

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Казанский государственный аграрный университет

Кафедра землеустройства и кадастров

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОДОЛИТНОЙ
СЪЕМКИ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ГЕОДЕЗИЯ»**

(для бакалавров по направлению подготовки
21.03.02 – землеустройство и кадастры)



Казань - 2021

УДК 528.063
ББК 26.12

Учебное указание по курсу «Геодезия» предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 – землеустройство и кадастры (очного и заочного обучения). Составлено доцентом кафедры Сабирзяновым А.М.

Рассмотрено и одобрено:

Решением заседания кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ (протокол № 17 от 09 марта 2021 г.);

Решением методической комиссии агрономического факультета Казанского ГАУ (протокол № 7 от 17 марта 2021 г.)

Рецензенты:

- директор ООО «Межрегион-Кадастр» Шагиахметов А.А.
- заведующий кафедрой растениеводства и плодоовощеводства, профессор, д.с.-х.н. Амиров М.Ф.

УДК 528.063
ББК 26.12

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. ВВЕДЕНИЕ.....	4
2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ.....	5
3. РЕКОГНОСЦИРОВКА И СОСТАВЛЕНИЕ ПЛНА РАБОТ.....	5
4. ПОЛЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	5
4.1 Измерение сторон теодолитного хода.....	10
4.2 Правила измерений	13
5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ.....	17
5.1 Обработка угловых измерений.....	18
5.2 Понятие о прямоугольных координатах.....	20
5.3 Вычисление приращений координат.....	22
5.4 Увязка приращений координат.....	23
5.5 Вычисление исправленных приращений.....	26
5.6 Составление плана теодолитного хода по координатам.....	32
5.6.1. Определение размеров листа бумаги	32
5.6.2. Построение сетки квадратов (формата)	33
5.6.3. Построение вершин полигона по координатам.....	34
5.6.4. Нанесение элементов ситуации	34
5.6.5. Оформление плана	35
6. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ.....	35
Литература.....	37

*Геодезия – наука об
определении фигуры, разме-
ров и гравитационного поля
Земли и об измерениях на
земной поверхности для
отображения ее на планах и
картах, а также для решения
различных народно-
хозяйственных задач и обес-
печения обороны страны.*

Программа геодезических работ включает в себя следующие разделы:

- производство измерений;
- математическая обработка результатов;
- графическое отображение результатов измерений;
- использование полученных результатов для решения практических задач.

Данные методические указания в самых общих чертах касаются производства измерений, а основное внимание уделено математической обработке результатов геодезических измерений и методике графических построений. На основе полученного графического материала (плана местности) решена практическая задача по определению аналитическим и графическим способами площади полигона.

Все результаты полевых измерений взяты из отчетов по полевой учебной практике по землеустройству с основами геодезии студентов 2 курса агрономического факультета Казанского ГАУ за последние семь лет (2013-2019 г.г.).

Под измерением в геодезии понимается познавательный процесс сравнения одной физической величины с другой физической величиной того же рода, принятой за единицу сравнения (не всегда с единицей измерения), в результате которого получается именованное число, называемое результатом измерения.

Пример результатов измерений – 1434,25 м; 272° 30'; 127,3 га.

Измерения подразделяются по физическому использованию на прямые и косвенные: по количеству на необходимые и дополнительные; по точности – на равноточные и неравноточные; по связи – на зависимые и независимые.

Любое измерение происходит при обязательном наличии следующих пяти факторов:

- объект измерения (что измерять?);
- субъект измерения (кто измеряет?);
- мерный прибор (чем измеряют?);
- методика измерения (как измерять?);
- условия измерения (где измерять?);

Полевые действия, связанные с измерением углов и расстояний, называются съемкой.

По своему назначению съемки в геодезии делятся на:

- горизонтальные (плановые);
- вертикальные (высотные);
- совместные (планово-высотные или топографические);
- специальные (исполнительные и т.д.)

Кроме того, исторически сложилось разделение геодезических съемок по главному используемому инструменту: буссольная, теодолитная, мензульная, эккерная, тахеометрическая, фототеодолитная, аэрофото и т.д.

Данная работа посвящена математической обработке результатов горизонтальной теодолитной съемки. При ее производстве углы измеряются теодолитами, расстояния – мерными приборами (мерными лентами, дальномерами и др.); магнитные азимуты - буссолю.

Производство теодолитной съемки состоит из следующих этапов:

1. Подготовительные работы.
2. Рекогносцировка и составление плана работ.
3. Закрепление пунктов съемочного обоснования (опорных точек полигона).
4. Полевые измерения.
5. Камеральные работы (математическая обработка и графические построения).

1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

При получении задания на съемку исполнители работ подробно изучают данные прежних съемок, проводившихся на этом участке. Собираются данные, на основе которых составляется первоначальный вариант проекта работ и порядок его исполнения. Получение необходимых материалов, приборов и оборудования также относится к подготовительным работам. В подготовительные работы также включается изучение методики проведения съемки.

2. РЕКОГНОСЦИРОВКА И СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА РАБОТ

При теодолитной съемке рекогносцировка (предварительное обследование местности) заключается в ознакомлении с объектом съемки (границы, площадь, рельеф и т.д.), отыскании опорных геодезических пунктов прежних съемок, установлении границ участка и выборе места закладки новых опорных точек (вершин полигона).

На основании рекогносцировки составляется схематический чертеж расположения опорных точек и окончательный проект (план) съемочных работ.

3. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ (ОПОРНЫХ ТОЧЕК)

В соответствии с заданием определяются места закладки опорных точек с таким расчетом, чтобы стороны ходов были примерно равны, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия для угловых и линейных измерений, долговременную сохранность геодезических знаков (нельзя точки устанавливать на болоте, пашне, оползнях и др.); видимость между двумя смежными знаками, каждая опорная точка должна использоваться для съемки ситуации большей части прилегающей к ней территории.

Закрепление точек производится временными и постоянными знаками. Во время учебной практики студенты закрепляют точки колышками и сторожками. Одновременно с закреплением точек каждая бригада составляет крошки. Расстояние между опорными точками зависит от масштаба съемки.

4. ПОЛЕВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Полевые измерения при угломерной (теодолитной) съемке заключается в измерении горизонтальных углов (β) и длин линий (l). На практике углы измеряются теодолитами марки Т30, 2Т30, 2Т30П, а расстояние – мерной лентой Л3.

Горизонтальным углом называется угол, образованный проекциями двух направлений на горизонтальный круг теодолита (измеряется в градусах, минутах и секундах и может изменяться от 0 до 360 градусов).

Порядок измерения горизонтального угла

Существует несколько способов измерения горизонтального угла. Выбор того или иного способа зависит от необходимой точности измерений и от точности применяемого теодолита. Наибольшее распростра-

нение на практике получил способ приемов, при котором используются теодолиты указанных марок. Так, теодолитами с точностью верньеров или микроскопов порядка 60-30" по способу приемов измеряют углы, в которых предельные ошибки могут достигать 1,0-1,5', то есть в сетях съемочного обоснования при засечках и др.

При измерении горизонтального угла следует придерживаться следующих правил:

1. Измерение углов производить исправным и проверенным теодолитом, предварительно освоив правила обращения с прибором.

2. Обозначить на местности стороны измеряемого угла (вешками, колышками и т.п.).

3. В вершине измеряемого угла установить теодолит и привести его в рабочее положение при КП (круге право) – горизонтирование (по уровню) и центрирование (по нитяному или оптическому отвесам).

4. Закрепить алидаду, открепить лимб и навести вертикальную нить сетки на правую точку (предварительно навести трубу по предмету и по глазу, а затем сначала грубо, а потом точно с помощью микрометренного винта лимба). Закрепить закрепительный винт лимба.

5. Взять отсчет на правую точку (градусы, минуты, секунды). Результат записать в журнал.

6. Открепить алидаду и аналогично навести вертикальную нить сетки на левую точку. Закрепить закрепительный винт алидады.

7. Взять отсчет на левую точку (градусы, минуты, секунды). Результат записать в журнал.

8. Из отсчета на правую точку вычесть отсчет на левую. Если отсчет на правую точку меньше, чем на левую, к нему следует прибавить 360°, а затем произвести вычитание. Результат записать в журнал.

9. Сместить лимб горизонтального круга одним-двумя поворотами наводящего винта, перевести зрительную трубу через зенит и все измерения повторить при круге лево (КЛ). Результат записать в журнал.

10. Если расхождения между двумя результатами не превышают 1,5-2,0 минуты, вычислить среднее значение угла по формуле

$$\beta_{ср.} = \frac{\beta_{КП} \pm \beta_{КЛ}}{2} \quad (1)$$

и результат занести в журнал.

11. Угол измерений при КП и КЛ называется измеренным полным приемом. Каждый угол должен измеряться не менее чем двумя полными приемами.

12. Если расхождение между результатами более допустимого, измерения повторяются при других положениях горизонтального круга.

Образец

ЖУРНАЛ

Измерения горизонтальных углов

Бригада №1
Б101-01 группы агро-
номического факультета

Измерения вели:

1 Акмуллин А.

2. Ефремов В.

3. Скопов С.

Дата работ «7» июня 2020 г.

