации, привязку пробных площадей, отвод лесосек в рубку и др. Основными инструментами в этой съемке являются буссоль, эклиметр (прибор для измерения углов наклона) и мерная лента. Работа при производстве буссольной съемки строится в такой последовательности:

- знакомство с устройством буссоли;
- выполнение поверок буссоли;
- рекогносцировка участка съемки.
- измерение азимутов (ориентирование) и длин сторон полигона;
- съемка ситуации;
- составление плана местности.

### 3.2. Приборы и инструменты

Прибором для измерения магнитных азимутов и румбов линий местности служит **буссоль**. Буссоли бывают штативные, устанавливаемые при измерениях на штатив, ручные, которыми работают с руки, и настольные, накладываемые на карту или план для их ориентирования относительно сторон горизонта.

В настоящее время буссольная съемка по-прежнему остается основным видом съемки, используемой в практике лесного хозяйства. В основном используются буссоль Стефана БС-2 и геодезическая буссоль БГ-1 (рис. 31, а), которые широко применяются при рекогносцировочных, геодезических и землеустроительных работах. Уже достаточно популярна буссоль финских разработчиков Suunto KB-14 (рис. 31, б) для специалистов лесного хозяйства. Буссоль не требует такой операции, как ориентирование. Поскольку буссоль используется без штатива, то работающий с ней должен обладать свойством «спокойной руки». Не рекомендуется использовать эту буссоль вблизи источников тепла, так как тепловое воздействие приводит к образованию воздушных пузырей на шкале прибора.



Рис. 31. Буссоль: а – БГ-2; б – Suunto KB-14

### 3.2.1. Устройство буссоли геодезической БГ-2

Конструкция буссоли геодезической БГ-2 (см. рис. 31, а), название отдельных частей и их назначение описаны в табл. 15.

*Таблица 15*

Конструкция буссоли геодезической БГ-2

Название отдельных частей	Назначение
Коробка	Корпус для магнитного компаса
Глазной диоптр	Служит для визирования, имеет узкую глазную щель для глаза наблюдателя
Предметный диоптр	Служит для визирования, располагается со стороны наблюдаемого объекта, имеет вертикально натянутую в прорези нить
Буссольное кольцо	Румбическая шкала для магнитной стрелки
Магнитная стрелка	Служит для ориентирования по сторонам света, поделена на 2 части: черный конец указывает на север, белый – на юг
Алидадная линейка с верньером	Подвижный круг с отсчетным приспособлением (см. рис. 32)
Горизонтальный круг с лимбом	Служит основанием для прибора, лимб имеет градуированную шкалу через $1^\circ$ для измерений ( $360^\circ$ )
Втулка	Служит для установки буссоли на стойке (штативе, шесте), имеет закрепительный винт для фиксации

В центре коробки буссоли (см. рис. 31) на острие шпиля надета магнитная стрелка с вороненым (темным) северным концом. Чтобы острие шпиля не затупилось, в нерабочем положении стрелку при помощи арретирующего устройства прижимают к стеклу коробки. Для уравнивания магнитной стрелки на южный ее конец надевают подвижную муфту, т. е. грузик. Коробка прикреплена к горизонтальному угломерному кругу. Между коробкой и кругом вращается алидадная линейка (алидада) с двумя вертикальными диоптрами. Есть визирное приспособление. Глазной диоптр имеет узкую смотровую щель, предметный – вертикально натянутую в прорези нить. Край горизонтального круга (лимб) имеет деления. Буссольное кольцо и лимб горизонтального круга

разбиты через  $1^\circ$ , а оцифрованы через  $10^\circ$ . Кольцо имеет румбическую оцифровку (от 0 до  $90^\circ$  в каждой четверти), а лимб – азимутальную (от 0 до  $360^\circ$  по ходу часовой стрелки). На конических поверхностях выступов алидады нанесены шкалы-верньеры (рис. 32), позволяющие отсчитывать лимб с точностью до  $5'$ .

