

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Промышленное, гражданское строительство  
и городское хозяйство»

**Л.Н. Грицкив**

# **СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА МЕСТНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЁМКИ**

Электронное учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019

ISBN 978-5-8259-1451-0

УДК 528.063.1

ББК 26.12

Рецензенты:

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертный  
центр Кузнецова» *А.В. Кузнецов*;

канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное,  
гражданское строительство и городское хозяйство» Тольяттинского  
государственного университета *Е.М. Третьякова*.

Грицкив, Л.Н. Составление плана местности по результатам теодолитной съемки : электрон. учеб.-метод. пособие / Л.Н. Грицкив. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

В учебно-методическом пособии изложены общие сведения о теодолитной съемке, её назначении. Рассмотрен порядок выполнения полевых и камеральных работ. Подробно представлена обработка ведомости координат замкнутого и разомкнутого теодолитных ходов, а также построение плана теодолитной съемки. Предложен метод вычисления площадей аналитическим способом.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» профиль «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогасоснабжение и вентиляция» всех форм обучения высшего профессионального образования, а также для изучения дисциплины «Геодезия».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019

Редактор *Т.М. Воропанова*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*  
Иллюстративный материал: *Л.Н. Грицкив*

Дата подписания к использованию 09.09.2019.

Объем издания 2 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,  
первичная упаковка.

Заказ № 1-42-18.

Издательство Тольяттинского  
государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА .....	6
1.1. Назначение теодолитной съемки и порядок полевых и камеральных работ .....	6
1.2. Вычислительно-графическая обработка результатов полевых измерений .....	14
2. СУЩНОСТЬ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ .....	22
2.1. Прямая геодезическая задача .....	22
2.2. Обратная геодезическая задача .....	23
3. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА .....	25
3.1. Построение координатной сетки и нанесение станций теодолитного хода .....	25
3.2. Нанесение на план ситуации местности .....	27
3.3. Оформление контурного плана .....	29
3.4. Определение площади полигона .....	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	33
Приложение А .....	34
Приложение Б .....	35
Приложение В .....	36
Приложение Г .....	37
Приложение Д .....	38
Приложение Е .....	39
Приложение Ж .....	40
Приложение И .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Топографической съемкой называется комплекс полевых работ, выполняемых с целью получения топографического плана. Это означает, что вначале создают съемочное обоснование в виде съемочных сетей. Различают высотные и плановые съемочные геодезические сети. Определение координат пунктов съемочных геодезических сетей выполняют методами полигонометрии и триангуляции. Ходы плановых съемочных сетей, развиваемых методами полигонометрии, называют теодолитными ходами. Топографические съемки производятся согласно общему принципу геодезических работ – от общего к частному, следуя которому, сначала обрабатывают полевые данные, относящиеся к основному полигону, затем производят построение полигона в заданном масштабе, после чего наносят на план ситуацию по данным журнала измерений и абриса. Основной полигон строят по вычисленным координатам. Планы, составленные по результатам теодолитной съемки, используют для определения площадей отдельных контуров, для проектирования линейных сооружений, промышленных и гражданских зданий и т. д.

# 1. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

## 1.1. Назначение теодолитной съемки и порядок полевых и камеральных работ

Теодолитной съемкой называется один из видов наземных съемок; целью этой съемки является получение контурного плана местности, без изображения на нем рельефа. Теодолитная съемка относится к числу крупномасштабных (масштаб 1:5000 и крупнее), и чаще всего она выполняется на участках с равнинным рельефом и сложной ситуацией (застроенная территория, железнодорожные узлы, аэродромы и др.).

В качестве планового съемочного обоснования при теодолитной съемке обычно используют точки теодолитного хода. Угловые измерения на точках теодолитного хода выполняют теодолитами. По форме различают следующие виды теодолитных ходов:

- 1) замкнутый (полигон) – сомкнутый многоугольник, примыкающий к пункту планового геодезического обоснования;
- 2) разомкнутый или диагональный ход, начало и конец которого опираются на пункты геодезического обоснования.

Форма теодолитных ходов зависит от характера снимаемой территории. Так, при съемке населенных пунктов, строительных площадок, промышленных площадок предприятий и др. обычно по границе участка прокладывают замкнутый полигон. Для обеспечения съемки всех предметов и контуров местности внутри полигона при необходимости прокладывают диагональный ход, например, 5–7–8–2 (рис. 1).

Теодолитная съемка состоит из подготовительных, полевых и камеральных работ. Наибольший объем приходится на полевые работы, которые включают:

- рекогносцировку снимаемого участка;
- измерение углов и линий теодолитного хода;
- привязку к пунктам государственной геодезической сети;
- съемку контуров местности.

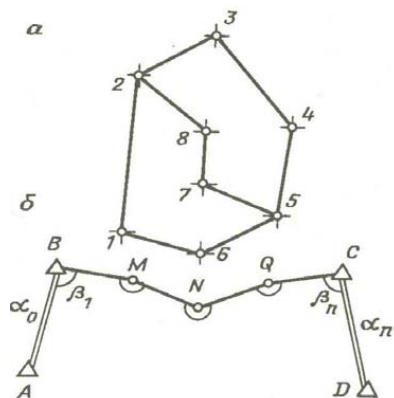


Рис. 1. Схемы теодолитных ходов: *a* – замкнутого (1–2–3–4–5–6–1), диагонального (5–7–8–2); *б* – разомкнутого

При подготовительных работах подбирают и изучают имеющиеся в наличии картографические материалы (планы, карты и профили). На основе имеющихся планов и карт крупных масштабов намечают теодолитные ходы. Длины теодолитных ходов не должны превышать установленных величин: при съемке масштаба 1:500 – 0,6 км; 1:1000 – 1,2 км; 1:2000 – 2,0 км; 1:5000 – 4,0 км.

Рекогносцировка представляет собой обход и осмотр местности с целью отыскивания пунктов опорной геодезической сети, окончательного выбора местоположения точек теодолитных ходов и их закрепления. Точки теодолитных ходов располагают в местах с хорошим обзором местности; между смежными сторонами должна быть хорошая взаимная видимость. Длины сторон теодолитных ходов не должны быть более 350 м и менее 20 м, а углы наклона линий не должны превышать  $5^\circ$ .

Прокладка теодолитных ходов включает производство угловых и линейных измерений. В теодолитных ходах правые или левые углы поворота измеряют теодолитом при двух положениях вертикального круга. За окончательное значение принимают среднее из двух значений, если разница из этих измерений не превышает двойной точности прибора.

Стороны измеряют мерной лентой или дальномерами в прямом и обратном направлениях с относительными ошибками не более

1:3000, 1:2000, 1:1000, 1:500 в зависимости от условий местности. Дальномерами называют приборы, предназначенные для определения расстояний на местности без непосредственного их измерения.

Углы наклона линий измеряют с помощью вертикального круга теодолита. Поправки за угол наклона в измеренные расстояния вводятся, если углы наклона превышают  $2^\circ$ . Результаты угловых и линейных измерений записывают в специальный журнал.

Для получения координат точек теодолитных ходов в государственной системе координат теодолитные ходы следует привязывать к пунктам геодезической опорной сети. Сущность привязки состоит в передаче с опорных пунктов плановых координат на одну из точек теодолитного хода и дирекционного угла на одну или несколько его сторон.