Теодолит Т30 № 2861

Состояние хорошее

Условия измерения

Ветер слабый

Осадки - нет

Видимость хорошая

Рельеф II категории

Растительность смешанная

Номера точек		Отсчеты	Значения углов			Примечание
стое- ния	набл юде- ния		КП	КЛ	среднее	
1	2	3	4	5	6	7
1	5	329° 49' 30"	88° 45'			
	2	241° 04' 30"				
	5	23° 34' 00"		88° 45'		
	2	294° 49' 00"				
	5	320° 17' 30"	88° 50'			
	2	131° 27' 30"			88° 44' 15"	брак
	5	340° 56' 30"	88° 43'			
	2	252° 13' 30"				
	5	12° 26' 00"		88° 44'		
	2	283° 42' 00"				
	1	69° 00' 30"	120° 16' 30"			

2	3	298° 44' 00"			
	1	101° 23' 30"		120° 16' 30	
	3	341° 07' 00"			
	1	252° 18' 30"	120° 16' 30"		120° 16'30"
	3	132° 09' 00"			
	1	167° 30' 00"		120° 16'30"	
	3	47° 13' 30"			
3	2	259° 47' 30"	112° 34' 30"		
	4	147° 13' 00"			
	2	152° 52' 00"			
	4	40° 21' 30"		112° 30'30"	брак
	2	118° 09' 30"			
	4	5° 35 00		112°34"30"	
	2	306° 37' 00"	112° 33' 00"		112° 34'45"
	4	104° 02' 00"			
	2	174° 42' 30"		112° 35'00"	
	4	62° 07' 30"			
4	3	172° 41' 30"			
	5	61° 20' 30"	111° 21' 30"		
	3	52° 47' 30"			
	5	301° 29' 30"		111° 18'30"	
	3	123° 49' 30"	111° 18' 00"		111° 18'00"
	5	12° 31' 30"			
	3	267° 08' 30"		111° 18'30"	
	5	155° 50' 30"			
	3	325° 40' 30"	111° 17' 00"		
	5	214° 23' 30"			
5	4	162° 59' 30"	107° 04' 30"		
	1	55° 55' 00"			
	4	357° 42' 30"		107° 05'00"	
	1	250° 37' 30"			
	4	27° 40' 30"	107° 04' 00"		107° 04'30"
	1	280° 36' 00"			
	4	162° 09' 30"		107° 08'30"	брак
	1	55° 01' 00"			
	4	231° 10' 30"		107° 04'30"	
	1	124° 06' 00"			

Проверку измерений и вычислений
произвел бригадир _____

Результаты приняты
преподавателем _____

4.1. Измерение сторон теодолитного хода

Длины сторон теодолитного хода измеряются непосредственно стальной (инварной) мерной лентой, а также дальномерами ДНТ, ДН-4, ДНР-06 и другими приборами.

Мерные ленты бывают концевые, шкаловые, штриховые. Штриховые ленты могут иметь длину 20, 24, 30, 50 и 100 метров.

Во время прохождения учебной полевой практики стороны теодолитного хода измеряются студентами мерными лентами (ЛЗ-20).

Мерная лента – тонкая стальная полоса шириной около 2 см, наматывается на металлическое кольцо с тремя вилками, имеющими фиксаторы. К ленте прилагается комплект шпилек из 5 (6) или 10 (11) штук, которые надеты на два металлических кольца.

Методика измерения длин сторон полигона

1. Проверить исправность ленты, ее комплектность, состояние, а также провести компарирование. Если длина рабочей ленты отличается от контрольной более чем на 2 мм, то в результат измерения необходимо ввести поправку.

$$P = \pm n \cdot \Delta 1, \text{ где} \quad (2)$$

n – число целых отложенных лент;

$\Delta 1$ – поправка на одну ленту.

Если длина рабочей ленты больше контрольной, то поправка будет положительной, а если длина рабочей ленты будет меньше контрольной, то поправка будет отрицательной (со знаком минус).

2. Обозначить на местности начало и конец измеряемой линии. Стороны хода длиной более 300 м, а также в условиях пересеченной (закрытой) местности необходимо провести вешение через каждые 100-150 м и подготовить линию к измерению.

3. Каждая сторона измеряется не менее 2-х раз в прямом и обратном направлениях.

4. Измерение производят звено в составе двух, а лучше трех человек (звеньевой, передний рабочий, задний рабочий).

5. Перед началом работ все шпильки =, кроме одной, необходимо взять переднему рабочему.

6. Задний рабочий втыкает имеющуюся у него шпильку в начальную точку и задевает за нее ленту своим концом, а передний рабочий разматывает ленту в направлении измеряемой линии, не допуская ее

перекручивания и образования петель. При этом задний рабочий контролирует правильность укладки ленты в створе линий.

7. Передний рабочий натягивает ленту с усилием 8-10 кг, путем встряхивания укладывает ленту в створ и вставляет шпильку в вырез на своем конце.

8. Только после этого задний рабочий вынимают шпильку из земли и дает сигнал переднему рабочему о продвижении вперед.

9. Дойдя до оставленной в земле шпильки, задний рабочий дает сигнал «стой» и, закрепив свой конец ленты за шпильку, снова устанавливает переднего рабочего в створ линии и т.д.

10. Таким образом, передний рабочий втыкает шпильки через каждые 20 м, а задний – собирает их. Может случиться так, что все шпильки соберутся у заднего у заднего рабочего, который передает их все (кроме одной, которая в земле) переднему рабочему, о чем звеньевым делается запись в журнале и на абрисе.

11. Так как длину сторон теодолитного хода обычно не кратны 20 м, то для измерения остатка (домера) передний рабочий протягивает ленту за конечную точку измеряемой линии хода на всю длину, натягивает ленту и втыкает в вырез на своем конце ее последнюю шпильку. При этом определяется число целых метров от последней до точки шпильки до конца линии.

12. Кроме того подсчитывается число дециметров и определяется на глаз количество сантиметров.

13. Результаты измерения записываются в журнал.

Таким образом, отсчет при измерении расстояний мерной лентой состоит из:

1. Числа передач (p). Каждая передача может быть равна 100 или 200 метрам.

2. Числа шпилек (n) у заднего рабочего.

3. Числа целых метров (m).

4. Числа дециметров (d).

5. Числа сантиметров (s).

Обычно сумма (m + d + s), называемая остатком или домером, обозначается буквой r.

В итоге общая длина измеряемой линии вычисляется по формуле

$$D = 200 \cdot p + n \cdot 1_0 + r \pm k \cdot \Delta l, \text{ где} \quad (3)$$

p – число передач;

n – число шпилек у заднего рабочего;

l_0 – длина нормальной (контрольной) ленты;
 r – домер (остаток);
 k – число уложенных полных лент»

Пример: Длина нормальной ленты $l_0 = 20,000$ м;

Длина рабочей ленты $l = 20,018$ м;

Поправка $\Delta l = 20,018 - 20,000 = +0,018$ м.

Прямо (D_1)
 $p - 2 \cdot 200 = 400,000$
 $n - 4 \cdot 20 = 80,000$
 $-12,23 = 12,230$

Обратно (D_2)
 $2 \cdot 200 = 400,000$
 $4 \cdot 200 = 80,000$
 $12,43 = 12,430$

$k - 24 \cdot 0,018 = 0,432$

$24 \cdot 0,018 = 0,432$

492,662

492,862

Образец

«8» мая 2021 г.

ЖУРНАЛ

Измерения расстояний

Измерения вели

1. Альков Н
2. Авдуевский М.
3. Ганин Р.

Мерный прибор ЛЗ-20

Состояние хорошее
Поправка (-)
Число шпилек 11

Номера сторон	Направление	передач	Число				Результат измерения	Средний результат	Примечание
			шпилек у 3 рабочего	целых, м	дциметров	сантиметров			
1-2	прямо	2	7	12	3	6	552,36	552,48	
2-3	то же	2	7	1	9	2	541,92	542,04	
3-4	-«-	2	6	0	0	9	520,09	520,20	
4-5	-«-	2	5	16	3	7	516,37	516,25	
5-1	-«-	3	6	19	4	0	739,46	739,63	
1-2	обратно	2	6	12	5	5	532,55		брак
2-3	то же	2	7	2	1	6	542,16		
3-4	-«-	2	6	0	3	1	520,31		
4-5	-«-	2	5	12	1	0	512,10		брак
5-1	-«-	3	6	19	8	0	739,80		
1-2	прямо	2	7	12	6	1	552,61		
4-5	обратно	2	5	16	1	3	516,13		

Обработку результатов произвели: Альков Н._____, Авдуевский
М._____, Ганин Р._____
Результаты принял: _____

Для контроля и оценки точности измерений длины линий измеряются в прямом (D_1) и обратном (D_2) направлениях. Разность (ΔD) не должна выходить за пределы требуемой точности ($1/N_{\text{доп}}$). Если точность измерения задана, то допустимая абсолютная величина разности (ΔD) определяется из следующего неравенства

$$\frac{\Delta D}{D} \leq \frac{1}{N_{\text{доп}}}$$

В нашем примере: $D_1 = 492,66$ м; $D_2 = 492,86$ м; $N_{\text{доп.}} = 2000$.

Находим ΔD . Она равна $492,86 - 492,66 = 0,20$ м. Поставляя это значение в предыдущее неравенство, получим $\frac{0,2}{492} = \frac{1}{2500} < \frac{1}{2000}$

Так как полученная нами разность удовлетворяет требованиям точности измерения линии, то за окончательное значение длины принимается среднее арифметическое из измерений величин

$$D = \frac{492,66 + 492,86}{2} = 492,76$$

При измерении расстояний в прямом и обратной направлениях, как правило, наблюдаются расхождения, которые не должны превышать определенной величины, значение которой зависит от условий измерений, а именно:

$\frac{1}{3000}$ – на местности с очень хорошими условиями для измерений (бетонные покрытия, асфальт, укатанный ровный грунт и т.п.);

$\frac{1}{2000}$ – на местности при благоприятных условиях для измерений (ровный луг, дороги, равнина и т.п.).

$\frac{1}{1000}$ – на местности при неблагоприятных условиях для измерений (болото, пашня, кустарники, овраги, кочки и т.п.)

4.2. Правила измерений

1. Передний рабочий не должен загораживать вешку, установленную в конце измеряемой линии, для осуществления контроля за правильностью укладывания ленты в створе линии.

2. Необходимо тщательно следить за сохранностью количества шпилек в момент передачи и после окончания измерений.

3. Особо внимательным необходимо быть при измерении остатка (домера), когда он близок к 10 м, не допуская перекручивания ленты, (надписи целых метров должны возрастать по направления измерения), в противном случае можно ошибиться на 2 или 4 метра.

