

**Министерство образования и науки Украины  
Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»**



**Факультет строительства  
Кафедра геодезии**

## **ГЕОДЕЗИЯ**

**Методические рекомендации  
к выполнению лабораторных работ**

для студентов, владеющих английским языком  
и обучающихся по специальностям:

192 Будівництво та цивільна інженерія,  
184 Гірництво\* Будівельні геотехнології та геомеханіка,  
193 Геодезія та землеустрій

Днипро  
НТУ «ДП»  
2019

## **Бормотов А.В.**

Геодезия. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов, владеющих английским языком и обучающихся по специальностям: 192 Будівництво та цивільна інженерія, 184 Гірництво\* Будівельні геотехнології та геомеханіка, 193 Геодезія та землеустрій / А.В. Бормотов, Н.В. Трегуб, А.П. Гойчук. – Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 151 с.

Автори:

О.В. Бормотов, доц.;

М.В. Трегуб, канд. техн. наук, доц.;

А.П. Гойчук, ст. викл.

Затверджено до видання методичними комісіями зі спеціальностей 192 Будівництво та цивільна інженерія, 184 Гірництво\* Будівельні геотехнології та геомеханіка, 193 Геодезія та землеустрій за поданням кафедри геодезії (протокол № 3 від 10.12.2017 г.).

Рассмотрено теоретические положения и приведено методики выполнения лабораторных работ по курсу «Геодезия». К каждой работе приложены задания для самостоятельной работы.

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. М.В. Трегуб.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Введение	4
2. Лабораторная работа № 1. Решение задач с плоскими треугольниками . . . . .	5
3. Лабораторная работа № 2. Решение геодезических задач . . . . .	7
4. Лабораторная работа № 3. Решение геодезических задач . . . . .	11
5. Лабораторная работа № 4. Решение геодезических задач . . . . .	13
6. Лабораторная работа № 5. Решение геодезических задач . . . . .	15
7. Лабораторная работа № 6. Математическая обработка измерений расстояния мерной лентой . . . . .	17
8. Лабораторная работа № 7. Устройство теодолита 2Т30М . . . . .	19
9. Лабораторная работа № 8. Измерение горизонтальных углов и углов наклона теодолитом 2Т30М . . . . .	22
10. Лабораторная работа № 9. Поверки и юстировки теодолита . . . . .	25
11. Лабораторная работа № 10. Устройство нивелира НВ-1 (Н-3), измерение превышения геометрическим нивелированием . . . . .	30
12. Лабораторная работа № 11. Поверки и юстировки нивелира . . . . .	32
13. Лабораторная работа № 12. Вычисление координат точек замкнутого теодолитного хода . . . . .	34
14. Лабораторная работа № 13. Вычисление координат точек разомкнутого теодолитного хода . . . . .	40
15. Лабораторная работа № 14. Упрощенное уравнивание теодолитных ходов с одной узловой точкой . . . . .	56
16. Лабораторная работа № 15. Упрощенное уравнивание плановой съёмочной сети, построенной методом триангуляции (микротриангуляции) . . . . .	86
17. Лабораторная работа № 16. Прямая угловая засечка . . . . .	118
18. Лабораторная работа № 17. Обратная геодезическая засечка (задача Потенота) . . . . .	130
19. Лабораторная работа № 18. Обратная геодезическая засечка (задача Ганзена) . . . . .	135
20. Лабораторная работа № 19. Уравнивание системы нивелирных ходов с одной узловой точкой способом среднего весового . . . . .	137
21. Лабораторная работа № 20. Вычисление высот точек теодолитно- высотного хода . . . . .	144
22. Список литературы . . . . .	150

## ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации составлены для того, чтобы облегчить студенту выполнение лабораторных работ по дисциплине «Геодезия».

В них представлен алгоритм действий с пояснениями, рисунками, таблицами, ведомостями, журналами.

Прежде чем приступить к выполнению работ, необходимо знать свой порядковый номер в списке группы и номер варианта группы.

По окончании работы составляется отчет на бумаге формата А4, который должен в себя включать: тему, задание, исходные данные, краткое изложение последовательности выполнения работы, рисунки, формулы, полученные результаты. В некоторых работах отчетом будет являться ведомость или журнал (по приведенным образцам).

При составлении данных рекомендаций были использованы инструкции и учебная литература.

## Лабораторная работа № 1

Тема: «Решение задач с плоскими треугольниками».

**Задание 1.** Вычислить недостающие элементы косоугольного треугольника ABC (рис. 1.1). Найти его периметр и площадь.

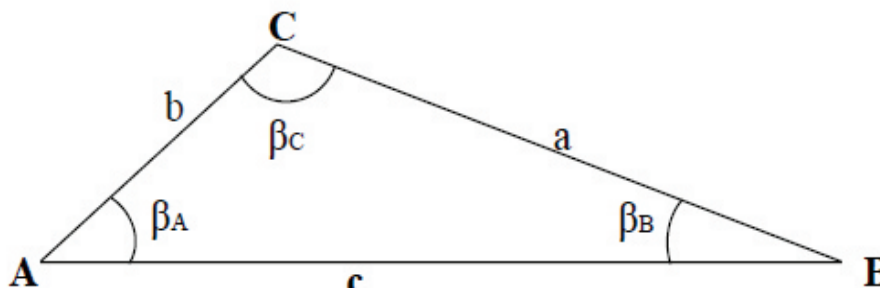


Рис. 1.1. Косоугольный треугольник

Дано: углы  $\beta_A = 35^\circ 51' 18''$  и  $\beta_B = 38^\circ 36' 48''$ ; сторона между ними  $c = 209,86 + 1,83 \cdot N$ , где  $N$  – номер, под которым записана фамилия студента в списке группы.