Основными полевыми документами теодолитной съемки являются журнал измерения, куда заносят результаты угловых и линейных измерений в теодолитных ходах съёмочного обоснования, и журнал съемки ситуации (абрис), где так же ведут схематические зарисовки снимаемых участков и записывают результаты привязки ситуации местности. Абрис служит основным документом, по которому составляют план, поэтому большое значение имеет аккуратность всех записей, ясность, к каким точкам контура эти записи относятся.

Съемка контуров местности с пунктов и сторон теодолитных ходов производится способами: прямоугольных, полярных координат, угловых и линейных засечек, створов, обмеров сооружений. Контур — это граница местных предметов, сооружений, естественных угодий.

Применение того или иного способа зависит от условий местности и целей, с которыми производят работу.

### ***Способ перпендикуляров (прямоугольных координат)***

Данный способ применяют при съемке ситуации и местных предметов, имеющих правильные геометрические формы — здания, а также криволинейные контуры: реки, дороги и другие вытянутые контуры (рис. 2).



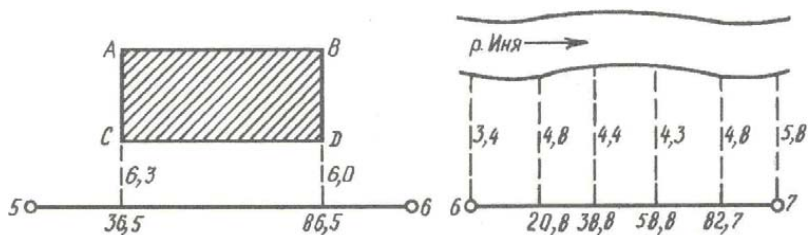


Рис. 2. Схема съемки ситуации методом перпендикуляров

Измеряют длины перпендикуляров, опущенных из определяемых точек на стороны теодолитного хода, измеряются также расстояния от точки хода до основания перпендикуляра. Как правило, перпендикуляры строятся на глаз, но при этом его длина не должна превышать 4, 6, и 8 м при съемке в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000 соответственно. При необходимости построения перпендикуляров большей длины используют специальные приборы – экеры.

Для построения углов здания на плане соединяют ранее нанесенные точки теодолитного хода 5–6 и 6–7, откладывают по полученному створу значения абсцисс  $X$  в масштабе съемки, строят с помощью угольника перпендикуляры и откладывают в соответствующем масштабе значения ординат  $Y$ . Полученные точки соединяют и получают изображение на плане фасада здания и контур береговой линии реки.

### ***Способ полярных координат, или полярный способ***

Съемочные точки определяют в системе полярных координат. На рис. 3 за полярную ось принимается сторона теодолитного хода 9–10, а за полюс – точка 9. Положение точек контура луговой растительности определяют полярными углами  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и полярными расстояниями 9–1, 9–2, 9–3. Полярные расстояния измеряют рулеткой или дальномером от точки полюса 9 до снимаемых точек. Полярные углы измеряют теодолитом одним полуприемом.

Для построения точек на плане транспортиром откладывают от направления 9–10 полярные углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и по полученным направлениям отмеряют от точки 9 полярные расстояния в масштабе съемки.

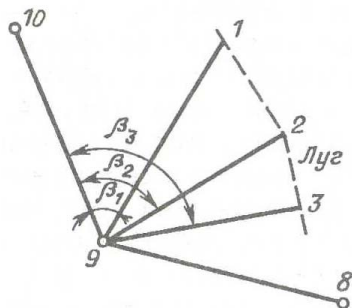


Рис. 3. Полярный способ съемки ситуации

### **Способ угловых засечек**

Этот способ удобно применять при съемке труднодоступных контуров, например, при съемке противоположного берега реки (рис. 4). В этом способе на точках теодолитного хода 4 и 5 теодолитом измеряют одним полуприемом углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  между стороной хода и направлением на предмет. Углы должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Для построения точек на плане откладывают по транспортиру в точках теодолитного хода значения углов  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ , проводят направления, и положение точек определяют по пересечению полученных линий.

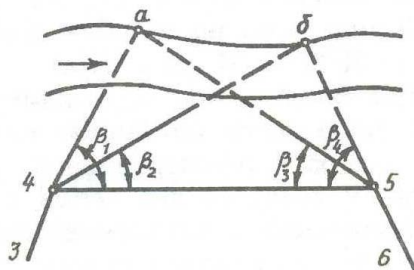


Рис. 4. Съемка ситуации способом угловых засечек

### **Способ линейных засечек**

Данный способ удобно применять при съемке зданий, расположенных вблизи сторон теодолитного хода (рис. 5). В этом случае

положение точки  $A$  определяют измерением расстояний  $4A$ ,  $4C$  и  $CA$ . Эти расстояния измеряют мерной лентой или рулеткой, и они должны быть примерно равными. На плане положение точек  $A$  и  $B$  определяют как пересечение засечек циркуля с длинами  $4A$  и  $CA$ ,  $DB$  и  $BN$ .

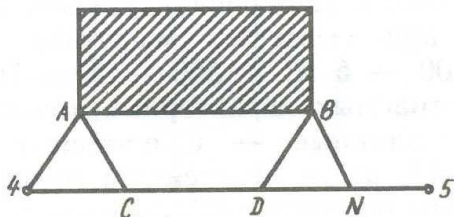


Рис. 5. Съемка ситуации способом линейных засечек

### *Способ створов*

Данный способ применяют при съемке точек, расположенных в створе линии теодолитного хода (рис. 6). Этот способ широко используют при внутриквартальной съемке. Измеряются расстояния по створу линий хода до точек пересечения со створом линий связи, линий электропередач, с осью дорог, тропинок, с границами контуров. На рис. 6,  $a$  – расстояние по створу  $AB$  от точки  $A$  до пересечения с ЛЭП – 6 кв.;  $b$  – расстояние от точки пересечения створов до опоры ЛЭП по створу ЛЭП;  $c$  – расстояние от точки  $B$  по створу  $BC$  до пересечения с осью тропинки;  $d$  – расстояние по створу  $BC$  от точки  $B$  до пересечения с границей между контурами пашни и луга.

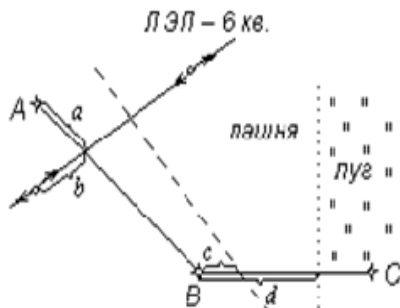


Рис. 6. Съемка ситуации способом створов

Результаты измерений при съемке заносят в схематический чертеж — абрис, масштаб которого принимается произвольным. Абрис служит основным документом, по которому составляют план, поэтому большое значение имеет аккуратность всех записей, ясность, к каким точкам контура эти записи относятся. На абрисе показаны все снимаемые точки с соблюдением порядка и взаимного расположения контуров местности между собой и относительно съемочного обоснования, а также результаты измерений — угловых и линейных между съемочным обоснованием и характерными точками ситуации. В абрисе дается необходимая характеристика ситуации. Например, характеристика построек, их этажность, типы покрытия дорог, их ширина, характеристика растительности. Абрис ведут карандашом четко и аккуратно с записями всех выполненных при съемке угловых и линейных измерений.

Указанные виды работ относят к полевым геодезическим работам.

После окончания всех полевых работ — всех измерительных и съемочных работ на местности — приступают к камеральной обработке результатов полевых измерений.