4. Если рабочая лента длиннее или короче стандартной (контрольной) более чем на 2 мм, измеренное расстояние определяется по формуле

$$D = D_o \pm \Delta 1, \quad \text{где} \quad (5)$$

D_o – расстояние, измеренное рабочей лентой без учета поправок;

$\Delta 1$ – поправка на одну ленту; она имеет знак плюс, когда рабочая лента длиннее нормальной (контрольной) и минус, когда она короче.

5. Для каждой стороны хода определяется (теодолитом или эклиметром) угол ее наклона к горизонту или вертикальный угол (v), если он превышает 2° . Поправка за наклон определяется по формуле

$$\Delta D_v = 2 \sin^2 (v/2), \quad \text{где} \quad (6)$$

D – измеренное расстояние на местности, м;

v – угол наклона, в градусах.

Поправку за наклон можно определить по специальным таблицам.

6. Одновременно с измерением сторон хода ведется схематический полевой чертеж (абрис) (рис. 1), на котором указываются расстояния от начала каждой из них до пересечения с дорогами, границами угодий, элементами гидрографии, линиями электропередач и другими элементами ситуации.

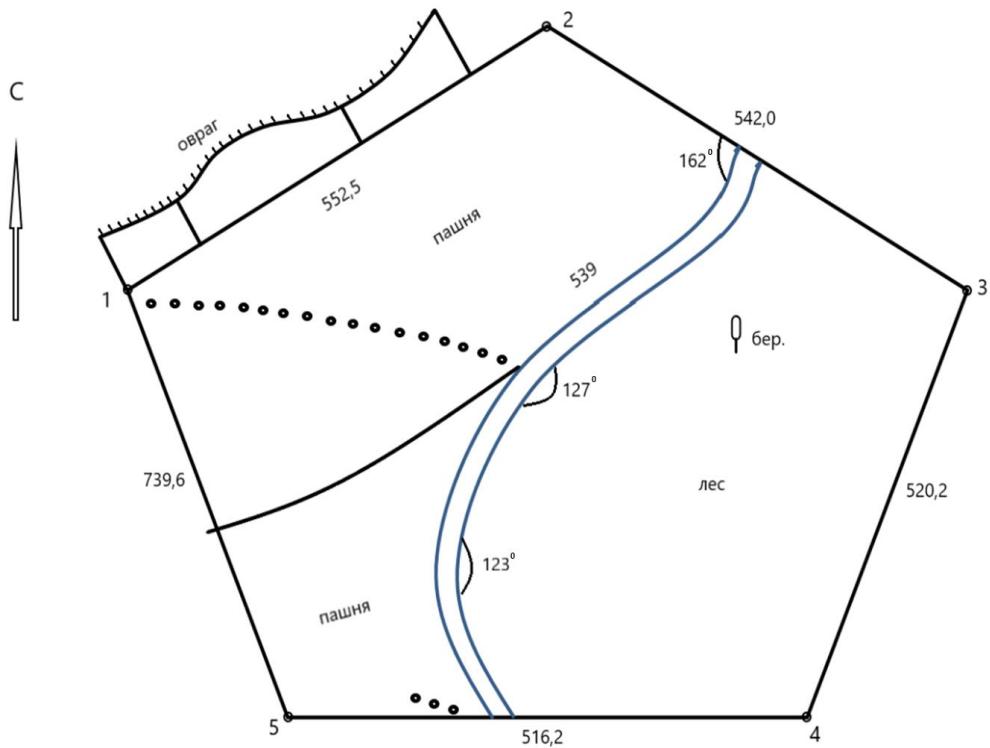


Рис. 1. Абрис (схематический полевой чертеж)

ТАБЛИЦА
поправок за наклон линии местности

Угол наклона	Расстояние, м; поправки, см									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
2°	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,7	4,3	4,9	5,5	
2° 30'	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7	7,6	8,6	
3°	1,4	2,7	4,1	5,5	6,9	8,2	9,6	11,0	12,3	
3° 30'	1,9	3,7	5,6	7,5	9,3	11,2	13,1	14,9	16,8	
4°	2,4	4,9	7,3	9,7	12,2	14,6	17,1	19,5	21,9	
4° 30'	3,1	6,2	9,2	12,3	15,4	18,5	21,6	24,7	27,7	
5°	3,8	7,6	11,4	15,2	19,0	22,9	26,6	30,4	34,2	
5° 20'	4,3	8,7	13,0	17,3	21,6	26,0	30,3	34,6	39,0	
5° 40'	4,9	9,8	14,7	19,5	24,4	29,3	34,2	39,1	44,0	
6°	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	38,3	43,8	49,3	
6° 20'	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	42,7	48,8	54,9	
6° 40'	6,8	13,5	20,3	27,0	33,8	40,6	47,3	54,1	60,9	
7°	7,5	14,9	22,4	29,8	37,3	44,7	52,2	59,6	67,1	
7° 15'	8,0	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0	56,0	64,0	72,0	
7° 30'	8,6	17,1	25,7	34,2	42,8	51,3	59,9	68,4	77,0	
7° 45'	9,1	18,3	27,4	36,5	45,7	54,8	63,9	73,1	82,2	
8°	9,7	19,5	29,2	38,9	48,7	58,4	68,1	77,9	87,6	
8° 15'	10,3	20,7	31,0	41,4	51,7	62,1	72,4	82,8	93,1	

8° 30'	11,0	22,0	33,0	43,9	54,9	65,9	76,9	87,9	98,9
8° 45	11,6	23,3	34,9	46,6	58,2	69,8	81,5	93,1	104,7
9°	12,3	24,6	36,9	49,2	61,6	73,9	86,2	98,5	110,8
9° 15'	13,0	26,0	39,0	52,0	65,0	78,0	91,0	104,0	117,0
9° 30'	13,7	27,4	41,1	54,9	68,6	82,3	96,0	109,7	123,4
9° 45'	14,4	28,9	43,3	57,8	72,2	86,7	101,1	115,6	130,0
10°	15,2	30,4	45,6	60,8	76,0	91,2	106,3	121,5	136,7
10°15'	16,0	31,9	47,9	63,8	79,8	95,8	111,7	127,7	143,6
10°30'	16,7	33,5	50,2	67,0	83,7	100,5	117,2	134,0	150,7
10°45'	17,5	35,1	52,6	70,2	87,7	105,3	122,8	140,4	157,9
11°	18,4	36,7	55,1	73,5	91,9	110,2	128,6	147,0	165,4
11°10'	18,9	37,9	56,8	75,7	94,7	113,6	132,5	151,5	170,4
11°20'	19,5	39,0	58,5	78,0	97,5	117,0	136,5	156,0	175,5
11°30'	20,1	40,2	60,2	80,3	100,4	120,5	140,5	160,6	180,7
11°40'	20,7	41,3	52,0	82,6	103,3	124,0	144,6	165,3	185,9
11°50'	21,3	42,5	63,8	85,0	106,3	127,5	148,8	170,0	191,3
12°	21,9	43,7	65,6	87,4	109,3	131,1	153,0	174,8	196,7

Оценим точность измерения длин сторон полигона, результаты которых были приведены в журнале на стр. 8-9.

Так как измерения проводились на местности с благоприятными условиями, то допустимая ошибка не должна превышать 1/2000, что составляет для линий:

1-2 (552 м) – 0,27 м
 2-3 (542 м) – 0,27 м
 3-4 (520 м) – 0,26 м
 4-5 (516 м) – 0,26 м
 5-6 9739 м) – 0,37 м

А фактически она составила для линий

1-2 – 0,26 м
 2-3 – 0,24 м
 3-4 – 0,22 м
 4-5 – 0,24 м
 5-1 – 0,34 м,

что меньше допустимых расхождений. Таким образом, за истинное значение длин линий можно принять полусумму измерений в прямом и обратном направлениях.

Дополнительные измерения линий 1-2 и 4-5 вызваны тем, что при обратном измерении указанных линий были допущены грубые ошибки: в первом случае была утеряна одна шпилька (ошибка составила 20 м), а

во втором – неправильно было определено целое число метров (12 вместо 16).

Таким образом, для обработки результатов угломерной съемки нами получены значения внутренних углов замкнутого полигона ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$) и длины линий – горизонтальных проложений ($l_{1-2}, l_{2-3}, l_{3-4}, l_{4-5}, l_{5-1}$).

Однако кроме указанных величин для получения координат всех точек полигона необходимо иметь значения дирекционного угла (α) одной линии (обычно α_{1-2}) и прямоугольные координаты (X, Y) одной точки (обычно точки1: X₁ и Y₁). Значения α_{1-2} и X₁, Y₁ каждой бригаде выдаются преподавателем.

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КАМЕРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Конечной целью камеральной обработки материалов угломерной (теодолитной) съемки является получение координат точек полигона и составление плана. Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Проверка правильности полевых записей в журналах теодолитной съемки и вычислений углов.
2. Вычисление горизонтальных проложений линий.
3. Обработка угловых измерений с увязкой углов.
4. Вычисление дирекционных углов и румбов сторон теодолитных ходов.
5. Вычисление приращений координат и их увязка.
6. Вычисление координат точек теодолитных ходов.
7. Построение координатной сетки и нанесение точек полигона на план по координатам.
8. Нанесение на план элементов ситуации.
9. Оформление плана.

Операции с 3 по 6 производятся в специальной ведомости, которая так и называется – ведомость координат.

В качестве примера рассмотрим обработку результатов угломерной съемки одной из бригад студентов 2 курса агрономического факультета.

Рассмотрим структуру ведомости координат.

Ведомость координат состоит из 12 граф. В первую графу заносятся номера точек. Анализ данной графы позволяет сделать вывод о количестве углов и сторон полигона и его характере. Так, если полигон начинается с точки 1 и заканчивается точкой 1. То это значит, что полигон замкнутый и математическая обработка производится в общем порядке.