Найти угол  $\beta_C$  и стороны  $a$  и  $b$ .

Решение:

1. Зная, что сумма углов в треугольнике равна  $180^\circ$ , находим угол  $\beta_C$ :

$$\beta_C = 180^\circ - (\beta_A + \beta_B). \quad (1.1)$$

2. Поскольку в геодезии все вычисления контролируются, проверим, правильно ли найден угол  $\beta_C$ :

$$\beta_A + \beta_B + \beta_C = 180^\circ 00' 00''. \quad (1.2)$$

3. По теореме синусов определяем стороны  $a$  и  $b$ :

$$\frac{a}{\sin \beta_A} = \frac{b}{\sin \beta_B} = \frac{c}{\sin \beta_C};$$

$$a = \frac{c \cdot \sin \beta_A}{\sin \beta_C}; b = \frac{c \cdot \sin \beta_B}{\sin \beta_C}. \quad (1.3)$$

4. Для контроля определяем стороны  $a$  и  $b$  по теореме косинусов:

$$b = \sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cdot \cos\beta_B};$$
$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos\beta_A}. \quad (1.4)$$

5. Периметр треугольника равен сумме сторон:

$$P = a + b + c. \quad (1.5)$$

6. Для вычисления площади используем формулу Герона:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \quad (1.6)$$

где  $p$  – полупериметр,  $p = P/2$ .

7. Для контроля вычисляем площадь по формуле:

$$S = \frac{a \cdot b \cdot \sin\beta_C}{2}. \quad (1.7)$$

**Задание 2. Вычислить недостающие элементы прямоугольного треугольника ABC (рис. 1.2)**

Дано: угол  $\beta_A = 29^\circ 44' 42''$ ; гипотенуза  $b = 195,49 - 2,84 \cdot N$ ,  
где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Найти внутренний угол  $\beta_C$  в вершине  $C$  и катеты  $a$  и  $c$ .

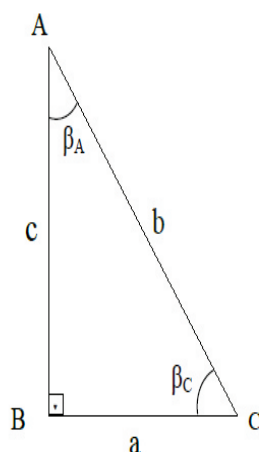


Рис. 1.2. Прямоугольный треугольник

Решение:

1. Зная, что сумма углов в треугольнике равна  $180^\circ$  и угол в вершине  $B$  равен  $90^\circ$ , находим угол  $\beta_C$  в вершине  $C$ :

$$\beta_C = 90^\circ - \beta_A. \quad (1.8)$$

2. Выполняем контроль:

$$\beta_A + \beta_B + \beta_C = 180^\circ. \quad (1.9)$$

3. По теореме синусов определяем стороны  $a$  и  $c$ . Поскольку  $\sin \beta_B = 1$ , тогда:

$$a = b \cdot \sin \beta_A; \quad c = b \cdot \sin \beta_C. \quad (1.10)$$

4. По теореме Пифагора выполняем контроль:  $b = \sqrt{a^2 + c^2}$ .

## Лабораторная работа № 2

### Тема: «Решение геодезических задач».

#### Задание 1. Решить прямую геодезическую задачу.

В геодезии часто приходится передавать координаты с одной точки на другую. Например, зная исходные координаты точки  $A$  (рис. 2.1), горизонтальное расстояние  $d_{AB}$  от неё до точки  $B$  и направление линии, соединяющей обе точки (дирекционный угол  $\alpha_{A-B}$ ), можно определить координаты точки  $B$ . В такой постановке передача координат называется прямой геодезической задачей.

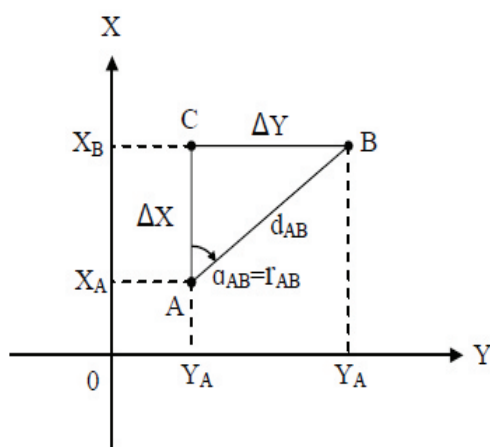


Рис. 2.1. Прямая геодезическая задача

Для точек, расположенных на сфероиде, решение данной задачи представляет значительные трудности. Для точек на плоскости она решается описанным далее способом.