Камеральную обработку начинают с проверки правильности всех записей и вычислений, сделанных в журнале, а также вычисления поправок за наклон сторон теодолитного хода.

Дальнейшая обработка результатов полевых измерений включает следующие действия:

- уравнивание угловых измерений и вычисление дирекционных углов и румбов сторон;
- уравнивание приращений и вычисление координат вершин теодолитного хода;
- построение плана участка теодолитной съемки;
- вычисление площади полигона аналитическим способом.

### **Составление плана теодолитной съемки участка местности**

Цель работы: вычислить координаты станций теодолитного хода и построить план участка местности.

## **Исходные данные для выполнения работы**

1. Схема теодолитных ходов с результатами угловых и линейных измерений на местности в съемочном обосновании (прил. А, Б, В).
2. Прямоугольные координаты ( $X$  и  $Y$ ) первой станции теодолитного хода (прил. Е, Д).
3. Дирекционный угол стороны 1–2 теодолитного хода (прил. Г).
4. Абрис съемки ситуации участка местности (прил. А, В).
5. Масштаб съемки участка местности 1:500 (для студентов очной формы обучения) и 1:1000 (для студентов заочной формы обучения).

## **Программа работы**

1. Изучить суть теодолитной съемки, состав работы, порядок, способы и точность полевых измерений, применяемые инструменты.

2. Вычислительно-графическая обработка результатов полевых измерений:

- выполнить уравнивание и оценку точности угловых измерений;
- вычислить дирекционные углы и румбы сторон;
- выполнить уравнивание и оценку точности линейных измерений;
- вычислить координаты вершин замкнутого и разомкнутого теодолитных ходов.

3. Построить и оцифровать на листе ватмана координатную сетку. Нанести по координатам вершины теодолитного хода. Масштаб плана 1:500 (для студентов очной формы обучения) и 1:1000 (для студентов заочной формы обучения).

4. В соответствии с абрисом нанести на план ситуацию участка местности.

5. Оформить план теодолитной съемки в соответствии с условными знаками для масштаба плана 1:500 (для студентов очной формы обучения) и 1:1000 (для студентов заочной формы обучения).

6. Вычислить площадь полигона аналитическим способом: по координатам вершин теодолитного хода.

## 1.2. Вычислительно-графическая обработка результатов полевых измерений

1. Уравновешивание и оценка точности угловых измерений замкнутого теодолитного хода (прил. Д, Е, Ж)

• Вычисляют сумму внутренних измеренных (правых по ходу) горизонтальных углов:

$$\sum \beta_{\text{изм}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_n. \quad (1.1)$$

• Вычисляют теоретическую сумму углов полигона:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ(n - 2), \quad (1.2)$$

где  $n$  – количество внутренних измеренных горизонтальных углов полигона.

• Вычисляют угловую невязку – разность между практической суммой измеренных углов и теоретической суммой:

$$f_{\beta_{\text{изм}}} = \sum \beta_{\text{изм}} - 180^\circ(n - 2). \quad (1.3)$$

• Для углов, измеренных теодолитом тридцатисекундной точности полным приемом, допустимая предельная невязка суммы углов определяется по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 2 \cdot m_{\beta} \cdot \sqrt{n}, \quad (1.4)$$

где  $m_{\beta}$  – средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним приемом;  $n$  – количество измеренных углов.

• Сравнивают  $f_{\beta}$  и  $f_{\beta_{\text{доп}}}$ ; если  $f_{\beta} \leq f_{\beta_{\text{доп}}}$ , т. е. погрешности в угловых измерениях находятся в допустимых пределах, вычисляют поправку в каждый измеренный угол:

$$\delta_{\beta} = -\frac{\pm f_{\beta}}{n}. \quad (1.5)$$

• Знак поправки противоположен знаку невязки. Поправку надписывают над каждым измеренным углом в долях минуты красным цветом.

• Контроль введения поправок:

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta}. \quad (1.6)$$

• Вычисляют горизонтальные углы с учетом поправок:

$$\beta_{\text{испр}} = \sum \beta_{\text{изм}} \pm \delta_{\beta}. \quad (1.7)$$

- Контролируют правильность увязки углов, для чего подсчитывают сумму  $\sum_1^n \beta_{\text{испр}}$  (увязанных) углов и убеждаются в соблюдении условия:

$$\sum_1^n \beta_{\text{испр}} = \sum_1^n \beta_{\text{теор}} \cdot \quad (1.8)$$

## 2. Вычисление дирекционных углов сторон теодолитного хода

- *Дирекционным углом* называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до направления данной линии. Дирекционный угол одной и той же линии в разных ее частях одинаков. Дирекционный угол изменяется от 0 до 360°. По исходному дирекционному углу и увязанным углам полигона вычисляют дирекционные углы всех остальных сторон теодолитного хода.

- За исходный дирекционный угол в задании принимают дирекционный угол стороны теодолитного хода между станциями 1 и 2 согласно варианту задания.

- По исходному дирекционному углу и увязанным горизонтальным углам вычисляют дирекционные углы всех направлений (сторон) по формуле связи дирекционных углов и правых горизонтальных углов теодолитного хода:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_{\text{пр.испр}}, \quad (1.9)$$

где  $\alpha_n$  — дирекционный угол последующей стороны;  $\alpha_{n-1}$  — дирекционный угол предыдущей стороны.

- По известному дирекционному углу  $\alpha_{1-2}$  и по исправленным углам  $\beta$  вычисляют дирекционные углы всех сторон замкнутого хода по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2 \text{ испр}} \\ \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{3 \text{ испр}} \\ \alpha_{4-1} &= \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_{4 \text{ испр}} \\ \alpha_{n-1} &= \alpha_{(n-1)-n} + 180^\circ - \beta_{n \text{ испр}} \end{aligned} \quad (1.10)$$

- Контролем вычисления дирекционных углов является получение дирекционного угла стороны 1–2 полигона (рис. 7).

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_{1 \text{ испр}} \cdot \quad (1.11)$$

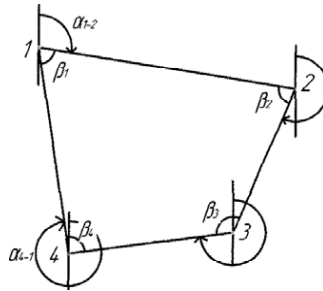


Рис. 7. Схема дирекционных углов сторон теодолитного хода

- По дирекционным углам вычисляют румбы по формулам связи их с дирекционными углами. *Румбом* называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до направления данной линии. Румбы изменяются в пределах от 0 до 90° и сопровождаются названиями СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ.

3. *Вычисление приращений координат. Уравновешивание и оценка точности линейных измерений*

- Вычисляют приращения координат по формулам:

$$\Delta X = D \cdot \cos(r); \quad (1.12)$$

$$\Delta Y = D \cdot \sin(r), \quad (1.13)$$

где  $D$  – горизонтальное проложение стороны;  $r$  – румб линии.

- Знаки приращений координат определяют по названию румба и номеру четверти (рис. 8).

	Знаки приращений координат	
	$\Delta X$	$\Delta Y$
I СВ	+	+
II ЮВ	-	+
III ЮЗ	-	-
IV СЗ	+	-

Рис. 8. Связь дирекционных углов и румбов



- Значения  $\cos(r)$  и  $\sin(r)$  находят по пятизначным таблицам натуральных значений тригонометрических функций.