Графы 2 и 3 объединены общим названием углы, причем в графе 2 углы измеренные ($\beta_{изм.}$), а в графе 3 исправленные ($\beta_{испр.}$).

Четвертая графа называется дирекционные углы (α).

Пятая графа называется румбы (r).

В шестую графу заносятся горизонтальные проложения (d).

Графы 7, 8, 9 и 10 объединены одним общим названием приращение координат ΔX и ΔY , причем графы 7 и 8 приращения координат вычисленные, а в графах 9 и 10 приращения координат исправленные.

В 11 и 12 графах также общее название координаты, причем в графике 11 (X), а в графике 12 (Y).

Для обработки ведомости координат необходимы следующие исходные данные:

- номера точек (графа 1);
- измеренные внутренние углы полигона – $\beta_{изм.}$ (графа 2);
- дирекционный угол линии 1-2- α_{1-2} (графа 4);
- горизонтальные проложения – d (графа 5);
- координаты начальной точки – X_1 (графа 11) и Y_1 (графа 12).

5.1. Обработка угловых измерений

Обработка угловых измерений заключается в заполнении графы 2 ведомости координат, вычисление суммы углов измеренных, а также суммы углов теоретической, определение угловой невязки и ее допустимости, распределение допустимой невязки (вычисление поправок и измеренные углы), вычисление суммы исправленных углов – графа 3.

В нашем примере мы имеем 5 измеренных внутренних углов полигона $\beta_1 = 88^\circ 44' 15''$, $\beta_2 = 120^\circ 16' 30''$, $\beta_3 = 112^\circ 34' 45''$, $\beta_4 = 111^\circ 18' 00''$ и $\beta_5 = 107^\circ 04' 30''$. Их сумма равна $539^\circ 58' 00''$.

$$\begin{array}{r} 88^\circ 44' 15'' \\ +120^\circ 16' 30'' \\ \hline 209^\circ 00' 45'' \end{array} \quad \begin{array}{r} 209^\circ 00' 45'' \\ +112^\circ 34' 45'' \\ \hline 321^\circ 35' 30'' \end{array} \quad \begin{array}{r} 321^\circ 35' 30'' \\ +111^\circ 18' 00'' \\ \hline 432^\circ 53' 30'' \end{array} \quad \begin{array}{r} 432^\circ 53' 30'' \\ +107^\circ 04' 30'' \\ \hline 539^\circ 58' 00'' \end{array}$$

Теоретическая сумма углов в замкнутом полигоне вычисляется по формуле

$$\Sigma \beta_{\text{теор.}} = 180^\circ(n - 2), \quad \text{где} \quad (7)$$

N – число углов, в нашем случае $n = 5$, таким образом

$$\Sigma \beta_{\text{теор.}} = 180^\circ(5 - 2) = 180^\circ \cdot 3 = 540^\circ 00' 00''$$

Разность между суммой углов измеренных и теоретической называется абсолютной угловой невязкой ($f_{\beta\text{абс}}$), в нашем случае

$$f_{\beta\text{абс}} = 539^\circ 58' 00'' - 540^\circ 00' 00'' = -02' 00''$$

Абсолютная угловая невязка не должна превышать допустимую невязку ($f_{\beta\text{доп.}}$), определяемую по формуле

$$\text{Место для формулы. } f_{\beta\text{доп.}} = \pm 3 \cdot t \cdot \sqrt{n}, \quad \text{где} \quad (8)$$

T – точность измерения угла, в нашем случае $t = 30''$ или $05'$.

$$\text{Таким образом, } f_{\beta\text{доп.}} = \pm 1,5' \sqrt{5} = \pm 2,2'.$$

Если абсолютная угловая невязка ($2'$) меньше допустимой ($2,2'$), то это значит, что внутренние углы измерены с допустимой точностью и в их значения можно вносить поправки.

Правила внесения поправок

1. Поправки вносятся со знаком обратным невязке.
2. Сумма всех поправок должна быть равна невязке.
3. Поправки вносятся во все значения углов, но при этом:
 - в первую очередь необходимо избавиться от секунд;
 - большие поправки вносятся в углы, образованные короткими сторонами;

В нашем случае все измеренные углы, кроме β_4 , содержат секунды, поэтому поправки вносятся в остальные углы так, чтобы избавиться от секунд, а именно: в $\beta_1 +45''$, в $\beta_2 +30''$, в $\beta_3 +15''$, в $\beta_5 +30''$. Сумма всех поправок равна $2'$, то есть она равна невязке.

Полученные значения поправок вписываются во вторую графу ведомости координат под соответствующим значением угла.

Исправленные значения внутренних углов записываются в графу 3 ($\beta_{\text{испр.}}$).

Для контроля подсчитывается сумма углов исправленных. В нашем случае она равна $540^\circ 00'$.

$$\begin{array}{r} 88^\circ 45' \\ +120^\circ 17' \\ \hline 209^\circ 02' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 209^\circ 02' \\ +112^\circ 35' \\ \hline 321^\circ 37' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 321^\circ 37' \\ +111^\circ 18' \\ \hline 432^\circ 55' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 432^\circ 55' \\ +107^\circ 05' \\ \hline 540^\circ 00' \end{array}$$

По начальному дирекционному углу ($\alpha_{1-2} = 73^\circ 06'$) и увязанным внутренним углом вычисляются углы всех остальных сторон теодолитного хода по правилу.

Дирекционный угол последующей стороны α_n равен дирекционному углу предыдущей стороны α_{n-1} плюс 180° и минус угол между этими сторонами, лежащий вправо по ходу β_n

$$\beta_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \alpha_n \quad (9)$$

Полученные значения румбов заносятся в графу 5 ведомости координат.

Для заполнения последующих граф ведомости координат необходимо более подробно остановиться на некоторых вопросах теории прямоугольных координат.

5.2. Понятие о прямоугольных координатах

В геодезии вертикальная ось, идущая параллельно линии осевого меридиана, принимается за ось X; горизонтальная ось, расположенная параллельно экватору, принимается за ось Y (рис. 2).

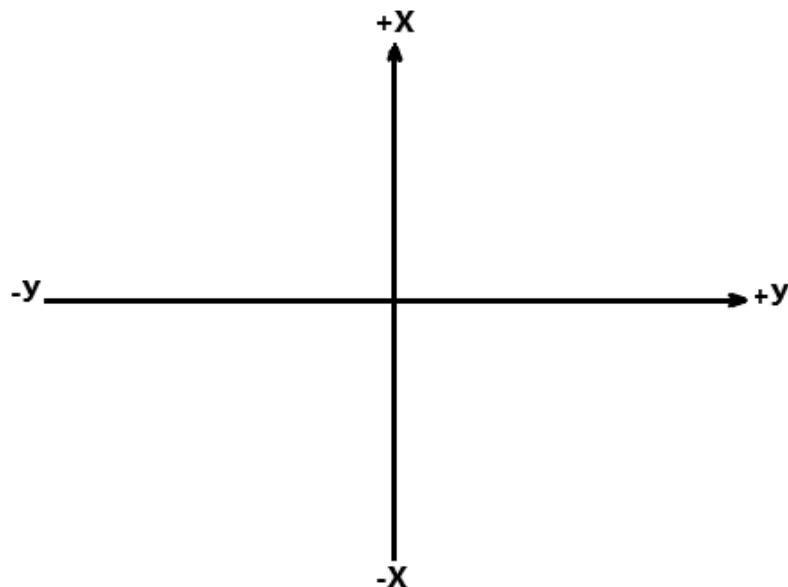


Рис. 2 Расположение осей X и Y

Плоскость разбивается осями прямоугольных координат на 4 четверти (квадранта), счет четвертей идет по направлению часовой стрел-

ки, соответственно изменению азимута. Направление оси X от оси Y вверх и оси X положительно, а вниз и влево – отрицательно.

Положение любой точки на плоскости может быть определено ее координатами. Прямоугольные координаты иногда называются координатами Гаусса-Крюгера, а в бывшем СССР, а сейчас в РФ – системой координат 1942года.

Имея координаты одной точки, можно вычислить по ним координаты другой точки.

Пусть для линии АВ (рис.2) известны координаты начальной точки А – X_A и Y_A ; требуется определить, чему равны координаты конечной точки В – X_B и Y_B .

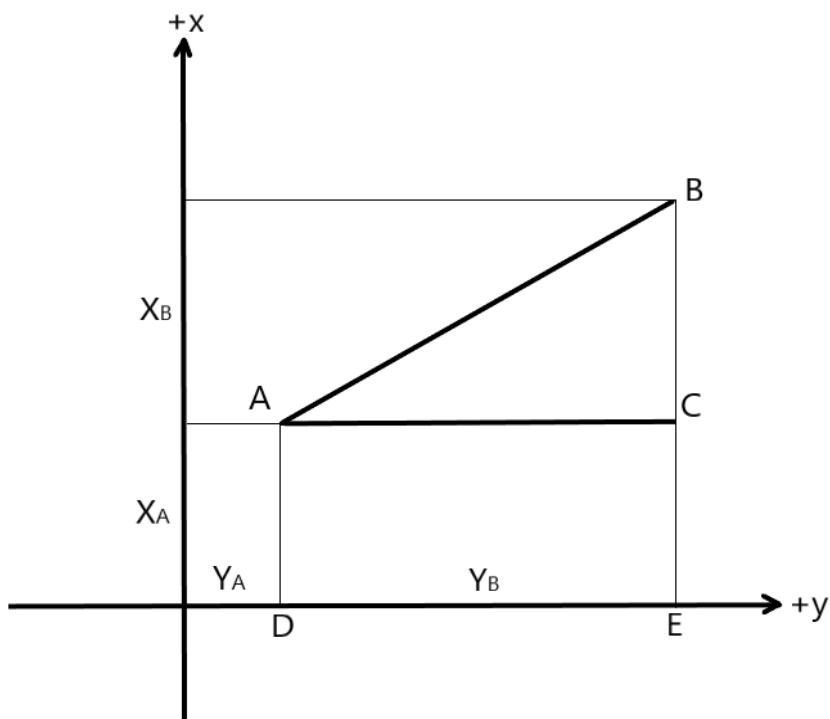


Рис. 3 Координаты съемочных точек

Проведем через точку А линию АС параллельно оси Y. Из рис. 2 видно, что $BE = X_B = BC + CE$, но так как отрезок $CE = AD = X_A$, подставив значение CE в первое уравнение, получим

$$X_B = BC + X_A, \text{ или } BC = X_B - X_A$$

По аналогии можно получить, что $AC = Y_B - Y_A$

Отрезки BC и AC, характеризующие изменение величины координат, называются приращениями координат и обозначаются BC через ΔX , AC через ΔY .