Дано: координаты точки  $A$  ( $X_A = 5378563,27\text{м}$ ;  $Y_A = 1212752,39\text{м}$ ); расстояние  $d_{AB} = 156,18 + 0,27 \cdot N$ ; дирекционный угол  $\alpha_{AB} = 127^\circ 53' + (5^\circ 18') \cdot N$ , где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Найти координаты точки  $B$  ( $X_B, Y_B$ ).

Решение. На рис. 2.1 рассмотрен пример решения в первой четверти, когда дирекционный угол линии  $AB$  ( $\alpha_{AB}$ ) равен румбу (табличному углу  $r_{AB}$ ). Непосредственно из рисунка имеем:

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X; \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Разности координат точек последующей и предыдущей называются приращениями координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ . Они представляют собой проекции отрезка  $AB$  на соответствующие оси координат. Их находим как значения катетов прямоугольного треугольника  $ABC$ :

$$\begin{aligned} \Delta X &= d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}; \\ \Delta Y &= d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Поскольку в этих формулах значение  $d_{AB}$  всегда число положительное, то знаки приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  зависят от знаков  $\cos \alpha_{AB}$  и  $\sin \alpha_{AB}$ . Для контроля расстояние  $d_{AB}$  определяем по формуле:

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (2.3)$$

Вычислив приращения координат, находим искомые координаты точки  $B$  ( $X_B, Y_B$ ) по формулам (2.1).

Таким образом, можно найти координаты любого количества точек по правилу: координаты последующей точки равны координатам предыдущей точки плюс соответствующие приращения координат.



## Задание 2. Решить обратную геодезическую задачу.

Задание заключается в том, что при известных координатах точек  $A (X_A, Y_A)$  и  $B (X_B, Y_B)$  необходимо найти длину  $d_{AB}$  и направление линии  $AB$ : румб  $r_{AB}$  (табличный угол) и дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  (рис. 2.2).

Дано: координаты точки  $A (X_A = 3517178,39; Y_A = 2379145,96)$ ; координаты точки  $B (X_B = 3517293,44 + 3,78 \cdot N; Y_B = 2379003,59 + 4,12 \cdot N)$ , где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Найти длину  $d_{AB}$  и дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ .

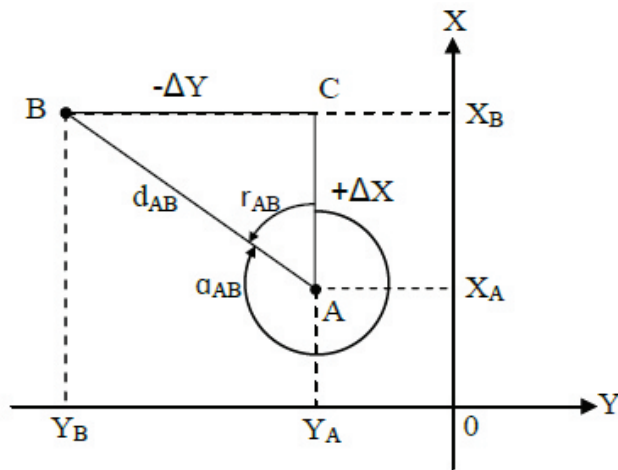


Рис. 2.2. Обратная геодезическая задача

Решение. На рис. 2.2 рассмотрен пример решения в четвертой четверти. В этом случае дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  линии  $AB$  вычисляется по формуле:

$$\alpha_{AB} = 360^\circ - r_{AB}. \quad (2.4)$$

Сначала находим приращения координат:

$$\Delta X = X_B - X_A;$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A. \quad (2.5)$$

Величину румба  $r_{AB}$  определяем из отношения:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \operatorname{tg} r_{AB} \rightarrow r_{AB} = \operatorname{arctg} r \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (2.6)$$

По знакам приращений координат определяют четверть, в которой располагается румб, и название румба (табл. 2.1). Используя зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами (рис. 2.3), находим

дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ . Для контроля расстояние  $d_{AB}$  дважды вычисляют по формулам:

$$d_{AB} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (2.7)$$

Расстояние  $d_{AB}$  для двойного контроля можно определить также по формуле (2.3).

Таблица 2.1

Знаки приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$

Приращения координат	Четверть, в которую направлена линия			
	I (СВ)	II (ЮВ)	III (ЮЗ)	IV (СЗ)
$\Delta X$	+	-	-	+
$\Delta Y$	+	+	-	-