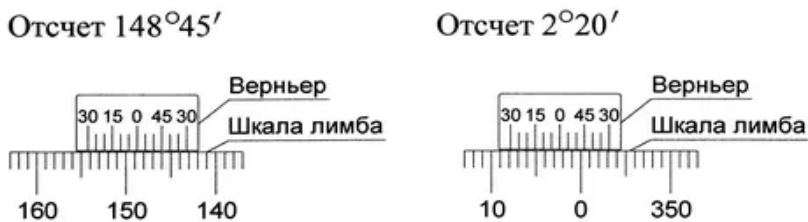


Рис. 32. Взятие отсчетов по верньеру буссоли БГ-2

### 3.2.2. Поверки буссоли

Перед началом полевых работ у буссоли должны быть проверены следующие условия.

1. Магнитная стрелка должна быть уравновешена.

Для проверки при помощи накладного уровня приводят градусное кольцо буссоли в горизонтальное положение. Концы стрелки в этом случае должны находиться в плоскости кольца буссоли.

2. При несоблюдении этого условия передвигают муфту на южном конце стрелки и устанавливают ее в горизонтальное положение.

3. Приведя градусное кольцо буссоли в горизонтальное положение, замечают отсчет на кольце по северному концу стрелки. При помощи железного стержня выводят стрелку из равновесия, а затем, убрав железный стержень, ждут, пока стрелка успокоится.

4. Если отсчет на кольце по северному концу стрелки тот же, то условие выполнено. В противном случае буссоль заменяют.

5. Стрелка должна вращаться в центре градусного кольца буссоли.

6. При выполнении этого условия разность отсчетов на кольце буссоли по обоим концам стрелки должна составлять  $180^\circ$ , в противном случае буссоль заменяется.

### 3.3. Полевые работы

#### 3.3.1. Подготовительные работы

Перед началом съемочных работ выполняется проверка угловых приборов и тренировочные измерения ими.

На открытом участке пересеченной местности с достаточным числом контуров необходимо научиться устанавливать прибор, проверить и отъюстировать буссоль, произвести несколько пробных угловых измерений. Проводятся пробные измерения расстояний, практически изучаются способы съемки ситуации, ведение журнала и абриса.

Установку буссоли на станции начинают с установки штатива или стойки – легкого прочного кола. Штатив с помощью нитяного отвеса центрируется над забитым в грунт (заподлицо с землей) колышком. Отклонение острия отвеса от центра его верхнего среза не должно превышать 5 см. Стойка вбивается в грунт рядом с колышком. Ее вертикальность проверяется нитяным отвесом путем удержания нити в 2–3 см от вершины стойки.

С комплектом приборов буссольной съемки работа осуществляется бригадой из 2–3 чел. Каждый должен последовательно выполнить проверки прибора. В рабочей тетради составляется отчет о выполненной работе.

Для тренировки в измерении направлений и углов определяются с точки стояния прибора магнитные азимуты на две веши, установленные в 70–100 м от прибора, сначала по буссольному кольцу, затем по лимбу. Разность между соответствующими азимутами не должна превышать  $2t$ , где  $t$  – точность отсчета по стрелке буссоли, равная половине наименьшего деления кольца, обычно 30'.

Измерение магнитных азимутов (рис. 33) выполняется следующим образом. Установленную на штативе или заостренной с двух концов палке буссоль поворачивают до тех пор, пока диаметр лимба (юг – север) не совпадает с направлением успокоившейся магнитной стрелки, принявшей горизонтальное положение. При этом под глазным диоптром на алидаде выставляют отсчет  $180^\circ$ , а также совмещают северный конец магнитной стрелки с  $0^\circ$  под глазным диоп-



тром. Тогда диаметр лимба  $0-180^\circ$  и плоскость диоптров, проходящая через щель глазного и нить предметного диоптров, примут направление магнитного меридиана ( $A_m = 0^\circ$ ). В таком положении буссоль закрепляют (фиксируют).