В таком случае предыдущее равенство примет вид

$$\Delta X = X_B - X_A, \quad \Delta Y = Y_B - Y_A \quad (10)$$

Из формулы 10 видно, что координаты точки В могут быть вычислены по координатам точки А и приращениям по следующей формуле
 $X_B = X_A + \Delta X; \quad Y_B = Y_A + \Delta Y$

В обобщенном виде эти формулы выражаются так:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X; \quad Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y \quad (11)$$

Формулы эти читаются так: координата последующей точки равна координате предыдущей точки плюс соответствующее приращение.

Координаты первой точки могут быть известны или из результатов предыдущих измерений или из специальных каталогов.

В некоторых случаях координаты первой точки принимаются условно, например $X(+100)$ и $Y(+100)$, величины приращений в формулах 11 являются неизвестными.

5.3. Вычисление приращений координат

Приращения координат и линия АВ образуют прямоугольный треугольник АВС, в котором известна гипотенуза АВ = 0 и острый угол при вершине В, равный величине румба линии АВ – r (рис. 4)

Из тригонометрии известно, что в прямоугольном треугольнике отношение

$$\frac{BC}{AB} = \cos B \quad \text{и} \quad \frac{AC}{AB} = \sin B \quad (12)$$

Следовательно, $BC = AB \cdot \cos B$ и $AC = AB \sin B$

Подставив значение АВ и угла В, получим

$$\Delta X = d \cos r$$

$$\Delta Y = d \sin r$$

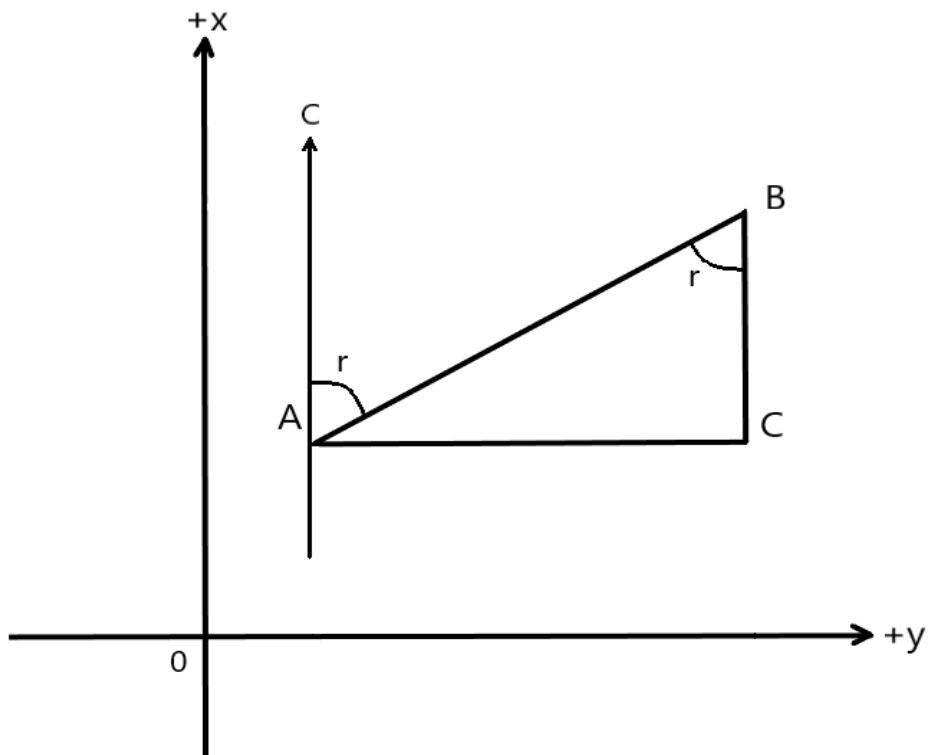


Рис. 4 Румбы линий

По формулам (12) подсчитываются приращения координат, пользуясь «Таблицами приращений координат», «Таблицами логарифмов», «Таблицами натуральных значений тригонометрических функций».

Определение знаков приращений координат

Приращения координат, также как и сами координаты, могут быть положительными и отрицательными в зависимости от расположения точек в любом из четырех квадратов.

При определении знаков приращений необходимо пользоваться следующей таблицей:

Квадр.	I СВ	II ЮВ	III ЮЗ	IV СЗ
Приращ.				
ΔX	+	-	-	+
ΔY	+	+	-	-

5.4. Увязка приращений координат

При полевых измерениях неизбежно возникают ошибки, которые сказываются на значениях приращений. Необходимо определить величину этих ошибок.

В замкнутом полигоне теоретическая сумма приращений координат должна равняться нулю, что выражается такими равенствами:

$$\Sigma_{\Delta x} = 0, \quad \Sigma_{\Delta y} = 0, \quad \text{где} \quad (15)$$

$\Sigma_{\Delta x}$ – алгебраическая сумма приращений координат на оси X

$\Sigma_{\Delta y}$ – алгебраическая сумма приращений координат на оси Y.

Для подтверждения вышесказанного возьмем полигон ABCD (рис. 5). Проекции его сторон на ось Y представляют из себя приращения координат его сторон. Так отрезок

$$A'B' = \Delta Y_{AB}$$

$$B'C' = \Delta Y_{BC}$$

$$C'D' = \Delta Y_{CD}$$

$$A'D' = \Delta Y_{AD}$$

Направление линий AB – СВ, BC – ЮВ, CD – ЮЗ, AD – СЗ, поэтому приращения ΔY_{AB} и ΔY_{BC} положительны, а ΔY_{CD} и ΔY_{AD} отрицательны.

Из рис. 4 видно, что $\Delta Y_{AB} + \Delta Y_{BC} = \Delta Y_{CD} + \Delta Y_{AD}$.

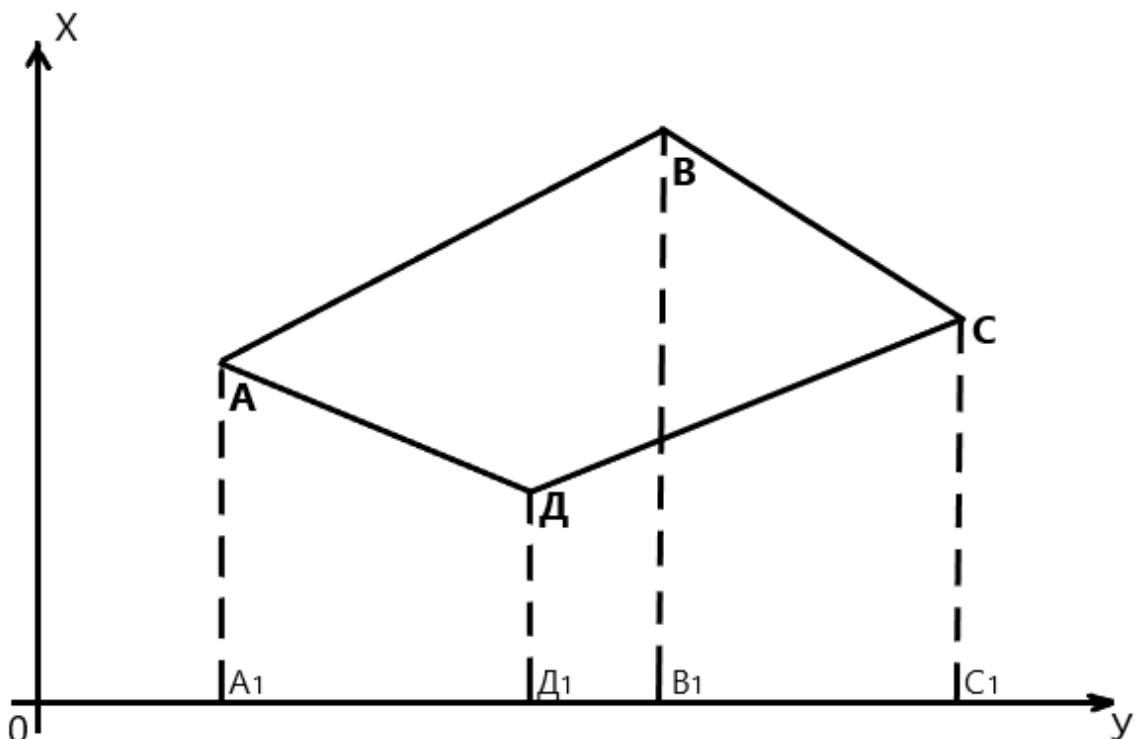


Рис. 4 Проекция участка ABCD

То есть, сумма положительных значений Y равна сумме отрицательных, а это значит, что $\sum \Delta Y = 0$.

Аналогично можно доказать, что $\sum \Delta X = 0$.

В действительности же суммы приращений координат по оси X и оси Y в замкнутом полигоне, вычисленные по данным измерений, будут равны не нулю, а каким то величинам, которые принято обозначать через f_x и f_y и называть невязками в приращений координат:

$$\sum \Delta X = f_x; \quad \sum \Delta Y = f_y \quad (16)$$

Если в вычисленные приращения координат не ввести поправки, а вычислять по формулам (11) последовательно координаты всех вершин полигона по координатам точки A и в конце вновь вычислить координаты точки A по координатам точки D , то полученные значения не будут равны первоначальным, то есть при наложении такого полигона на бумагу он окажется незамкнутым (рис.5).