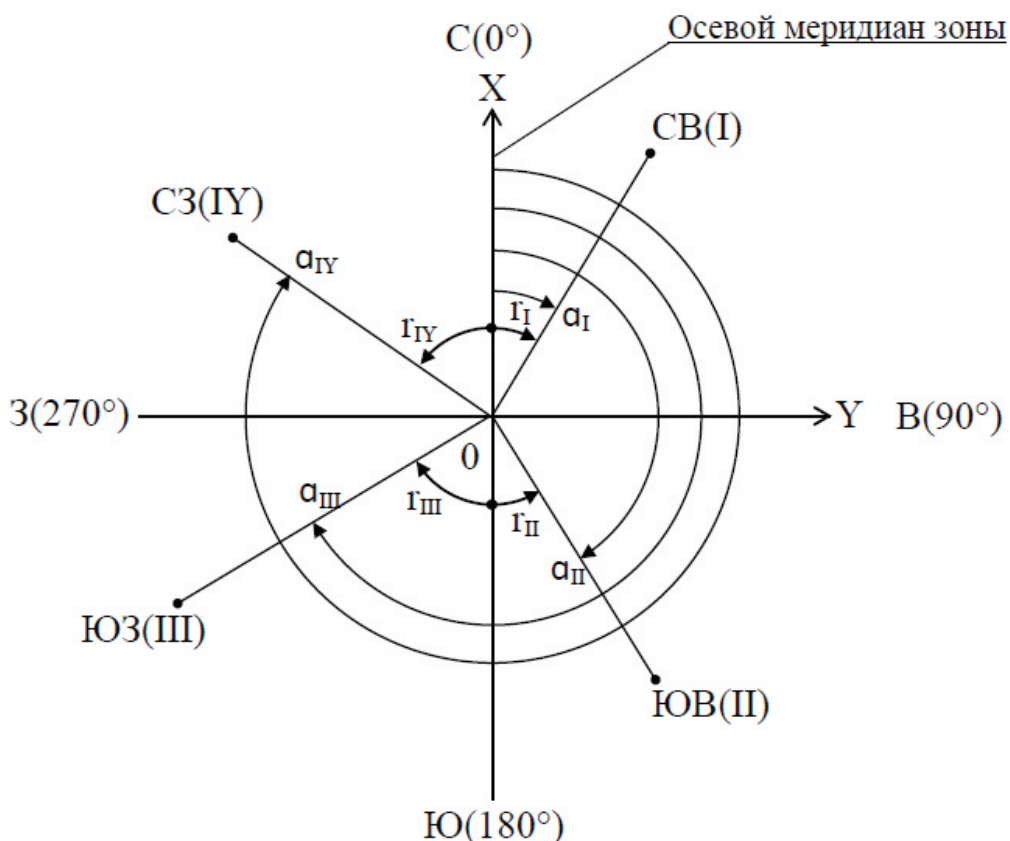


Рис. 2.3. Зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами

Зависимость между дирекционными углами и румбами определяется для четвертей по следующим формулам:

$$\text{I четверть } \alpha = (CB) r;$$

$$\text{II четверть } \alpha = 180^\circ - (IOB) r;$$

$$\text{III четверть } \alpha = 180^\circ + (IO3) r;$$

$$\text{IV четверть } \alpha = 360^\circ - (C3) r.$$

### Лабораторная работа № 3

Тема: «Решение геодезических задач».

**Задание.** Вычислить плоские прямоугольные координаты точки  $P$ , расположение которой на местности определялось полярным способом от исходного направления линии  $BA$  с полюсом в точке  $B$ .

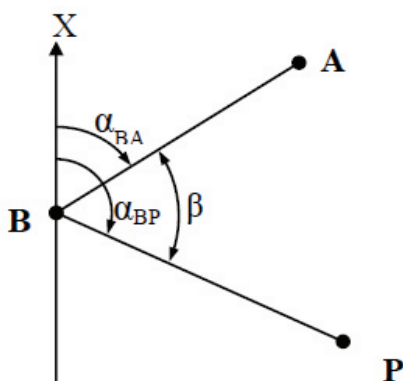


Рис. 3.1. Схема расположения точки  $P$ , определённой полярным способом

Дано: закрепленная на местности линия  $AB$  (рис. 3.1) с известными плоскими прямоугольными координатами точки  $A$  ( $X_A=4458,67-9,56 \cdot N$ ;  $Y_A=5308,37+2,48 \cdot N$ ) и точки  $B$  ( $X_B=4293,36$ ;  $Y_B=5076,49$ ); измеренные на местности полярный угол  $\beta = 149^\circ 31,6' + (3^\circ 02,7') N$ , наклонная длина  $D_{BP} = 156,92 + 2,53 \cdot N$ , угол наклона  $\nu = 5^\circ 53,4'$ . Где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Найти плоские прямоугольные координаты точки  $P$ .

Решение:

1. Дирекционный угол  $\alpha_{BP}$  стороны  $BP$  (рис. 3.1) определяем по формуле:

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} + \beta. \quad (3.1)$$

Исходный дирекционный угол  $\alpha_{BA}$  вычисляем, решая обратную геодезическую задачу. Необходимо обратить внимание на направление дирекционного угла  $\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$ .

$$\begin{aligned}\Delta X_{BA} &= X_A - X_B; \\ \Delta Y_{BA} &= Y_A - Y_B.\end{aligned}\tag{3.2}$$

Величину румба  $r_{BA}$  определяем из выражения:  $r_{BA} = \arctg (\Delta Y_{BA} / \Delta X_{BA})$ .