Рис. 33. Техника измерения магнитного азимута

Для проверки правильности установки буссоли необходимо перейти в точку стояния одной из вех и измерить обратный азимут на начальную станцию (рис. 34). Прямой азимут не должен отличаться от обратного более чем на  $1^\circ$  (сверх  $180^\circ$ ). При допустимом расхождении вычисляют средний (прямой) азимут  $A_{cp}$  по формуле

$$A_{cp} = (A_{пр} + A_{обр} \pm 180^\circ) / 2,$$

где  $A_{пр}$  и  $A_{обр}$  – прямой и обратный магнитные азимуты одного направления.

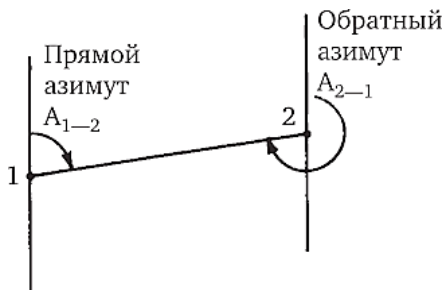


Рис. 34. Прямой и обратный азимуты

Приняв и в этом случае величину предельного расхождения в азимутах одного направления равной  $2t$ , расхождение в углах в соответствии с теорией погрешностей допустимо иметь не более  $3t$ .

Для тренировки измерения расстояний землемерной лентой на местности преподавателем указывается отрезок длиной 180–200 м, расчищается и провешивается линия, а затем, работая группами по 2–3 чел., проводят измерения этой линии в прямом и обратном направлениях. Если какая-то часть отрезка имеет уклон  $3^\circ$  и более, для данного отрезка измеряется вертикальный угол. По полученным результатам вычисляется горизонтальное проложение. В ходе работ ведется журнал измерения расстояний.

В конце тренировочных занятий необходимо освоить методику проложения буссольного хода и способы съемки ситуации с ведением абриса.

### 3.3.2. Проложение буссольных ходов

#### *Реконгносцировка участка и закрепление его вершин*

Буссольная съемка состоит из проложения буссольного хода и съемки подробностей местности с линий и точек этого хода. Съемку следует начинать с осмотра местности, выбора характерных (поворотных) точек, составления глазомерной схемы участка, закрепления точек на местности (колышки, столбы и пр.).

С целью изучения местности, закрепления вершин ходов и определения способов съемки ситуации бригада обходит участок по его периметру и внутренним линиям – границам выделов, дорогам, канавам и др. Эту работу начинают с начальной точки хода, которую обычно совмещают с квартальным столбом или с хорошо опознаваемой на карте точкой местности (перекрестком дорог, углом леса, мостом и т. п.).

Начальную сторону основного хода (полигона) располагают на квартальной просеке. Если это сделать невозможно, проектируют привязку участка к топографо-геодезической основе. Вершины полигона выбирают в местах, удобных для установки буссоли. Нельзя выбирать их близко к железнодорожным линиям,

электролиниям высокого напряжения и в других местах, где показания магнитной стрелки могут быть искажены.

Расстояние между поворотными точками рекомендуется от 50 до 200 м, при работе буссолью БГ-2 – до 300 м, а число сторон в буссольном полигоне не должно превышать 20–25. При буссольной съемке прокладываются замкнутые и разомкнутые буссольные ходы. Замкнутый буссольный ход состоит из ломаных линий, образующих многоугольник (полигон); разомкнутый – из ряда линий, опирающихся на две исходные точки. Буссольный ход, опирающийся на одну исходную точку, принято называть висячим. Исходной называют такую точку местности, положение которой определено заранее или известны ее координаты.

Одновременно с вершины полигона должна хорошо просматриваться близлежащая местность, подлежащая съемке, и должна быть взаимная видимость между соседними вершинами полигона. Вершины полигона закрепляются на местности колышками, забитыми на уровне поверхности земли, а рядом с ними забивается второй колышек (сторожок), на стесанной поверхности которого записывается номер вершины полигона и номер бригады, производящей съемку.