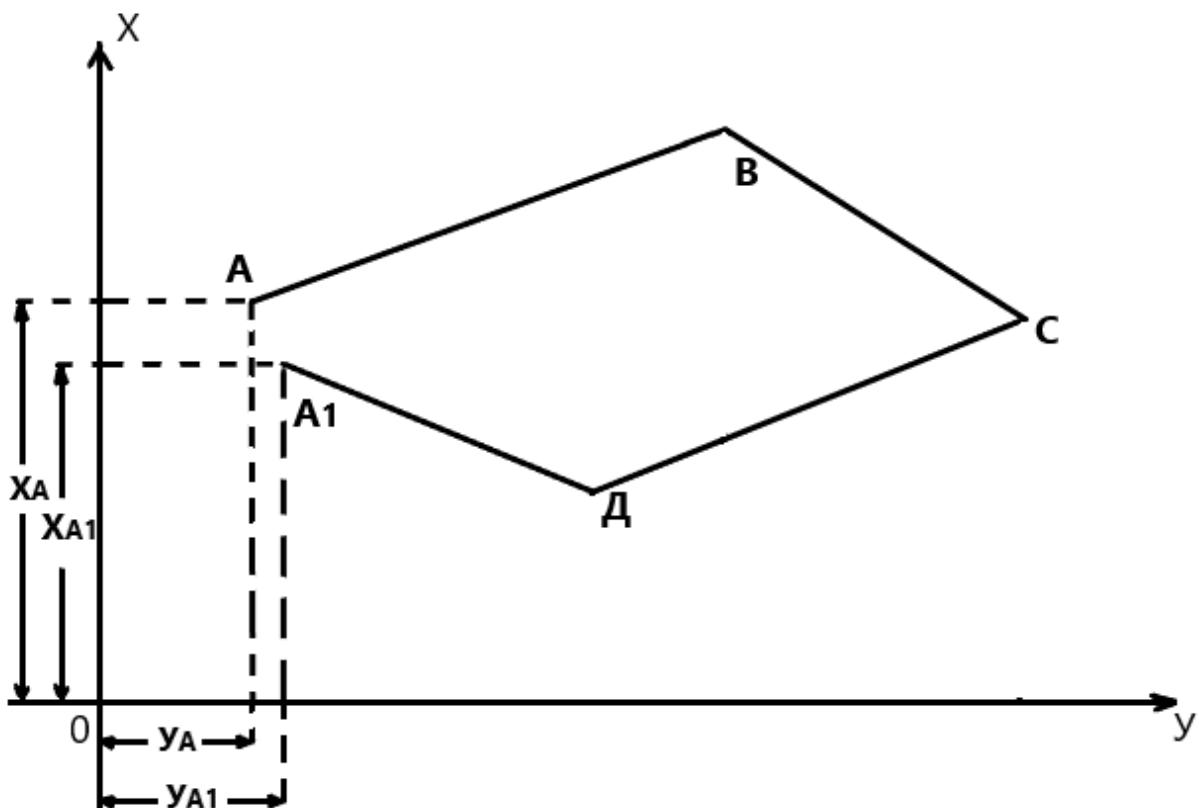


Рис. 5 Несмыкание сторон границ участка АВСД

Другими словами последняя сторона полигона придется не в точку A , а в некоторую другую точку A^1 .

Величина несмыкания – отрезок A^1A обозначается через f и называется линейной или абсолютной невязкой, а разности $|X_A - X_{A1}|$ и $|Y_A - Y_{A1}|$

Y_A^1 |, являющиеся проекциями абсолютной невязки на оси координат, равны невязкам в приращениях координат f_x и f_y .

Из рисунка 5 видно, что f_x и f_y являются катетами прямоугольного треугольника, гипотенузой которого является линейная невязка $A^1A = f_s$.

По теореме Пифагора имеем $f_s^2 = f_x^2 + f_y^2$ отсюда линейная невязка

$$f_s = \pm \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (17)$$

По отношению линейной невязки f_s к длине периметра полигона P определяется относительная невязка, обозначаемая $f_{\text{отн.}}$.

$$f_{\text{отн.}} = \frac{f_s}{P} \quad (18)$$

Относительная невязка считается допустимой, если при благоприятных условиях измерения линий на местности $f_{\text{отн.}} \leq \frac{1}{3000}$ при средних условиях $f_{\text{отн.}} \leq \frac{1}{2000}$, а при неблагоприятных условиях $f_{\text{отн.}} \leq \frac{1}{1000}$.

Если невязка получилась недопустимой, то в первую очередь проверяют все произведенные вычисления и в случае их правильности проверяют величины длин линий и румбов на местности.

Если невязка допустима, то полигон увязывают: невязки распределяют отдельно по ΔX и ΔY пропорционально длинам линий полигона. Так как величины невязок по сравнению с длинами линий незначительны, то их распределяют пропорционально числу сотен метров, содержащихся в сторонах полигона, грубо округляя имеющиеся результаты.

Например, при длинах линий в 348, 429 и 231 метр невязка распределяется в отношении 3:4:2. Величина невязки, которая приходится на заданную линию полигона, называется поправкой.

Для уничтожения невязки поправки вводятся в приращения координат со знаками обратными знаку невязки.

Если невязка распределена неправильно, то сумма поправок должна равняться невязке, но иметь обратный знак.

5.5. Вычисление исправлений приращений координат

По приращениям и поправкам вычисляют исправленные приращения координат, учитывая алгебраическое правило знаков.

Например, если $\Delta X = +972,90$, а поправка $-0,36$, то исправленное $\Delta X = +972,54$ ($+972,90 - 0,36$);

$\Delta Y = -183,06$, а поправка $-0,35$, то исправленное $\Delta Y = -18,41$.

Для контроля правильности произведенных вычислений подсчитывают суммы исправленных приращений ΔX и ΔY , каждая из которых должна быть равна нулю. По исправленным приращениям и координатам первой точки X_1 и Y_1 вычисляют последовательно координаты остальных вершин по формуле (11).

$$\begin{array}{ll}
 X_2 = X_1 + \Delta X_1 & Y_2 = Y_1 + \Delta Y_1 \\
 X_2 = X_2 + \Delta X_2 & Y_2 = Y_2 + \Delta Y_2 \\
 X_3 = X_3 + \Delta X_3 & Y_3 = Y_3 + \Delta Y_3 \\
 X_4 = X_4 + \Delta X_4 & Y_4 = Y_4 + \Delta Y_4 \\
 \dots & \dots \\
 X_n = X_{n-1} + \Delta X_{n-1} & Y_n = Y_{n-1} + \Delta Y_{n-1}
 \end{array}$$

В качестве контроля в конце вычисляют координаты начальной точки, которые должны совпадать с заданными.

Если сумма $\alpha_{t+1} + 180^\circ$ окажется меньше вычитаемого угла β_n , то к этой сумме прибавляется 360° .

Если полученный дирекционный угол превышает 360° , то из его величины отнимают 360° .

Таким образом, в нашем случае, когда $\alpha_{1-2} = 73^\circ 06'$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2; & \alpha_{2-3} &= 73^\circ 06' + 180^\circ - 120^\circ 17' = 132^\circ 49' \\
 \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3; & \alpha_{3-4} &= 132^\circ 49' + 180^\circ - 112^\circ 35' = 200^\circ 14' \\
 \alpha_{4-5} &= \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_4; & \alpha_{4-5} &= 200^\circ 14' + 180^\circ - 111^\circ 18' = 268^\circ 56' \\
 \alpha_{5-1} &= \alpha_{4-5} + 180^\circ - \beta_5; & \alpha_{5-1} &= 268^\circ 56' + 180^\circ - 107^\circ 05' = 341^\circ 51' \\
 \alpha_{1-2} &= \alpha_{45-1} + 180^\circ - \beta_1; & \alpha_{1-2} &= 341^\circ 51' + 180^\circ - 88^\circ 45' = 433^\circ 06' = 73^\circ 06'.
 \end{aligned}$$

Получение исходного дирекционного угла $73^\circ 06'$ свидетельствует о правильности вычислений и полученные значения дирекционных углов заносятся в графу 4 ведомости координат.

По найденным значениям дирекционных углов вычисляются румбы с сторон теодолитного хода по следующим формулам:

- I четверть СВ α ($0^\circ - 90^\circ$); $r = \alpha$
- II четверть ЮВ α ($90^\circ - 180^\circ$); $r = 180^\circ - \alpha$
- III четверть ЮЗ α ($180^\circ - 270^\circ$); $r = \alpha - 180^\circ$
- IV четверть СЗ α ($270^\circ - 360^\circ$); $r = 360^\circ - \alpha$

В нашем случае

$$\begin{array}{ll}
 \alpha_{1-2} = 73^\circ 06' & r_{1-2} = \text{СВ} : 73^\circ 06\beta \\
 \alpha_{2-3} = 132^\circ 49' & r_{2-3} = \text{ЮВ} : 47^\circ 11' \\
 \alpha_{3-4} = 200^\circ 14' \dots & r_{3-4} = \text{ЮЗ} : 20^\circ 14'
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \alpha_{4-5} = 268^\circ 56' & r_{4-5} = Ю3 : 88^\circ 56' \\ \alpha_{5-1} = 341^\circ 51' & r_{5-1} = С3 : 18^\circ 09' \end{array}$$

В качестве примера рассмотрим нахождение приращений координат по результатам теодолитной съемки с помощью «Таблиц приращений координат» (М., «Недра», 1976).