По знакам приращений координат определяют четверть, в которой располагается румб и, используя зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами (см. рис. 2.3), находим исходный дирекционный угол  $\alpha_{BA}$ , а затем по формуле 3.1 дирекционный угол  $\alpha_{BP}$ .

2. Определяем горизонтальное проложение  $d_{BP}$  линии  $BP$  по формуле:

$$d_{BP} = D_{BP} \cdot \cos \nu.\tag{3.2}$$

3. Решая прямую геодезическую задачу, находим координаты точки P:

$$X_P = X_B + \Delta X_{BP}; \quad Y_P = Y_B + \Delta Y_{BP},\tag{3.3}$$

где  $\Delta X_{BP} = d_{BP} \cdot \cos \alpha_{BP}$ ;  $\Delta Y_{BP} = d_{BP} \cdot \sin \alpha_{BP}$ .

4. Выполняем контроль вычислений по формулам:

$$d_{BP} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{BP}} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{BP}} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.\tag{3.4}$$

## Лабораторная работа № 4

Тема: «Решение геодезических задач».

**Задание.** Вычислить плоские прямоугольные координаты точки  $P$ , положение которой на местности определялось полярным способом с двух смежных точек  $A$  и  $B$ .

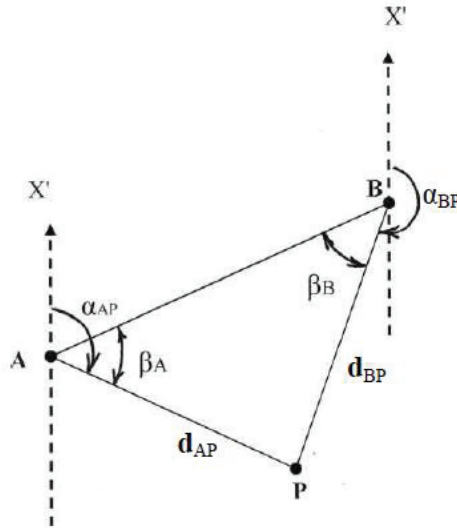


Рис. 4.1. Схема положения точки  $P$ , определенной биполярным способом

**Дано:** закрепленная на местности линия  $AB$  с известными плоскими прямоугольными координатами точки  $A$  ( $X_A = 1636.26$ ;  $Y_A = 2687.09$ ),  $B$  ( $X_B$ ;  $Y_B$ ), измеренные на местности полярные углы  $\beta_A$  и  $\beta_B$  и горизонтальные проложения  $d_{AP}$ ,  $d_{BP}$ .

**Примечание:**  $B$  ( $X_B$ ;  $Y_B$ ),  $\beta_A$ ,  $\beta_B$ ,  $d_{AP}$ ,  $d_{BP}$  студенты выписывают из таблицы 4.1 согласно номеру фамилии студента в списке группы.

**Найти** плоские прямоугольные координаты точки  $P$  с двух полярных точек  $A$  и  $B$ .

**Решение:**

1. Определяем дирекционные углы  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$  сторон  $AP$  и  $BP$ . Для того, чтобы найти  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$ , необходимо вычислить исходный дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  стороны  $AB$  (рис. 4.1), тогда

$$\begin{aligned}\alpha_{AP} &= \alpha_{AB} + \beta_A; \\ \alpha_{BP} &= \alpha_{BA} - \beta_B,\end{aligned}\tag{4.1}$$

где  $\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$ .

Исходный дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  вычисляем, решая обратную геодезическую задачу, аналогично как в Лабораторной работе №2 (задание 2).

По знакам приращений координат определяют четверть, в которой располагается румб и, используя зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами (рис. 2.3), находим исходный дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ , а затем  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{BP}$ .

2. Решая прямую геодезическую задачу, находим координаты точки  $P$  дважды для контроля:

$$X_P = X_A + \Delta X_{AP} = X_B + \Delta X_{BP}; \quad Y_P = Y_A + \Delta Y_{AP} = Y_B + \Delta Y_{BP}, \quad (4.2)$$

где  $\Delta X_{BP} = d_{BP} \cos \alpha_{BP}$ ;  $\Delta X_{AP} = d_{AP} \cos \alpha_{AP}$ ;  $\Delta Y_{BP} = d_{BP} \sin \alpha_{BP}$ ;  $\Delta Y_{AP} = d_{AP} \sin \alpha_{AP}$ .