- Суммируют все вычисленные приращения:

$$\sum \Delta X_{\text{выч}} = \pm \Delta X_{1-2} \pm \Delta X_{2-3} \pm \Delta X_{3-4} \pm \Delta X_{4-1}; \quad (1.14)$$

$$\sum \Delta Y_{\text{выч}} = \pm \Delta Y_{1-2} \pm \Delta Y_{2-3} \pm \Delta Y_{3-4} \pm \Delta Y_{4-1}. \quad (1.15)$$

- Вычисляют теоретическое значение сумм приращений координат.

- Из аналитической геометрии следует: сумма проекций сторон многоугольника на координатные оси равна нулю. Следовательно, теоретические суммы приращений координат замкнутого полигона должны быть равны нулю (рис. 9).

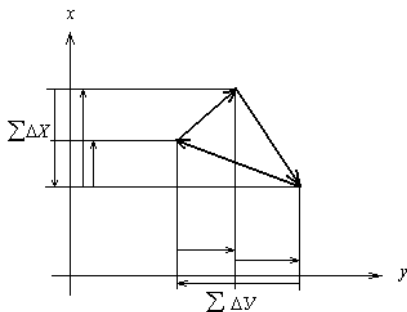


Рис. 9. Проекции векторов на координатные оси

- Вычисляют невязки в полученных приращениях:

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta X_{\text{выч}} - \sum \Delta X_{\text{теор}} = \sum \Delta X_{\text{выч}} = 0,08 \text{ м}; \quad (1.16)$$

$$f_{\Delta y} = \sum \Delta Y_{\text{выч}} - \sum \Delta Y_{\text{теор}} = \sum \Delta Y_{\text{выч}} = 0,06 \text{ м}. \quad (1.17)$$

- Вычисляют линейную невязку в периметре замкнутого теодолитного хода (рис. 10):

$$f_{\text{Д}} = \sqrt{f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2} = \sqrt{0,08^2 + 0,06^2} = 0,1 \text{ м}, \quad (1.18)$$

где  $f_{\text{Д}}$  – величина несовпадения (незамыкания) точек 1 и 1' вследствие наличия невязок. Невязки  $f_{\Delta x}$  и  $f_{\Delta y}$  являются приращением линейной невязки или ее проекциями на координатные оси.

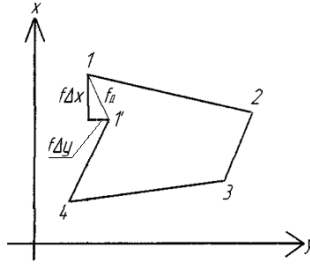


Рис. 10. Линейная невязка в теодолитном ходе

• Оценку точности линейных измерений выполняют по относительной погрешности.

$$\frac{1}{N} = \frac{f_{\Delta}}{\sum D} = \frac{0,1 \text{ м}}{439 \text{ м}} = \frac{1}{4390}, \quad (1.19)$$

где  $f_{\Delta}$  — абсолютная линейная погрешность в периметре хода. Чем больше периметр, тем большее допускают значение  $f_{\Delta}$ . В ходе вычисляют относительную погрешность линейных измерений.

• Периметр хода может быть принят для вычислений до целых метров. При средних условиях измерения (спокойная, слабопересеченная местность) допустимая относительная погрешность линейных измерений в теодолитных ходах установлена:

$$\frac{1}{N} \text{ доп} = \frac{1}{2000}. \quad (1.20)$$

• Сопоставляя две относительные погрешности — вычисленную по результатам измерений и допустимую — находим, что линейные измерения произведены на местности в пределах установленного допуска:

$$\frac{1}{N} < \frac{1}{N} \text{ доп}. \quad (1.21)$$

• Уравновешивают вычисленные приращения введением поправок:

$$\delta_{\Delta x 100} = - \left( \frac{\pm f_{\Delta x}}{\sum D_{100}} \right); \quad (1.22)$$

$$\delta_{\Delta y 100} = - \left( \frac{\pm f_{\Delta y}}{\sum D_{100}} \right), \quad (1.23)$$

где  $\delta_{\Delta x 100}$  и  $\delta_{\Delta y}$  — поправки, вычисленные для приращений координат на сто метров периметра теодолитного хода.

- Для каждого отдельно взятого приращения поправку получают умножением  $\delta_{\Delta x_{100}}$  и  $\delta_{\Delta y}$  на длину горизонтального проложения каждой стороны в сотнях метров:

$$\delta_{\Delta xi} = \delta_{\Delta x_{100}} \cdot D_{i100}; \quad \delta_{\Delta yi} = \delta_{\Delta y_{100}} \cdot D_{i100}. \quad (1.24)$$

- Поправки надписывают красным цветом над соответствующим приращением.

- Контролем вычисления поправок является равенство суммы поправок и невязки в периметре полигона.

- Вычисляют исправленные приращения координат с учетом поправок:

$$\Delta X_{\text{испр}} = \Delta X_{\text{ивыч}} \pm \delta_{\Delta xi}; \quad (1.25)$$

$$\Delta Y_{\text{испр}} = \Delta Y_{\text{ивыч}} \pm \delta_{\Delta y}. \quad (1.26)$$

- Контролем введения поправок является получение равенства:

$$\sum \Delta X_{\text{испр}} = \sum \Delta X_{\text{теор}} = 0; \quad (1.27)$$

$$\sum \Delta Y_{\text{испр}} = \sum \Delta Y_{\text{теор}} = 0. \quad (1.28)$$

#### 4. Вычисление координат вершин замкнутого теодолитного хода

- За исходные координаты принимают значение абсциссы и ординаты станции, указанные в задании.

- Координаты последующей вершины равны координатам предыдущей плюс приращения (со своим знаком) между этими вершинами:

$$X_n = X_{n-1} \pm \Delta X_{n-1}; \quad (1.29)$$

$$Y_n = Y_{n-1} \pm \Delta Y_{n-1}. \quad (1.30)$$

Контролем вычисления координат в замкнутом теодолитном ходе является определение координат исходной вершины хода (в примере – вершина 1).

#### 5. Уравновешивание и оценка точности угловых и линейных измерений диагонального теодолитного хода (прил. Ж)

- Вычисляют теоретическую сумму измеренных углов в ходе по формуле

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{начал}} + 180^\circ \cdot n - \alpha_{\text{конеч}}, \quad (1.31)$$

где  $\alpha_{\text{начал}}$  — исходный начальный (опорный) дирекционный угол;  $\alpha_{\text{конеч}}$  — исходный конечный (опорный) дирекционный угол;  $n$  — число измеренных углов в ходе.

- Контролем вычисления дирекционных углов в диагональном ходе является получение в конце значения дирекционного угла конечной (опорной) стороны.

- Теоретическую сумму приращений координат вычисляют как разность конечной и начальной вершин (пунктов)

$$\sum \Delta X_{\text{теор}} = X_{\text{конеч}} - X_{\text{начал}}, \quad (1.32)$$

$$\sum \Delta Y_{\text{теор}} = Y_{\text{конеч}} - Y_{\text{начал}}.$$

- Невязки в приращениях определяются:

$$f_{\Delta X} = \sum \Delta X_{\text{выч}} - \sum \Delta X_{\text{теор}}, \quad (1.33)$$

$$f_{\Delta Y} = \sum \Delta Y_{\text{выч}} - \sum \Delta Y_{\text{теор}}.$$

- Контролем введения поправок в приращения является равенство сумм исправленных приращений и теоретических сумм.