Для этого необходимо значение румба и горизонтального положения, причем последнее расписывается по следующей формуле:

$$СВ : 73^\circ 06' \quad (\text{стр. 76, 77})$$

	ΔX	ΔY
500	145,351	478,406
50	14,536	47,841
2	0,581	1,913
0,48	0,138	0,460
$I_{1-2} =$	552,48	+
	160,605	+
		528,620

$$ЮВ : 47^\circ 11' \quad (\text{стр. 180, 181})$$

	ΔX	ΔY
500	339,827	366,766
40	27,186	29,341
2	1,359	1,467
0,04	0,027	0,029
$I_{2-3} =$	542,04	-
	368,399	+
		397,603

$$Ю3 : 20^\circ 14' \quad (\text{стр. 90, 91})$$

	ΔX	ΔY
500	469,146	172,922
20	08,765	6,916
0,20	0,188	0,069
$I_{3-4} =$	520,20	-
	488,099	-
		179,907

ЮЗ : $88^\circ 56'$ (стр. 14, 15)

	ΔX	ΔY
500	9,307	499,913
10	0,186	9,998
6	0,111	5,998
0,25	0,005	0,250
$I_{4-5} =$	516,25	- 9,609
		- 516,159

С3 : $18^\circ 09'$ (стр. 82, 83)

	ΔX	ΔY
700	665,171	218,054
30	28,507	9,345
0,63	0,598	0,197
$I_{5-1} =$	739,63	+ 702,828
		- 230,399

Полученные результаты записываются в графы 7 и 8 ведомости. После определения приращений координат подсчитываем их суммы.

$$\begin{array}{cccc}
 160,605 & 368,399 & 528,620 & 179,907 \\
 + 702,828 & + 488,099 & + 397,603 & + 516,159 \\
 \hline
 863,433 & + 9,609 & 926,223 & + 230,399 \\
 & \hline
 & 866,107 & 926,465
 \end{array}$$

и определяем невязки по каждой оси координат

$$\begin{array}{ll}
 f_{\Delta X} = + 863,433 & f_{\Delta Y} = + 926,223 \\
 f_{\Delta X_1} = - 866,107 & f_{\Delta Y_1} = - 926,465 \\
 f_X = - 2,674 & f_Y = - 0,242
 \end{array}$$

а также определяем абсолютную невязку хода по формуле и определяем

$$f_p = \sqrt{(f_X)^2 + (f_Y)^2} = \pm \sqrt{(\sum \Delta X)^2 + (\sum \Delta Y)^2} \quad (19)$$

В нашем случае

$$f_p = \sqrt{2,674^2 + 0,242^2} = 2,684 \text{ м}$$

Далее определяем относительную невязку хода:

$$n = \frac{f_p}{p} = \frac{1}{p:f_p}, \text{ где} \quad (20)$$

p . периметр (длина хода), $p = 2870,60$

$$n = \frac{1}{2870,60:2,684} = \frac{1}{1069}$$

Относительная невязка не должна превышать 1/1000

$$\frac{1}{1069} < \frac{1}{1000} \text{ невязка допустима}$$

Если относительная невязка допустима, определяются поправки к приращениям координат на каждую из осей по формулам

$$\delta_{\Delta X n} = \frac{f_x}{p \cdot d_n}, \quad (21)$$

$$\delta_{\Delta Y n} = \frac{f_Y}{p \cdot d_n}, \text{ где} \quad (22)$$

p . периметр хода, м

d_n – длина сторон хода, м

Поправки по оси X

$$\delta_{\Delta X 1-2} = \frac{2,674}{2870} \times 552 = 0,514$$

$$\delta_{\Delta X 2-3} = \frac{2,674}{2870} \times 542 = 0,505$$

$$\delta_{\Delta X 3-4} = \frac{2,674}{2870} \times 520 = 0,485$$

$$\delta_{\Delta X 4-5} = \frac{2,674}{2870} \times 516 = 0,481$$

$$\delta_{\Delta X 5-1} = \frac{2,674}{2870} \times 739 = 0,689$$

$$\overline{2,674}$$

Поправки по оси Y

$$\delta_{\Delta Y 1-2} = \frac{0,242}{2870} \times 552 = 0,046$$

$$\delta_{\Delta Y 2-3} = \frac{0,242}{2870} \times 542 = 0,045$$

$$\delta_{\Delta Y 3-4} = \frac{0,242}{2870} \times 520 = 0,044$$

$$\delta_{\Delta Y 4-5} = \frac{0,242}{2870} \times 516 = 0,043$$

$$\delta_{\Delta Y 5-1} = \frac{0,242}{2870} \times 739 = 0,065$$

$$\overline{= 0,242}$$

Далее определяются исправленные приращения координат по формулам

$$\Delta X_{\text{испр.}} = \Delta X \pm \delta_{\Delta X} \quad (23)$$

$$\Delta Y_{\text{испр.}} = \Delta Y \pm \delta_{\Delta Y} \quad (24)$$

Поправки прибавляются со знаком, обратным знаку невязки.

Исправленные приращения по оси X

$$\Delta X_{1-2} = +160,605 + 0,514 = +161,119$$

$$\Delta X_{2-3} = -368,399 + 0,505 = -367,894$$

$$\Delta X_{3-4} = -488,099 + 0,485 = -487,614$$

$$\Delta X_{4-5} = -9,609 + 0,481 = -9,128$$

$$\Delta X_{5-1} = +702,828 + 0,689 = +703,517.$$

Исправленные приращения по оси Y

$$\Delta Y_{1-2} = +528,620 + 0,046 = +528,666$$

$$\Delta Y_{2-3} = +397,603 + 0,045 = +397,648$$

$$\Delta Y_{3-4} = -179,907 + 0,043 = -179,864$$

$$\Delta Y_{4-5} = -516,159 + 0,043 = -516,116$$

$$\Delta Y_{5-1} = -230,399 + 0,065 = -230,334.$$

Сумма исправленных значений должна быть равна нулю

$$\begin{array}{r} +\Delta X_{\text{испр.}} \quad 161,119 \\ + \quad \underline{703,517} \\ \hline 864,636 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -\Delta X_{\text{испр.}} \quad 367,894 \\ + \quad 487,614 \\ + \quad \underline{9,128} \\ \hline 864,636 \end{array}$$

$$+\Delta Y_{\text{испр.}} = 528,666$$

$$-\Delta Y_{\text{испр.}} = 179,864$$

$$\begin{array}{r}
 + \underline{397,648} \\
 926,314
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 + 516,116 \\
 + \underline{230,334} \\
 926,314
 \end{array}$$

Исправленные значения приращений заносятся в графы 9 (X) и 10 (Y). Координаты вершин полигона определяются по формулам:

$$X_n = X_{n-1} \pm \Delta X_{\text{испр}} \quad (25)$$

$$Y_n = Y_{n-1} \pm \Delta Y_{\text{испр}} \quad (26) \quad \text{где}$$

X_n и Y_n – координаты последующей вершины;

X_{n-1} и Y_{n-1} – координаты предыдущей вершины;

$\Delta X_{\text{испр}}$ и $\Delta Y_{\text{испр}}$ – исправленные приращения координат.

Координата точки последующей равна координате точки предыдущей плюс-минус соответствующее приращение.

Контролем вычислений является получение координат исходной точки X_1 и Y_1 . Значения координат заносятся в графы 11 и 12 ведомости координат.

5.6. Составление плана теодолитного хода по координатам

Составление плана производится в следующей последовательности:

1. Определение размеров листа бумаги (формата) для построения плана согласно принятого масштаба.
2. Построение координатной сетки.
3. Построение по координатам точек (вершин полигона) теодолитного хода.
4. Нанесение на план элементов ситуации.
5. Оформление плана.

Рассмотрим все операции составления плана применительно к нашему примеру.

5.6.1. Определение размеров листа бумаги производится по заданному масштабу и по величине положительных и отрицательных значений координат как по оси X, так и по оси Y.

РЕШЕНИЕ. Масштаб плана 1:5000

$$X_1 = 6\ 179\ 000,00 \quad Y_1 = 9\ 385\ 500,00$$

$$X_2 = 6\ 179\ 161,12 \quad Y_1 = 9\ 386\ 0,28,67$$

$$X_3 = 6\ 178\ 73,23 \quad Y_3 = 9\ 386\ 426,32$$

$$X_4 = 6\ 178\ 305,61$$

$$Y_4 = 9\ 386\ 246,46$$

$$X_5 = 6\ 178\ 296,48$$

$$Y_5 = 9\ 386\ 573,34$$

а) выбираем наибольшие и наименьшие координаты вершин теодолитного хода. По оси X

$X_2 = 6\ 179\ 161,12$ – наибольшая

$X = 6\ 178\ 296,48$ - наименьшая

По оси Y

$Y_3 = 9\ 386\ 426,32$ – наибольшая

$Y_1 = 9\ 385\ 500,00$ – наименьшая

б) Определяем протяженность теодолитного хода.

По оси X

$$6\ 179\ 161,12 - 6\ 178\ 296,48 = 864,64 \text{ м}$$

По оси Y

$$9\ 386\ 426,32 - 9\ 385\ 500,00 = 926,32 \text{ м}$$

В масштабе 1:5000 протяженность полигона на плане составит по оси X:

$$864,64:50 = 17,29 \text{ см}$$

По оси Y:

$$926,32:50 = 18,52$$

Для построения плана с учетом рамок, полей и зарамочного оформления необходим лист бумаги размером 28·28 см, в данном случае - это стандартный лист А-3 (297·420 мм).

5.6.2. Построение сетки квадратов производится при помощи линейки Дробышева (ЛД-1) или линейки ЛБЛ. Методика построения достаточно подробно описана в учебных пособиях.

Правильно построенные координаты не должны отличаться более чем на $\pm 0,2$ мм друг от друга.

Вертикальную линию сетки принимают за ось X, а горизонтальную – за ось Y. Выходы линий за рамку плана подписываются согласно масштаба и размеров сторон квадратов.