Таблица 4.1

Исходные данные

№ п/п	Координаты точки $B$		Измеренные углы				Горизонтальное проложение	
	$X_B$	$Y_B$	$\beta_A$		$\beta_B$		$d_{AP}$	$d_{BP}$
			°	'	°	'		
1	1687,62	3096,59	49	56,8	49	49,0	319,94	320,55
2	1645,48	3058,41	42	00,8	62	37,4	340,90	256,94
3	1607,29	3017,59	65	27,2	44	38,6	248,25	321,35
4	1620,46	3109,76	32	31,9	58	46,3	361,78	227,52
5	1555,94	3072,89	59	20,2	57	32,6	372,81	380,04
6	1658,65	3030,76	78	33,0	37	45,0	235,20	376,52
7	1588,86	2942,53	53	07,6	73	58,7	313,11	260,60
8	1588,86	3061,04	49	50,3	53	49,2	313,11	296,46
9	1541,46	3046,56	65	07,8	55	52,9	359,10	393,54
10	1541,46	3046,56	42	48,5	63	04,2	344,60	262,65
11	1632,31	3117,66	38	08,7	56	57,6	362,40	267,02
12	1654,70	3058,41	50	56,3	60	30,1	347,64	310,14
13	1738,97	3074,21	50	59,2	44	07,5	279,96	312,44
14	1611,25	3105,81	61	54,1	47	26,4	327,45	392,17
15	1702,10	3142,68	38	22,1	46	30,8	335,32	286,87
16	1687,63	3096,60	49	56,8	49	49,0	319,94	320,55
17	1645,49	3058,40	42	00,8	62	37,4	340,90	256,94
18	1607,30	3017,60	65	27,4	44	38,6	248,25	321,35
19	1620,47	3109,77	32	31,9	58	46,3	361,78	227,52
20	1555,95	3072,90	59	20,2	57	32,6	372,81	380,04
21	1658,66	3030,77	78	33,0	37	45,0	235,20	376,52

№ п/п	Координаты точки В		Измеренные углы				Горизонтальное проложение	
	$X_B$	$Y_B$	$\beta_A$		$\beta_B$		$d_{AP}$	$d_{BP}$
			°	'	°	'		
22	1588,87	2942,54	53	07,6	73	58,7	313,11	260,60
23	1588,87	3061,05	49	50,3	53	49,2	313,11	296,46
24	1541,47	3046,57	65	07,8	55	52,9	359,10	393,54
25	1541,47	3046,57	42	48,5	63	04,2	344,60	262,65
26	1632,32	3117,67	38	08,7	56	57,6	362,40	267,02
27	1654,71	3058,42	50	56,3	60	30,1	347,64	310,14
28	1738,98	3074,22	50	59,2	44	07,5	279,96	312,44
29	1611,26	3105,82	61	54,1	47	26,4	327,45	392,17
30	1702,11	3142,69	38	22,1	46	30,8	335,32	286,87
31	1687,64	3096,61	49	56,8	49	49,0	319,94	320,55

### Лабораторная работа № 5

Тема: «Решение геодезических задач».

**Задание.** Вычислить горизонтальные (внутренние) углы и горизонтальные проложения контура участка местности в виде треугольника с известными координатами углов поворота.

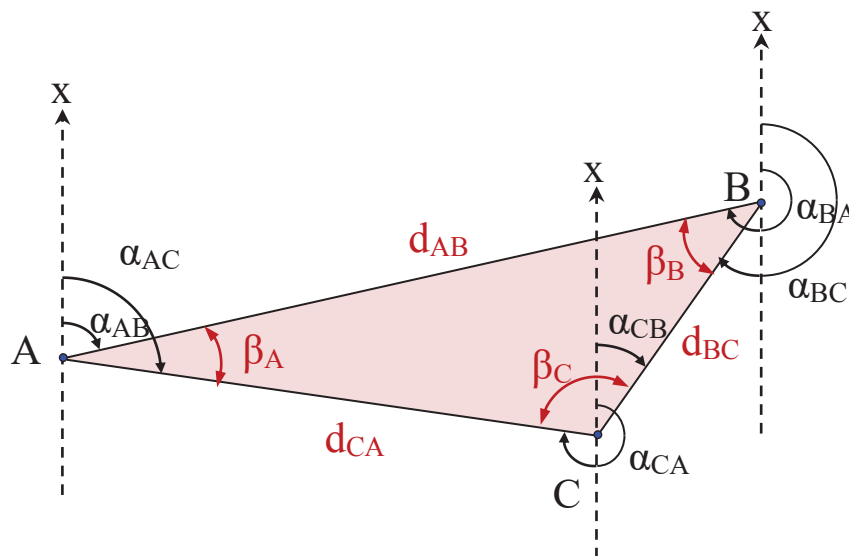


Рис. 5.1. Контур участка местности в виде треугольника

Дано: контур местности в виде треугольника закреплен точками с известными координатами (рис. 5.1):

$$X_A = 20105,11; Y_A = 62050,25.$$

$$X_B = 20210,04 + 0,65 \cdot N; Y_B = 62160,55 + 0,40 \cdot N.$$

$$X_C = 20160,77 + 0,51 \cdot N; Y_C = 62350,75 + 0,44 \cdot N, \quad (5.1)$$

где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Найти внутренние углы  $\beta_A, \beta_B, \beta_C$  и горизонтальные проложения  $d_{AB}, d_{BC}, d_{CA}$ .

Решение. Для того, чтобы определить угол между двумя направлениями линий, необходимо вычесть от значения ориентирующего угла правого направления значение ориентирующего угла левого направления по отношению к определяемому углу. При этом если ориентирующий угол правого направления меньше, то к нему необходимо прибавить  $360^\circ$ . В качестве ориентирующих углов в данной работе используем дирекционные углы. Глядя на рис. 5.1, можно записать:

$$\beta_A = \alpha_{AC} - \alpha_{AB};$$

$$\beta_B = \alpha_{BA} - \alpha_{BC};$$

$$\beta_C = \alpha_{CB} + 360^\circ - \alpha_{CA}. \quad (5.2)$$

Дирекционные углы и горизонтальные проложения сторон треугольника вычисляем, решая обратную геодезическую задачу, аналогично как в Лабораторной работе №2 (задание 2).