Между направлением на другой геодезический пункт (точку местности) и первой стороной хода проектируют измерение привязочного угла. Стороны буссольных ходов не должны превышать 150 м.

В производственных условиях вершины хозяйственных участков в процессе их съемки закрепляют столбами. На учебной практике их закрепляют деревянными колышками и сторожками (см. рис. 19). На затесе сторожка подписывают порядковый номер точки и номер бригады. На всем участке нумерация точек сквозная. В замкнутом ходе точки нумеруют по ходу часовой стрелки. Это прямое направление хода. Если двигаться в этом направлении, снимаемый участок все время будет находиться справа. Съёмочные пикеты обозначают в журнале и абрисе.

Результаты рекогносцировки отображают на глазомерно составляемой схеме. На ней показывают точки хода с их номерами,

примерное расположение снимаемых контуров и объектов. Схему перечерчивают в бригадный журнал и абрис буссольной съемки.

## *Съемка периметра полигона*

Работу на вершине и стороне хода начинают с составления абриса (рис. 35). На нем схематически изображают плановое положение контуров и объектов местности, расположенных вблизи съемочной точки (линии), надписывают их количественные и качественные характеристики. В процессе измерений абрис дополняют графическими построениями, числовыми и текстовыми надписями, указывающими на способ съемки и получаемые результаты. Обычно на странице абрисного журнала помещают результаты съемки с 1–2 станций или сторон.

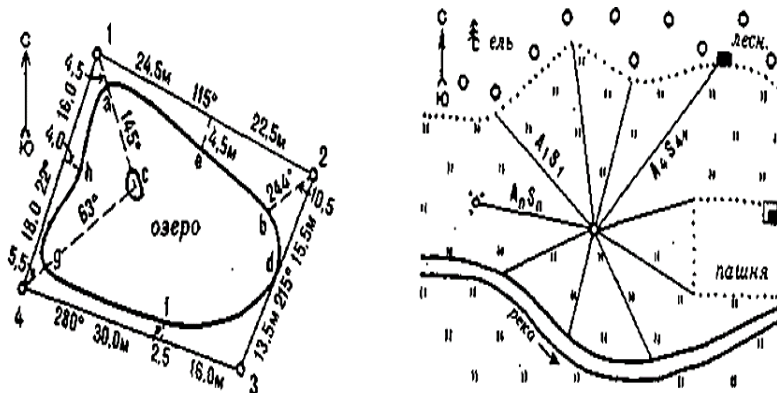


Рис. 35. Абрис буссольного полигона

Угловые измерения выполняют после центрирования, нивелирования и ориентирования прибора по магнитной стрелке. Сначала визируют на заднюю, затем на переднюю точки хода. Отсчеты читают по двум верньерам (по I – градусы и минуты, по II – только минуты). Из них выводят средние азимуты и записывают их в графы журнала буссольной съемки (табл. 16). Из прямого и обратного азимутов, если расхождение между ними не превышает 30', выводят средний азимут (гр. 5). При больших расхождениях

повторяют измерение на данной станции и, если оно выполнено правильно, возвращаются на предыдущую станцию, чтобы там проконтролировать работу. Причиной недопустимых расхождений обычно бывает невнимательность при установке прибора, его ориентировании, визировании и снятии отсчетов.

*Таблица 16*

Ведомость буссольной съемки

Номер вершин полигона	Магнитные азимуты		Средний магнитный азимут $A_{Mcp(пр)}$	Магнитный румб соответств. $A_{Mcp(пр)}$	Измеренная длина сторон		Среднее значение, $L_{ср}$	Угол наклона $\gamma$ , град	Горизонтальное проложение измеренной длины, $d_{измер}$
	Прямо $A_{Mпр}$	Обратно $A_{Mобр}$			$L_1$ , м	$L_2$ , м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

В нашем примере полигон имеет четыре вершины. Измерения проводятся в каждой вершине при соблюдении порядка обхода полигона по ходу часовой стрелки (см. рис. 35).