- Контролем вычисления координат является получение в конце вычислений координат конечного пункта (вершины).

### Вопросы для контроля

1. Какова цель теодолитной съемки?
2. Что является съёмочным обоснованием для выполнения теодолитной съемки?
3. Каково назначение диагонального хода?
4. Перечислите виды геодезических измерений, которые выполняют в поле при создании съёмочного обоснования теодолитной съемки.
5. Перечислите основные способы съемки контуров местности.
6. Какие полевые документы (журналы) ведут при производстве теодолитной съемки?
7. Перечислите приборы (основные и вспомогательные), которые применяют при производстве теодолитной съемки.
8. Как вычислить угловую невязку и ее допустимую величину в полигоне и диагональном ходе?
9. Какой порядок увязки углов?

10. Формулы, порядок вычисления и контроля дирекционных углов сторон теодолитного хода (замкнутого и разомкнутого).
11. Как определяют невязку в приращениях координат и ее допустимую величину в полигоне и диагональном ходе и каково правило увязки приращений координат?
12. Контроль вычисления и введения поправок в приращения координат.
13. Как вычисляют координаты вершин теодолитного хода и как контролируют вычисления?

## 2. СУЩНОСТЬ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

### 2.1. Прямая геодезическая задача

Прямая геодезическая задача заключается в том, что по известным координатам  $X_1$  и  $Y_1$  первой точки, известному румбу или дирекционному углу  $\alpha_{1-2}$  и горизонтальному проложению  $D_{1-2}$  вычисляют координаты точки 2:  $X_2$  и  $Y_2$  (рис. 11).

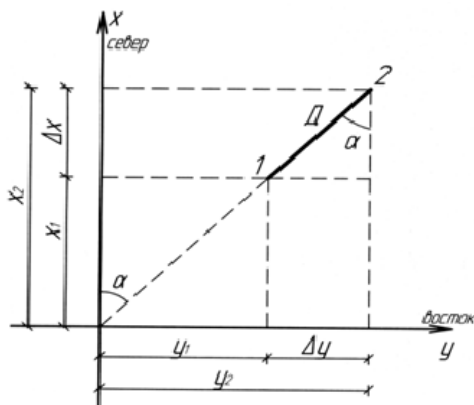


Рис. 11. Прямая и обратная геодезическая задача

Дано:  $X_1$  и  $Y_1$ ;  $\alpha_{1-2}$ ;  $D_{1-2}$ .

Вычислить:  $X_2$ ,  $Y_2$

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2}, \quad (2.1)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2},$$

где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  – приращения координат.

Из прямоугольного треугольника

$$\Delta X_{1-2} = D_{1-2} \cos \alpha_{1-2}, \quad (2.2)$$

$$\Delta Y_{1-2} = D_{1-2} \sin \alpha_{1-2}.$$

Для определения  $\cos \alpha$  и  $\sin \alpha$  в первой четверти можно пользоваться дирекционным углом, а в остальных четвертях – румбами линий. Знаки приращений координат зависят от знаков  $\cos$  и  $\sin$  по четвертям (рис. 12).

## 2.2. Обратная геодезическая задача

Обратная геодезическая задача заключается в том, что по известным координатам двух точек вычисляют дирекционный угол и горизонтальное проложение между этими точками.

Дано:  $X_1$  и  $Y_1$ ;  $X_2$  и  $Y_2$ .

Вычислить:  $\alpha_{1-2}$ ;  $D_{1-2}$ .

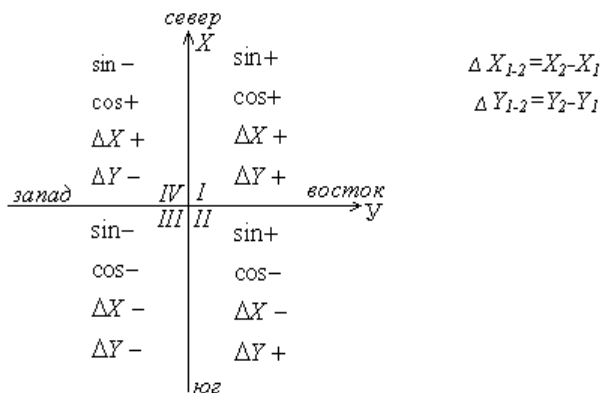


Рис. 12. Знаки приращений

$$\operatorname{tg} r_{1-2} = \frac{\Delta Y_{1-2}}{\Delta X_{1-2}}. \quad (2.3)$$

По таблицам натуральных значений тригонометрических функций определяют значение румба. По знакам  $\Delta Y$ ,  $\Delta X$  определяют его название (рис. 12). Затем по формулам связи дирекционных углов и румбов определяют  $\alpha_{1-2}$ ; вычисляют значение горизонтального проложения стороны:

$$D_{1-2} = \frac{\Delta y}{\cos r} = \frac{\Delta x}{\sin r}. \quad (2.4)$$

Прямая геодезическая задача применяется при вычислительных работах, связанных с созданием съемочного или разбивочного геодезического обоснования.

Обратная геодезическая задача применяется для вычисления разбивочных элементов при выносе проектов застройки в натуру.

### Вопросы для контроля

1. В чем сущность прямой геодезической задачи?
2. Какие исходные данные нужны для решения прямой геодезической задачи?
3. В каких случаях находят применение прямой геодезической задачи?
4. В чем сущность обратной геодезической задачи?
5. Какие исходные данные нужны для решения обратной геодезической задачи?
6. Какие знаки имеют приращения координат в зависимости от названия румбов их сторон? Показать на схемах.
7. В каких случаях применяют решение обратной геодезической задачи?



### 3. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА

#### 3.1. Построение координатной сетки и нанесение станций теодолитного хода

Построение плана теодолитной съемки начинают с построения на ватмане размером А1 координатной сетки со сторонами квадрата 10 см. Количество квадратов – 25 для масштаба 1:500 (для студентов очной формы обучения). Для определения числа квадратов координатной сетки для студентов заочной формы обучения поступают следующим образом. Складывая самую большую по абсолютному значению положительную и отрицательную абсциссы, получают наибольшее протяжение участка по оси абсцисс. Если эту величину разделить на размер одной стороны квадрата (100 м), то можно получить число квадратов по оси  $X$ . Аналогично подсчитывают число квадратов по оси ординат  $Y$ .

Сетку квадратов строят при помощи выверенной чертежной линейки, поперечного масштаба и циркуля-измерителя, а также в любой графической программе.

Для этого на листе ватмана проводят приблизительно по диагоналям листа бумаги две пересекающиеся прямые линии. Из точки их пересечения откладывают равные отрезки. Соединяют концы отрезков прямыми линиями, получают прямоугольник (квадрат).

Контролем построения является равенство длин диагоналей.

На сторонах прямоугольника (квадрата) откладывают с помощью поперечного масштаба циркулем-измерителем пять отрезков по 10 см. Соответствующие точки на противоположных сторонах прямоугольника (квадрата) соединяют прямыми линиями, которые образуют координатную сетку. Тщательно контролируют построение сетки. Проверку проводят сравнением длин сторон и диагоналей каждого квадрата при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба. Отклонение не должно превышать 0,1 мм.