Пересечение координатной сетки внутри плана изображаются крестиками. В нашем случае (рис.6) верхняя горизонтальная линия сетки будет иметь координату $X = 6\ 179\ 200,00$, а нижняя - $6\ 178\ 300,00$. Правая вертикальная линия – $Y = 9\ 386\ 500,00$, а левая – $9\ 385\ 400,00$.

5. 6.3. Построение вершин полигона по их координатам

Для построения применяется масштабная линейка и циркуль-измеритель. Для нанесения на план первой точки определяется квадрат, в котором должна находиться точка с заданными координатами $X_1 = 6\ 179\ 000,00$ и $Y_1 = 9\ 385\ 500,00$.

В нашем случае первая точка находится на пересечении горизонтальной и вертикальной линий с заданными координатами.

Вторая точка будет находиться выше линии с координатой $X = 6\ 179\ 100,00$ и вправо от вертикальной линии с координатой $Y = 9\ 386\ 000,00$.

Для нахождения местоположения второй точки с координатами $X_2 = 6\ 179\ 161,12$ и $Y_2 = 9\ 386\ 028,65$ определяем разность между

$$\begin{array}{r} 6\ 179\ 161,12 \\ - 6\ 179\ 100,00 \\ \hline 61,12 \text{ м} \end{array} \quad \begin{array}{r} 9\ 386\ 028,65 \\ - 9\ 386\ 000,00 \\ \hline 28,65 \text{ м} \end{array}$$

В нашем масштабе – это 3,2 мм и 0,6 мм. Отложив от указанных линий сетки полученные значения, мы получим местоположение точки 2.

Аналогично находим местоположение других точек. Правильность нанесения контролируется горизонтальным проложением между указанными точками (см. графу 6 ведомости координат). Ошибка в нанесении точек не должна превышать ± 2 мм.

Нанесенные точки обводятся кружочками диаметром 3 мм и подписываются снаружи полигона арабскими цифрами.

5.6.4. Нанесение на план элементов ситуации

После построения полигона на план наносятся контуры местности (ситуацию) на основании абриса и полевых журналов. Все точки контуров ситуации наносят на план теми же способами, которыми они были сняты на местности. Для построения используются: геодезический транспортир, циркуль-измеритель, масштабная линейка, треугольник.

Так, линия бровки оврага в СЗ части плана наносится способом перпендикуляров. Точки поворота шоссейной дороги - способом угловых засечек и т.д.

Все вспомогательные построения при накладке контуров ситуации выполняются тонкими линиями. Вершины углов и расстояния, которые указывают в абрисе, на план местности не наносятся.

Составленный план тщательно проверяется, после чего на него наносится ситуация условными знаками согласно действующим «Услов-

ным знакам для топографических планов масштабов: 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500».

5.6.5. Оформление плана

Оформление плана заключается в его вычерчивании цветной тушью. Над северной рамкой подписывается название и номенклатура; под южной рамкой – масштабы (численный и линейный), дату съемки авторов. Все карандашные вспомогательные линии копирования удаляются мягкой резинкой.

6. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ

При аналитическом способе вычислений площадь полигона определяется или по результатам измерений углов и линий на местности или по координатам (X и Y) его вершины.

Рассмотрим способ определения площади полигона по координатам его вершин.

При определении площади используются формулы

$$\text{Место для формулы. } S = 0,5 \cdot \sum X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) \quad (27)$$

$$S = 0,5 \cdot \sum Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}) \quad (28), \text{ где}$$

i принимают значения от 1 до 5.

Для вычисления площади используем координаты всех пяти точек, приведенные в графах 11 и 12 ведомости координат. Для облегчения вычислений первые три цифры в значении координат X (617) и Y (938) опущены. Таким образом, координаты принимают вид:

$X_1 = 9\ 000,00$	$Y_1 = 5\ 500,00$
$X_2 = 9\ 161,12$	$Y_2 = 6\ 028,67$
$X_3 = 8\ 793,23$	$Y_3 = 6\ 426,32$
$X_4 = 8\ 305,61$	$Y_4 = 6\ 246,46$
$X_5 = 8\ 296,48$	$Y_5 = 5\ 730,34$

Решение.

1. Определяем разность ($Y_{i+1} - Y_{i-1}$)

$$Y_1 = Y_2 - Y_5 \quad Y_1 = 6\ 028,67 - 5\ 730,34 = +298,83$$

$$Y_2 = Y_3 - Y_1 \quad Y_2 = 6\ 426,32 - 5\ 500,00 = +926,32$$

$$Y_3 = Y_4 - Y_2 \quad Y_3 = 6\ 246,46 - 6\ 028,67 = +217,79$$

$$Y_4 = Y_5 - Y_3 \quad Y_4 = 5\ 730,34 - 6\ 426,32 = -695,98$$

$$Y_5 = Y_1 - Y_4 \quad Y_5 = 5\ 500,00 - 6\ 246,46 = -746,46$$

и разность $X_{i-1} - X_{i+1}$

$$X_1 = X_5 - X_2 \quad X_1 = 8 296,48 - 9 161,12 = -864,64$$

$$X_2 = X_1 - X_3 \quad X_2 = 9 000,00 - 8 793,23 = +206,77$$

$$X_3 = X_2 - X_4 \quad X_3 = 9 161,12 - 8 305,61 = +885,51$$

$$X_4 = X_3 - X_5 \quad X_4 = 8 793,23 - 8 296,48 = +496,75$$

$$X_5 = X_4 - X_1 \quad X_5 = 8 305,61 - 9 000,00 = -694,39$$

Алгебраическая сумма разностей координат

$$X_{i-1} - X_{i+1} = 1 559,03 - 1 559,03 = 0$$

$$Y_{i+1} - Y_{i-1} = 1 442,44 - 1 442,44 = 0$$

2. Определяем произведения

$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$ и $Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$, придавая значения i от 1 до 5.

$$X_1(Y_2 - Y_5) = 9 000,00 (+298,83) = +2 684 970,00$$

$$X_2(Y_3 - Y_1) = 9 161,12 (+926,32) = +8 486 128,68$$

$$X_3(Y_4 - Y_2) = 8 793,23 (+217,79) = +1 915 077,56$$

$$X_4(Y_5 - Y_3) = 8 305,61 (-695,98) = -5 780 538,45$$

$$X_5(Y_1 - Y_4) = 8 296,48 (-746,46) = -6 192 990,46$$

$$Y_1(X_5 - X_2) = 5 500,00 (-864,64) = -4 755 520,00$$

$$Y_2(X_1 - X_3) = 6 028,67 (+206,77) = +1 246 548,00$$

$$Y_3(X_2 - X_4) = 6 426,32 (+855,51) = +5 497 781,02$$

$$Y_4(X_3 - X_5) = 6 246,46 (+496,75) = +3 102 929,00$$

$$X_5(Y_4 - X_1) = 5 730,34 (-694,39) = -3 979+ 090,79$$

3. Определяем суммы

$$\sum X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) \text{ она равна } 1 112 647,32$$

$$\sum Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}) \text{ она равна } 1 112 647,324.$$

4. Определяем площадь полигона

$$S = 0,5 \cdot \sum X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}) \cdot 0,5 \cdot 1 112 647,32 = 556 323,66 \text{ м}^2 \text{ или } 55,63 \text{ га.}$$

Контроль

$$S = 0,5 \cdot \sum Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}) \cdot 0,5 \cdot 1 112 647,32 \text{ м}^2 = 55,63 \text{ га.}$$

Все вычисления заносим в специальную ведомость.

Литература

1. Гиршберг М.А. Геодезия: учебник /М.А. Гиршберг.-Изд. стереотип.- М.: ИНФРА-М, 2017.-384 с.- (Высшее образование: Бакалавриат).- ISBN978-5-16-103344-9.-Текст:электронный.-URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/773470>(дата обращения: 22.05.2020).
2. Ходоров С.Н. Геодезия – это очень просто. Введение в специальность [Электронный ресурс]/С.Н. Ходоров.-2-е изд.-М.: Инфра-Инженерия, 2015.-176с.- ISBN978-5-16-9729-0063-3.-Текст:электронный.-URL:<https://new.znanium.com/catalog/product/519970>(дата обращения: 22.05.2020).
3. Гиршберг М.А. Геодезия: задачник: учебное пособие / М.А. Гиршберг.-Изд. стереотип.- М.: ИНФРА-М, 2020.-288 с.+ Доп. Материалы (Высшее образование: Бакалавриат).-ISBN978-5-16-102814-8 Текст:электронный.-URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1039035>(дата обращения: 22.05.2020).
4. Гиршберг М.А. Задачник по геодезии. Часть 1.[Электронный ресурс] М.А. Гиршберг.-Изд..-М.: Изд. Геодезической литературы, 1961.-294с.: Текст:электронный .- URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/397217>(дата обращения: 22.05.2020).
5. Горр Е.Р. Уравновешивание теодолитных и нивелирных ходов: учебное пособие/Е.Р. Горр.-Благовещенск: Даль ГАУ, 2016.-103с.-Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система.- URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/137434>(дата обращения: 22.05.2020).
6. Кочетова Э.Ф. Геодезия: учебное пособие/Э.Ф. Кочетова.- Нижний Новгород: НГСХА, 2019.-69с. - Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система.- URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/138590>(дата обращения: 22.05.2020).

Дополнительная литература:

1. Попов В.Н. Геодезия и маркшейдерия/В.Н. Попов, В.А. Букринский, П.Н. Бруевич и др.; Под ред В.П. Попова, В.А. Букринского: Учебник для вузов.-3- изд.-М.: Изд. Горная книга, Изд. Московского государственного горного унив., 2010.-453с: ил.

2. Шабалина Л.А., Симонов В.Б. Геодезия: Учебное наглядное пособие для вузов, техникумов и колледжей ж.-д. транспорта.-М.: УМК МПС России, 2002.-42с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Поисковые системы: Rambler, Yandex, Googl.
2. [HTTP://WWW.AGR.RU](http://WWW.AGR.RU)
3. [HTTP://WWW.CREDO.COM](http://WWW.CREDO.COM)