Вычисления контролируются по формулам:

$$\beta_A + \beta_B + \beta_C = 180^\circ;$$

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}; \quad d = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha}; \quad d = \frac{\Delta X}{\cos \alpha}. \quad (5.3)$$



## Лабораторная работа № 6

Тема. «Математическая обработка измерений расстояния мерной лентой».

**Задание.** Выполнить математическую обработку результатов измерений расстояния стальной мерной лентой, оценить качество измерений. Вычислить горизонтальное проложение и превышение концов измеренной линии и выполнить контроль вычислений.

Теоретическая часть.

Мерные ленты типа ЛЗ изготавливают из стальной полосы шириной до 2,5 см и длиной 20, 24 или 50 м. Наиболее распространены 20-метровые ленты. На концах лента имеет вырезы для их фиксирования втыкаемыми в землю шпильками. На ленте отмечены метровые и дециметровые деления. Для хранения ее наматывают на специальное кольцо. К ленте прилагается комплект из шести (или одиннадцати) шпилек.

До применения мерных приборов их компарируют. Компарированием называется сравнение длины мерного прибора с другим прибором, длина которого точно известна. Для компарирования ленты ЛЗ на ровной поверхности с помощью выверенной образцовой ленты отмеряют отрезок номинальной длины (20 м) и укладывают на том же месте проверяемую рабочую ленту. Совместив нулевой штрих ленты с началом отрезка, закрепляют конец ленты в этом положении. Затем ленту растягивают и линейкой измеряют величину несовпадения конечного штриха ленты с концом отрезка, то есть отличие ( $\Delta l_k$ ) длины ленты от номинала, при этом измеряется температура воздуха во время компарирования ( $t_k$ ). В последующем эту величину используют для вычисления поправок за компарирование.

Дано: на местности закреплена линия и измерена в прямом и обратном направлении стальной лентой с числом шпилек в комплекте ( $n_1 = 6$  шт.) и допустимой относительной ошибкой  $\delta_{дон.} = 1/2000$ .

Уравнение длины ленты:

$$l = l_0 + \Delta l_k + c \cdot l_0 \cdot (t - t_0), \quad (6.1)$$

где  $l$  – длина ленты при температуре измерений ( $t$ );  $l_0$  – номинальная длина ( $l_0 = 20$  м);  $\Delta l_k$  – поправка за компарирование ( $\Delta l_k = -0,015$  м) при температуре компарирования  $t_0 = +18^\circ\text{C}$ ;  $c$  – температурный коэффициент линейного расширения ( $c = 12,8 \cdot 10^{-6}$ ).

В процессе измерений получено:

- температура воздуха при измерении  $t = 3^\circ\text{C} + 0,6 \cdot N$ ;
- число шпилек у заднего мерщика  $n = 5$  шт.; количество передач  $q = 2$ ;
- домер при измерении длины линии в прямом направлении  
 $r_1 = 18,93 - 0,49 \cdot N$ ;
- домер при измерении длины линии в обратном направлении  
 $r_2 = 18,79 - 0,49 \cdot N$ ;
- угол наклона линии  $v = 2^\circ 48,5' + (0^\circ 07,2') \cdot N$ ,

где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

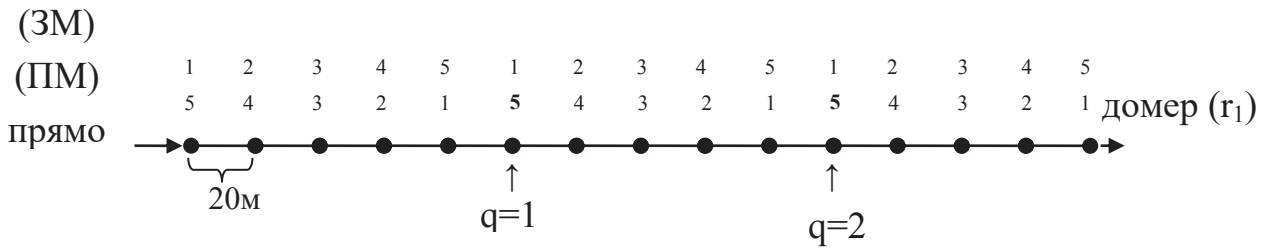


Рис. 6.1. Схема измерения линии в прямом направлении (ЗМ – количество шпилек у заднего мерщика; ПМ – количество шпилек у переднего мерщика)

Решение.

1. Вычисляем исходные данные измерений (для примера возьмем номер в списке студентов  $N=31$ ).

$$t = 3^{\circ}\text{C} + 0,6^{\circ} \cdot 31 = +21,6^{\circ};$$

$$r_1 = 18,93 - 0,49 \cdot 31 = 3,74 \text{ м};$$

$$r_2 = 18,79 - 0,49 \cdot 31 = 3,60 \text{ м};$$

$$v = 2^{\circ} 48,5' + (0^{\circ} 07,2') \cdot 31 = 6^{\circ} 31,7'.$$

2. Вычисляем уравнение длины ленты по формуле (6.1).