После построения и проверки координатной сетки подписывают абсциссы и ординаты по осям  $X$  и  $Y$ . Вертикальные линии сетки принимают за линии, параллельные осевому меридиану – оси абсцисс (оси  $X$ ), а горизонтальные – оси ординат (оси  $Y$ ). Начало

координат выбирают таким образом, чтобы полигон разместился в центре квадрата 50×50 см, приблизительно посередине листа. Оцифровку координатных линий по осям  $X$  и  $Y$  делают в соответствии с выбранным масштабом плана. Для численного масштаба 1:500 – 1 см плана соответствует 5 метрам местности, для 1:1000 – 1 см плана соответствует 10 метрам местности. Длина стороны квадрата 10 см, или 50,100 метров. Подписывают значения координат  $X$  и  $Y$  в четырех углах: ЮЗ, СВ, СЗ, ЮВ (рис. 13).

### План теодолитной съемки

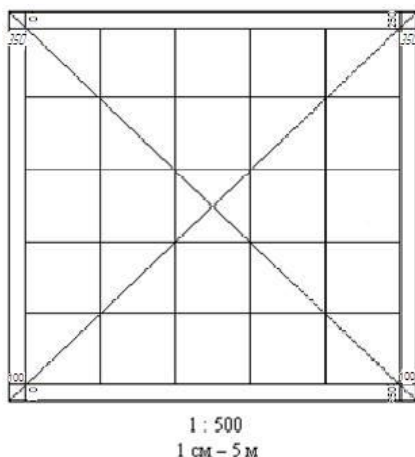


Рис. 13. Построение координатной сетки

Затем при помощи поперечного масштаба и циркуля-измерителя наносят по координатам точки (вершины) теодолитного хода. Каждую вершину, полученную по координатам, фиксируют иголкой циркуля-измерителя диаметром 0,1 мм, обводят его кружком диаметром 2 мм и подписывают номер вершины. Правильность нанесенных на план точек (вершин) теодолитного хода проверяют путем сравнения длин сторон хода с длинами соответствующих горизонтальных проложений этих сторон, записанных в координатной ведомости. Расхождение не должно превышать 0,2 мм графической точности масштаба. Для численного масштаба 1:500 –  $0,2 \cdot 500 = \pm 0,1$  м на местности; для масштаба 1:1000 –  $0,2 \cdot 1000 = \pm 0,2$  м. Чтобы не было разворота теодолитного

хода, правильность нанесения точек контролируют по дирекционному углу начального направления.

После построения точек теодолитных ходов их соединяют тонкими линиями. Построенное таким образом плановое обоснование служит основой для нанесения ситуации местности.

За пределами рамок квадрата, вверху, на севере участка съемки, оставляют 3–5 см для названия плана. Внизу также оставляют 3–5 см для записи численного масштаба и его расшифровки.

Для нанесения на план точек теодолитного хода необходимо вычертить на этом же листе поперечный масштаб. Пользуясь поперечным масштабом, с помощью циркуля-измерителя можно откладывать отрезки менее 50 м от ближайшей стороны координатной сетки.

### **3.2. Нанесение на план ситуации местности**

Для нанесения на план ситуации местности используют абрис. Для построения объектов и контуров на плане используют транспортир, циркуль-измеритель, поперечный масштаб, карандаш твердостью 2Т – 3Т.

*Составление контурного плана* выполняется на основе нанесенного на план теодолитного хода по данным абриса. Способ нанесения контуров на план определяется способом их съемки на местности. Для построения контуров пользуются транспортом, циркулем-измерителем и поперечным масштабом.

#### ***Способ прямоугольных координат (способ перпендикуляров)***

Этот способ использован при съемке жилых зданий (двух домов), точек поворота реки, границы контуров луг – пашня, одного угла огорода. При построении контуров способом перпендикуляров на плане в масштабе 1:500 откладывают измеренные на местности расстояния от начала опорной линии (построенной на ватмане) до оснований перпендикуляров, указанных в абрисе. В конце отложенных расстояний, пользуясь выверенным прямоугольным треугольником, строят перпендикуляр. На перпендикулярах откладывают их длину. Соединив концы перпендикуляров, получают изображения контуров местности.

### ***Способ полярных координат***

Данный способ применяли при съемке двух углов огорода. Точки, снятые полярным способом, наносят на план при помощи транспортира, циркуля-измерителя и поперечного масштаба. Для нанесения точек, снятых полярным способом, центр транспортира совмещают с вершиной хода, принятой за полюс, а ноль транспортира совмещают с направлением на предыдущую вершину теодолитного хода. По дуге транспортира откладывают углы, измеренные теодолитом при визировании на точки местности. Прочерчивают линии на построенные точки. На полученных направлениях откладывают расстояния, указанные в абрисе. Построенные таким образом точки соединяют и получают плановое положение контура.

### ***Способ биполярных координат (угловых засечек)***

Данный способ использован при съемке центральной опоры ЛЭП – внутри полигона. Построение точек местности способом угловых засечек производят при помощи транспортира, для чего в вершинах опорных сторон откладывают углы, величины которых указаны в абрисе. Пересечение сторон построенных углов дает положение искомой точки. Для повышения точности определения планового положения съемочных объектов съемку точек выполняют с трех станций теодолитного хода. На плане положение снимаемых точек определяют в центре треугольника погрешностей. Длина стороны треугольника погрешностей составляет 0,2 мм.

### ***Способ линейной засечки***

Точки, снятые способом линейных засечек, на план наносят при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба. Решение задачи сводится к построению треугольника по трем сторонам, длины которых измерены на местности.

### ***Способ створов***

Применяют его при съемке точек, расположенных в створе теодолитного хода (например, точки пересечения стороны 1–2 шоссе-сейной дорогой, ЛЭП). Точки, снятые способом створов, наносят на план при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба.

### *Обмер зданий*

В основе данного способа — измерение выступов зданий, перпендикулярных к продольным и поперечным осям. В данной работе обмер двух жилых домов используют для контроля в определении положения на плане углов здания, съемка которых выполнена способом перпендикуляров.

Если положение углов здания на плане определено правильно, то расстояние между ними должно точно совпадать с результатами обмера.

При построении контуров местности все вспомогательные построения выполняют тонкими линиями. Значение углов и расстояний, приведенные в абрисе, на план не наносят.

### **3.3. Оформление контурного плана**

Оформление плана производят после проверки правильности построения ситуации местности.

Затем на план наносят условные знаки с соблюдением их размеров и правил вычерчивания в соответствии с действующими «Условными знаками для планов масштаба 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500». Все линии на плане вычерчивают толщиной 0,15 мм. Исключение составляют линии, толщина которых указана в условных знаках.

Сетку квадратов не вычерчивают — обозначают только пересечение сторон квадратов (крестики) 6×6 мм.

Границы нетвердых контуров вычерчивают тонкой штриховой линией или точечным пунктиром черным цветом. Объекты гидрографии — синим цветом, береговые линии (урезы воды) — зеленым, дороги с асфальтным покрытием — розовым, бровка — черным.

При использовании условных знаков, взятых из таблиц условных знаков, необходимо учитывать пояснения к каждому условному знаку. Внемасштабные условные знаки вычерчивают, пользуясь их размерами, указанными в таблицах.

Полностью оформленный план в карандаше обводят в цвете, соблюдая требования «Условных знаков».

### 3.4. Определение площади полигона

Для определения площади строительных участков применяют следующие способы: графический, аналитический, механический.

В выполняемой работе необходимо использовать аналитический способ.

#### *Аналитический способ*

Площадь полигона можно вычислить по координатам его вершин. Исходными данными являются координаты точек (вершин) теодолитного хода (полигона) (рис. 14, 15).