Если буссоль установлена в вершине 1, то измеряется прямой магнитный азимут  $A_{M1-2}$  стороны 1–2 и обратный магнитный азимут  $A_{M1-4}$  стороны полигона 4–1. В вершине 2 измеряются  $A_{M2-3}$  – прямой магнитный азимут стороны полигона 2–3 и обратный  $A_{M2-1}$  стороны 1–2 и т. д. Результаты измерений заносятся в ведомость полевых измерений.

По значениям  $A_{пр}$  прямых и  $A_{обр}$  обратных азимутов вычисляются средние азимуты каждой стороны полигона:

$$A_{ср(пр)} = \frac{A_{пр} + A_{обр} \pm 180^\circ}{2},$$

и румбы сторон, соответствующие этим средним азимутам (рис. 36):

- I четверть, СВ  $r_{(CB)} = A_{cp}, (CB)$ ;  
 II четверть, ЮВ  $r_{(ЮВ)} = 180^\circ - A_{cp}, (ЮВ)$ ;  
 III четверть, ЮЗ  $r_{(ЮЗ)} = A_{cp} - 180^\circ, (ЮЗ)$ ;  
 IV четверть, СЗ  $r_{(СЗ)} = 360^\circ - A_{cp}, (СЗ)$ .

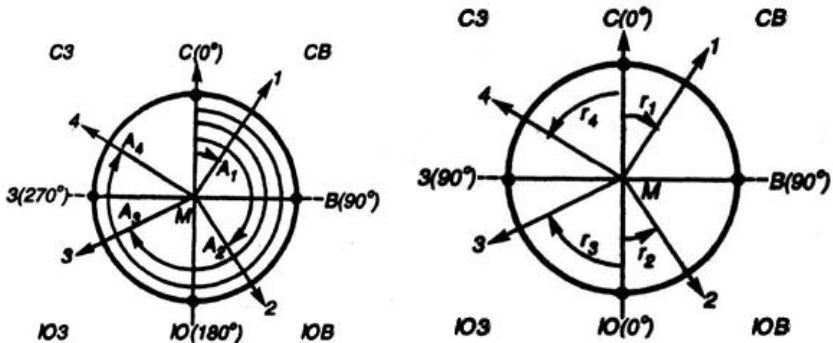


Рис. 36. Связь азимутов и румбов

Измерение длин сторон полигона выполняется стальной мерной лентой (рулеткой) дважды, т. е. в прямом  $L_{пр}$  и обратном  $L_{обр}$  направлениях. Из двух значений длин каждой стороны вычисляются средние величины  $L_{cp}$

$$L_{cp} = \frac{L_{пр} + L_{обр}}{2}.$$

Одновременно с определением длин сторон измеряют их углы наклона к горизонту  $v$  эклиметром или любым другим прибором. Результаты измерений заносят в ведомость (см. табл. 16).

Вычисляют горизонтальное проложение средних значений длин сторон

$$L_{гор} = L_{cp} \cos v.$$

Расхождения между прямым и обратным измерениями не должны превышать  $1/500$  расстояния, измеренного в неблагоприятных условиях местности, и  $1/1000$  – в благоприятных. Отсчеты с ленты снимают с точностью до десятых долей метра.

### 3.3.3. Съёмка ситуации

Сразу после окончания измерений углов хода на станции снимаются объекты, положение которых выгодно определять полярным способом и угловыми засечками. На таких объектах при необходимости выставляются вехи и их местоположение отображается в абрисе.

*Полярный способ* целесообразно применять при работе буссолью БГ-2. Полярные углы в виде отсчетов по лимбу буссоли можно определять от направления на заднюю (переднюю) точку хода или от северного направления магнитной стрелки. О принятом вами способе измерений делают отметку в буссольном журнале и абрисе. При съёмке ситуации полярным способом отсчеты с горизонтального круга буссоли снимают по одному верньеру. Расстояния до точек, снимаемых с вершин и сторон хода, измеряются один раз. Углы наклона на таких линиях измеряют, начиная с  $6^\circ$ .

*Способ перпендикуляров* (ординат или прямоугольных координат) применяется на открытой местности для съёмки контуров вытянутой формы и местных предметов, расположенных вблизи сторон буссольного хода. Сторона буссольного хода (например, АВ на рис. 37) принимается за ось абсцисс, а точка А – за начало координат.

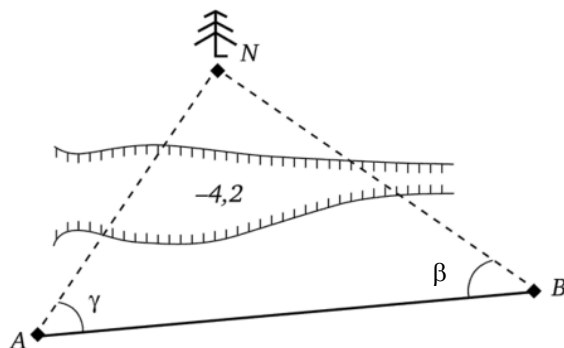


Рис. 37. Съёмка ситуации способом угловых засечек

Положение снимаемых точек 1–3 определяется длинами перпендикуляров  $l_1, l_2, l_3$  и расстояниями  $d_1, d_2, d_3$  от точки А буссольного хода до основания соответствующего перпендикуляра. Перпендикуляры небольшой длины (4–8 м при съемках масштабов 1:500–1:2000) определяют на глаз, а при большей их длине – с помощью экера.

*Способ биполярных координат (засечек).* Для съемки труднодоступных точек на открытой местности целесообразно применять способ угловых засечек. Для этого в точках А и В (см рис. 37) с помощью буссоли измеряют углы  $\gamma$  и  $\beta$  между стороной буссольного хода АВ и направлениями на снимаемую точку N. Точка N на плане будет получена в пересечении направлений, построенных по этим углам. Следует иметь в виду, что наиболее выгодным является случай, когда угол при засекаемой точке N близок к  $90^\circ$ . Углы  $\gamma$  и  $\beta$  должны соответствовать значению  $30\text{--}150^\circ$ .

## 3.4. Камеральные работы

### 3.4.1. Проверка и обработка полевых измерений

В журнале буссольной съемки проверяют вычисления азимутов и длин сторон. Все прямые азимуты переводят в румбы и записывают их в 5-ю графу журнала. Если материалы буссольной съемки будут использоваться для составления плана, геодезической основой которого являются пункты государственной геодезической сети, то магнитные азимуты переводят в дирекционные углы. При проверке правильности измерения линий вновь вычисляют средние значения сторон ходов, абсолютную и относительную погрешности. Проверенное горизонтальное проложение стороны записывают в гр. 8 журнала.

Если в замкнутом ходе, кроме азимутов, измерены все внутренние углы, то находят их сумму и вычисляют угловую невязку, по величине которой судят о качестве угловых измерений. Угловая невязка в полигоне не должна превышать величины  $\pm 10' \sqrt{n}$ , где  $n$  – число углов поворота.



### 3.4.2. Составление плана по данным буссольной съемки

На основании ведомости полевых измерений и абриса вычерчивается план участка местности буссольной съемки в туши по условным знакам. Масштаб плана, особенности его оформления согласовываются с преподавателем.

При составлении плана вначале на листе бумаги выбирают северное направление меридиана так, чтобы все точки полигона разместились на этом плане. Для построения азимутов (румбов) сторон полигона пользуются транспортиром, а длины линий этих сторон откладывают в масштабе по линейке.