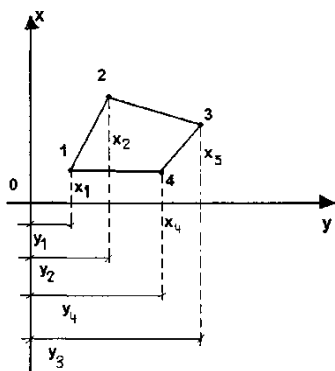


Рис. 14. Схема проекций точек теодолитного хода на координатные оси

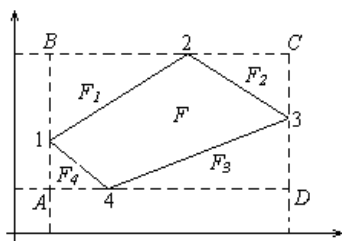


Рис. 15. Схема определения площади полигона аналитическим способом

*Исходные данные:*

- замкнутый полигон 1–2–3–4–1 (для студентов очной формы обучения), 1–2–3–4–5–6–1 (для студентов заочной формы обучения);
- координаты точек  $X_1Y_1, X_2Y_2, X_3Y_3, X_4Y_4$ .

*Определить площадь  $F$  полигона.*

$$F = F_{ABCD} - F_1 - F_2 - F_3 - F_4, \quad (3.1)$$

где  $F_{ABCD}$  – площадь прямоугольника  $ABCD$ , образованного максимальными и минимальными абсциссами и ординатами вершин полигона;  $F_1, F_2, F_3, F_4$  – площади треугольников, образованных вращениями координат соседних точек.

Подставим значение площадей в исходную формулу, раскроем скобки и после приведения подобных членов получим:

$$2F = x_2y_3 - x_2y_1 + x_3y_4 - x_3y_2 + x_4y_1 - x_4y_3 + x_1y_2 - x_1y_4. \quad (3.2)$$

Вынесем за скобки одноименные значения:

$$2F = x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3) + x_1(y_2 - y_4). \quad (3.3)$$

То есть удвоенная площадь полигона равна сумме произведений (для каждой точки полигона) абсциссы  $x$  на разность между ординатами  $y$  последующей и предыдущей точек.

Данный полигон состоит из четырех точек, поэтому в формуле получилось четыре таких слагаемых. Для полигона из  $n$  точек формула примет вид:

$$2F = \sum_1^n x_i(y_{i+1} - y_{i-1}). \quad (3.4)$$

Формулу (3.4) следует читать так: двойная площадь полигона (многоугольника) равна сумме произведений абсциссы каждой точки на разность ординат последующей и предыдущей точек.

Формула для вычисления площади полигона: в формуле (3.4) за скобки можно вынести  $y$ :

$$2F = y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1) + y_1(x_4 - x_2). \quad (3.5)$$

После преобразования формула будет иметь вид:

$$2F = \sum_1^n y_i(x_{i-1} - x_{i+1}). \quad (3.6)$$

Формулу (3.6) следует читать так: двойная площадь полигона (многоугольника) равна сумме произведений ординаты каждой точки на разность абсцисс предыдущей и последующей точек теодолитного хода.

### **Вопросы для контроля**

1. Каков порядок камеральных работ при построении плана теодолитной съемки?
2. Перечислите способы съемки ситуации.
3. По какой формуле вычисляют площадь полигона, контроль?
4. Как контролируют правильность нанесения точек теодолитного хода?
5. Каков размер пересечения координатных линий? Каким цветом обозначают?