Наметив на плане положение вершины  $I$ , проводят через нее линию, параллельную принятому северному направлению меридиана. Затем от вершины  $I$  транспортиром строят румб первой стороны полигона  $1-2$ , равный в нашем примере СВ  $19^{\circ}30'$ . Проводят линию под этим углом и откладывают на этой линии длину стороны  $1-2$ , выраженную в масштабе плана, в рассматриваемом примере эта длина равна  $57,10$  м. Так получают положение вершины  $2$ . Построение всех остальных вершин полигона на плане производится аналогично.

Для контроля обязательно нужно построить румб последней стороны полигона (в нашем примере это сторона  $5-1$ , СЗ  $74^{\circ}30'$ ) и отложить в масштабе длину этой стороны, равную  $51,8$  м. Вследствие ошибок полевых измерений или ошибок графических построений вершина  $1$  не совпадает с начальным своим положением, а займет новое положение  $1'$  (рис. 38).

Отрезок несовпадения положения вершины  $1$  на плане представляет линейную невязку  $\Delta$ , истинную величину которой нужно определить по масштабу с плана (циркулем-измерителем и масштабной линейкой). Относительная невязка не должна превышать

$1:200$ , т. е.  $\frac{\Delta}{P} \leq \frac{1}{200}$  (периметр полигона обозначается буквой  $P$ ).

Если данное неравенство не выполняется, необходимо проверить правильность построения плана. В том случае, если ошибка в построении плана не обнаружена, то необходимо проверить полевые измерения – длины сторон полигона и азимуты.

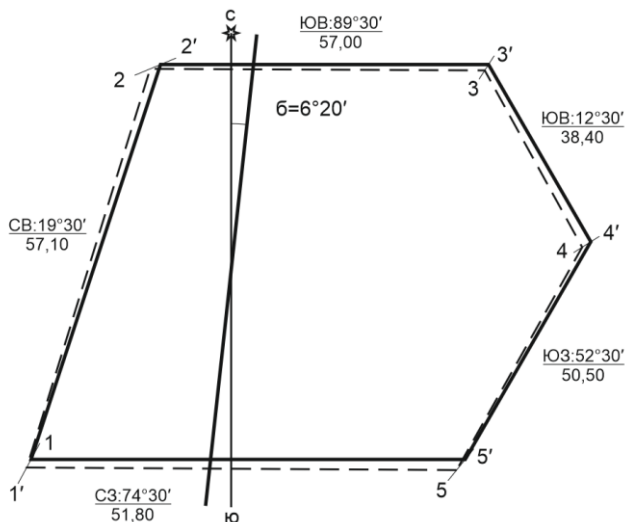


Рис. 38. План полигона буссольной съемки

Если линейная невязка не превышает допустимых значений, ее распределяют пропорционально длинам сторон графическим способом (рис. 39).

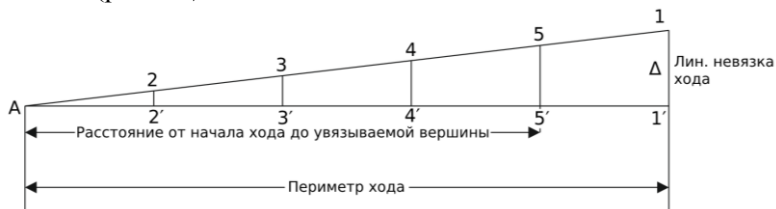


Рис. 39. График поправок

### 3.4.3. Графический способ распределения невязки способом параллельных линий

Для того чтобы получить величину невязок для вершин углов, необходимо периметр полигона развернуть в одну прямую линию (см. рис. 39). На прямой последовательно откладываются длины линий в произвольном масштабе (обычно в 2–3 раза мельче масштаба

плана). С 1' точки восстанавливается перпендикуляр, на котором откладывается  $\Delta$  (величина 1–1' в мм) в масштабе плана. Точка 1 соединяется с концом построенного перпендикуляра. Из каждой отложенной точки необходимо восстановить перпендикуляры до пересечения с этой прямой. Величины полученных отрезков будут соответствовать величинам поправок на соответствующие точки. Их измеряют линейкой или циркулем и откладывают на соответствующие стороны, предварительно задав направление (см. рис. 38). Для этого между точками 1'–1 проводят линию-направление со стрелкой, стрелка указывается в сторону от 1' к 1). Такие же стрелки проводят параллельно уже построенной из каждой станции плана и на них откладывают величины перпендикуляров. Затем новые точки 1', 2', 3', 4', 5' соединяют, получая план с учетом невязки.