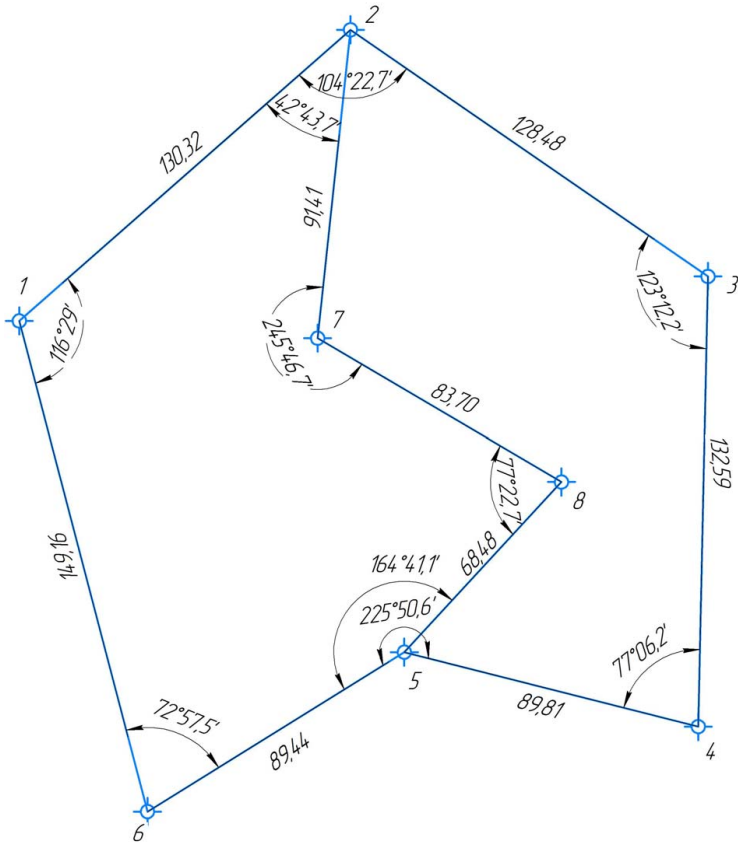


## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

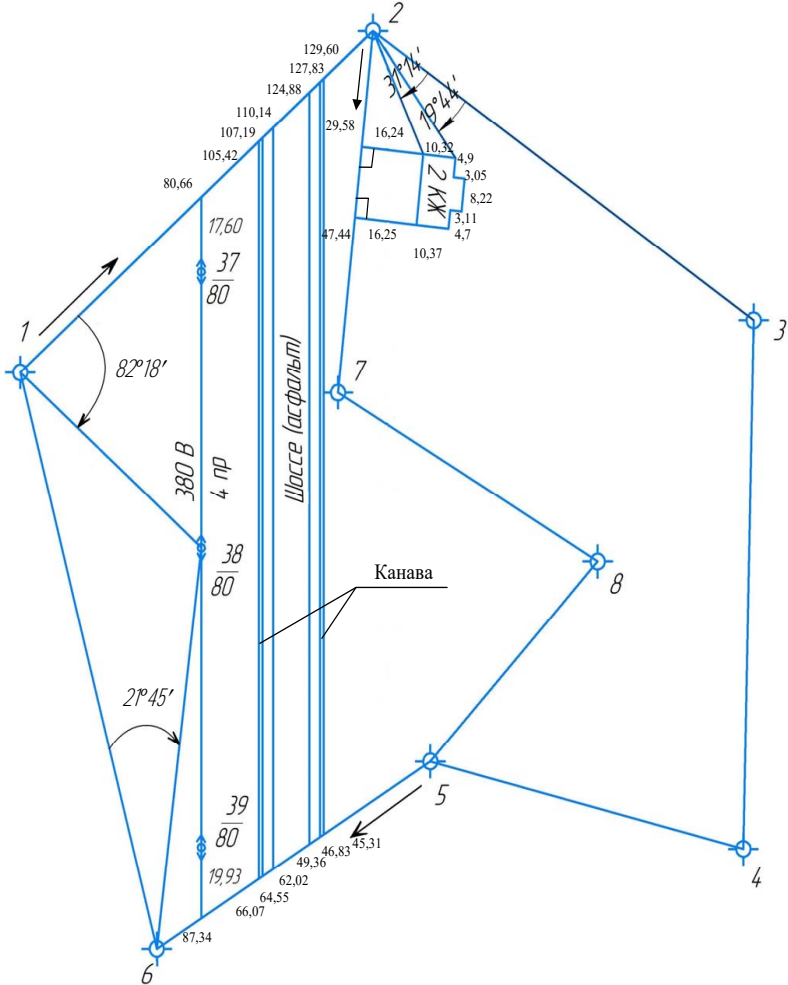
1. Федотов, Г.А. Инженерная геодезия / Г.А. Федотов. – М. : Высшая школа, 2009. – 463 с.
2. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.]. – М. : Academia, 2004. – 479 с.
3. Кулешов, Д.А. Инженерная геодезия / Д.А. Кулешов, Г.Е. Стрельников, Г.Е. Рязанцев. – М. : Картгеоцентр – геодезиздат, 1996. – 303 с.
4. Федоров, В.И. Инженерная геодезия / В.И. Федоров, П.И. Шиллов. – М. : Недра, 1982. – 356 с.
5. Лабораторный практикум по инженерной геодезии / В.Ф. Лукьянов [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 334 с.
6. Закатов, П.С. Инженерная геодезия / П.С. Закатов. – М. : Недра, 1976. – 582 с.
7. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР). – М. : Катгеоцентр, 2005. – 287 с.
8. Инженерная геодезия : учеб. для вузов / Е.Б. Ключин [и др.] ; под ред. Д.Ш. Михелева. – 6-е изд., стер. – М. : Academia, 2006. – 479 с.
9. Акиншин, С.И. Геодезия [Электронный ресурс] : лаб. практикум / С.И. Акиншин. – Воронеж : Воронеж. ГАСУ : ЭБС АСВ, 2012. – 144 с. – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/22653.html>.
10. Курс инженерной геодезии / В.Е. Новак [и др.]. – М. : Недра, 1989. – 222 с.
11. Перфилов, В.Ф. Геодезия : учеб. для вузов / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 350 с.



**Схема теодолитного хода для студентов  
заочной формы обучения**



**Абрис теодолитного хода для студентов  
заочной формы обучения**



*Исходный дирекционный угол*

Номер варианта	Дирекционный угол	Номер варианта	Дирекционный угол
1	203° 01'	19	232° 26'
2	92° 00'	20	319° 05'
3	184° 57'	21	63° 44'
4	271° 37'	22	151° 25'
5	15° 11'	23	244° 17'
6	103° 53'	24	341° 40'
7	196° 50'	25	75° 52'
8	283° 28'	26	162° 16'
9	27° 19'	27	256° 10'
10	115° 46'	28	353° 49'
11	208° 42'	29	81° 59'
12	295° 22'	30	173° 07'
13	39° 27'	31	267° 41'
14	127° 39'	32	107° 04'
15	220° 34'	33	95° 58'
16	307° 14'	34	188° 55'
17	51° 36'	35	275° 33'
18	139° 32'	36	19° 13'



Ведомость вычисления координат замкнутого теодолитного хода

№ вершина по лентона	Внутренние углы			Дирекционные углы		Румбы сторон		Длина горизонтального проложения, м	Приращения				Координаты		
	исправленные			°	'	°	'		вычисленные		исправленные		± ΔX	± ΔY	
	°	'	''						± ΔX	± ΔY	± ΔX	± ΔY			
1	116	29,0	116	60	00	СВ	60	00	130,32	+ 0,04	- 0,03	+ 65,20	+ 112,83	+ 275,00	+ 275,00
2	104	22,7	104	135	37	ЮВ	44	23	128,48	+ 0,04	- 0,03	+ 89,86	+ 89,83	+ 340,20	+ 387,83
3	123	12,2	123	192	24,5	ЮЗ	12	24,5	132,55	+ 0,05	- 0,03	- 91,78	+ 89,83	+ 248,42	+ 477,66
4	77	06,2	77	295	18	СЗ	64	42	89,81	+ 0,03	- 0,02	- 129,40	- 28,51	+ 119,02	+ 449,15
5	225	50,6	225	249	27,1	ЮЗ	69	27,1	89,44	+ 0,03	- 0,02	+ 38,41	- 81,21	+ 157,43	+ 367,94
6	72	57,5	72	356	29,3	СЗ	3	30,7	149,16	+ 0,05	- 0,04	- 148,88	- 9,14	+ 126,07	+ 284,18
1	$\sum \beta_{\text{теор}} = 719^{\circ}58'2''$														
	$\sum \beta_m = 180^{\circ}(n-2) = 720^{\circ}$														
	$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}} = -1,8''$														
									$\sum P = 10,97$	$f_{\Delta X}$	$f_{\Delta Y}$	$f_{\Delta X} = 0$	$f_{\Delta Y} = 0$		

1. Допустимая невязка в углах  $f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 2m_{\beta} \sqrt{n} = \pm 2 \cdot 0,5' \sqrt{6} = \pm 2,4''$

2. Абсолютная невязка в периметре  $f_P = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2} = 0,29$

3. Относительная невязка в периметре  $= 1/2448 = \frac{1}{N} = \frac{f_P}{\sum P}$

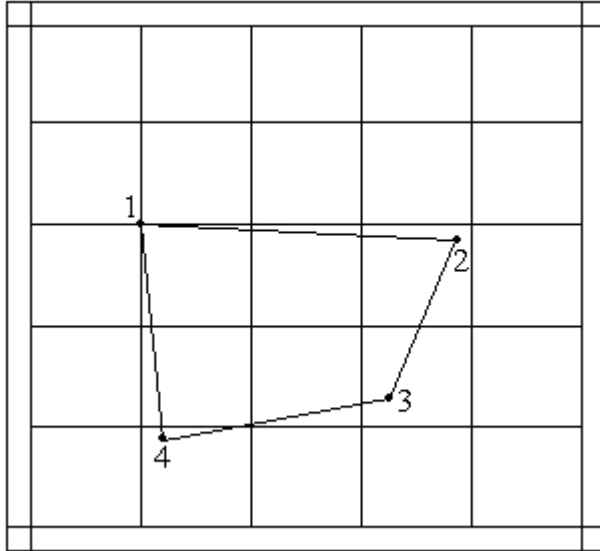
4. Допустимая невязка в периметре  $= \frac{1}{n} = \frac{1}{2000}$





**Вычисление площади участка по координатам**

Схема полигона



№ вершин	Координаты, м					
	$x_i$	$y_i$	$x_{i-1} - x_{i+1}$	$y_{i+1} - y_{i-1}$	$\Sigma y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$	$\Sigma x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$
	2	3	4	5	6	7
1	500,00	200,00	-101,91	124,35	-20382,00	62175,00
2	494,88	346,21	74,93	128,91	25941,52	63794,98
3	425,07	328,91	101,91	-124,35	33519,22	-40899,96
4	392,97	221,86	-74,93	-128,91	-16623,97	-50657,76
5						
Контроль			$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$2F = 22\ 444,45$	$2F = 22\ 444,45$
					$F = 11\ 222,25\ \text{м}^2$	
					$F = 1,122\ \text{га}$	