### 3.4.4. Оформление работы

После распределения невязки вершины полигона получают окончательное (увязанное) положение. Когда основные точки и линии нанесены на план, можно наносить ситуацию.

По окончании работы над вычерчиванием плана все вспомогательные линии, лишние размеры, взятые с абриса для построения плана, на чистой вариант не наносятся, а их первоначальное изображение (в карандаше) удаляется.

К отчету по данной работе представляются:

- ведомость полевых измерений при буссольной съемке;
- абрис съемки;
- вычерченный план снятого участка местности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленное коллективом авторов учебное пособие является инструментом для освоения общего курса в целом и более подробно одного из разделов геодезии – топографии. Рассмотренные вопросы позволяют получить представление о видах съемок и составлении картографических материалов. Изложенные в нем актуальные практические подходы опираются на традиционные теоретические основы предмета.

На опыте авторами учебного пособия было замечено, что знакомство с предметом на начальном этапе обучения часто вызывает затруднения, поэтому при его разработке все сложные вопросы были тщательно рассмотрены, а при изучении нового материала применялся принцип от простого к сложному. Различные аспекты пособия позволяют облегчить понимание проведения геодезических изысканий и дальнейших камеральных работ. Это наглядно представленные геодезические инструменты и приборы, тщательно проработанные теоретические основы, детально разобранные примеры расчетов и др.

Коллектив авторов выражает уверенность, что использование данного пособия позволит развивать самостоятельные навыки по изучению и проведению полевых и камеральных работ в геодезии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10529-96. Теодолиты. Общие технические условия. – М. : ИПК Издательский стандарт, 1997. – 16 с.
2. ГОСТ 11897-94. Штативы для геодезических приборов. – М. : ИПК Издательский стандарт, 2001. – 9 с.
3. ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. – М. : ИПК Издательский стандарт, 1999. – 11 с.
4. Крымский индустриально-строительный техникум. Учебный процесс. – URL: <http://spokist.ru/attachments/article/>
5. Коковин П. А., Лукин Д. А. Учебная практика по геодезии : учеб.-метод. пособие для обучающихся. – Екатеринбург, 2016. – 41 с.
6. Дьяков Б. Н., Кузин А. А, Вальков В. А. Геодезия : учебник. – СПб. : Лань, 2020.
7. Лекции.Ком : образовательный сайт. – URL:<https://lektsii.com/3-29197.html/>
8. Пушкин А. А. Инженерная геодезия. Тахеометрическая съемка : метод. рекомендации. – Минск : Белорус. гос. технол. ун-т, 2009. – 52 с.
9. Студенческие реферативные статьи и материалы. – URL: <https://studref.com/>
10. Никулин А. С. Тахеометрические таблицы. – М. : Недра, 1964. – 315 с.
11. Составление топографического плана по результатам теодолитно-тахеометрической съемки : метод. указ. / сост. Г. В. Анчугова, С. С. Зубова. – Екатеринбург, 2015. – 28 с.

Учебное издание

*Сычугова Оксана Валерьевна*  
*Зубова Светлана Сергеевна*  
*Анчугова Галина Викторовна*  
*Постникова Светлана Сергеевна*

# ГЕОДЕЗИЯ

## ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

ISBN 978-5-94984-835-7



Редактор Е. Л. Михайлова  
Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 27.07.2022

Формат 60x84/16  
Уч.-изд. л. 4,21                      Печ. л. 5,58  
Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)  
Заказ № 7459

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Редакционно-издательский отдел. Тел.: 8(343) 221-21-44

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»  
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.  
Тел.: 8(343)362-91-16