3. Наклонная длина линии вычисляется по формуле:

$$D = l_0 \cdot (n_1 - 1) \cdot q + l_0 \cdot (n - 1) + r. \quad (6.2)$$

Вычисляем наклонную длину линии по формуле (6.2), измеренную в прямом ( $D_{пр.}$ ) и в обратном ( $D_{обр.}$ ) направлении и среднюю длину:

$$D_{ср.} = (D_{пр.} + D_{обр.}) / 2. \quad (6.3)$$

4. Вычисляем относительную ошибку измерений и сравниваем с допустимой относительной ошибкой.

$$\delta_{отн.} = \frac{l}{D_{ср.} / \Delta}, \quad (6.4)$$

где  $\Delta = D_{пр.} - D_{обр.}$ .

Если  $\delta_{отн.} < 1/2000$ , измерения удовлетворяют допуску.

5. Вычисляем истинное значение длины линии с учетом уравнения длины ленты:

$$D = l \cdot \frac{D_{ср.}}{l_0}. \quad (6.5)$$

6. Вычисляем горизонтальное проложение ( $d$ ) и превышение ( $h$ ):

$$d = D \cdot \cos v;$$

$$h = D \cdot \sin v. \quad (6.6)$$

7. Контроль вычислений:

$$D = \sqrt{d^2 + h^2}; \quad d = D - \frac{h^2}{2D}. \quad (6.7)$$

### Лабораторная работа № 7

#### Тема: «Устройство теодолита 2Т30М».

**Задание.** Изучить устройство теодолита 2Т30М. Научиться устанавливать теодолит, наводиться на цель и брать отсчеты.

Теодолит 2Т30М (рис. 7.1) относится к угломерным приборам технической точности. В теодолите 2Т30М лимбы горизонтального и вертикального круга изготовлены из прозрачного материала с нанесением и оцифровкой штрихов через 1 градус в интервале от 0 до 360. Отсчетным приспособлением является шкаловый микроскоп (рис. 7.3).

Основные части теодолита 2Т30М (рис. 7.1): 1 – зрительная труба; 2 – визир оптический (прицел); 3 – диоптрийное кольцо на окуляре отсчетного микроскопа для фокусировки отсчетной шкалы; 4 – диоптрийное кольцо на окуляре зрительной трубы для фокусировки сетки нитей; 5 – фокусирующее кольцо (кремальера) зрительной трубы; 6 – закрепительный (зажимной) винт зрительной трубы (вертикального круга); 7 – цилиндрический уровень; 8 – наводящий (микрометрический) винт зрительной трубы (вертикального круга); 9 – наводящий (микрометрический) винт горизонтального круга; 10 – закрепительный (зажимной) винт горизонтального круга; 11 – подставка (трегер); 12 – подъёмный винт; 13 – закрепительный винт прибора.

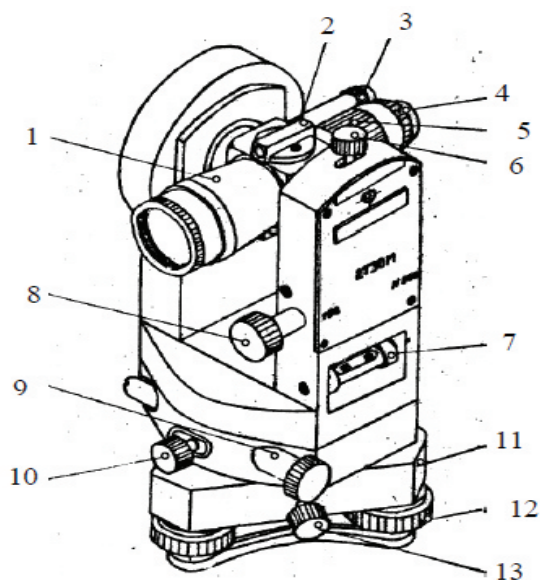


Рис. 7.1. Внешний вид теодолита 2Т30М

Сетка нитей (рис. 7.2) представляет собой перекрестие, вертикальный штрих которого в одной половине поля зрения выполнен двойным штрихом (биссектором), который позволяет точнее наводиться на цель. Два коротких горизонтальных штриха сетки образуют нитяной дальномер. На диафрагме сетки нитей нанесена также шкала с ценой деления 1 минута, предназначенная для измерения малых углов.

С помощью оптической системы изображения штрихов лимбов и шкалы передаются в поле зрения оптического микроскопа (рис. 7.3). Шкала вертикального лимба обозначена буквой **В**, а горизонтального **Г**. Отсчет и оценка доли градусного деления лимба производится по шкале. Отсчетная шкала разделена на 60 делений. Цена деления равна 1 минуте.

Перед измерением угла необходимо привести теодолит в рабочее положение, то есть, выполнить три операции: центрирование, горизонтирование и установку зрительной трубы.

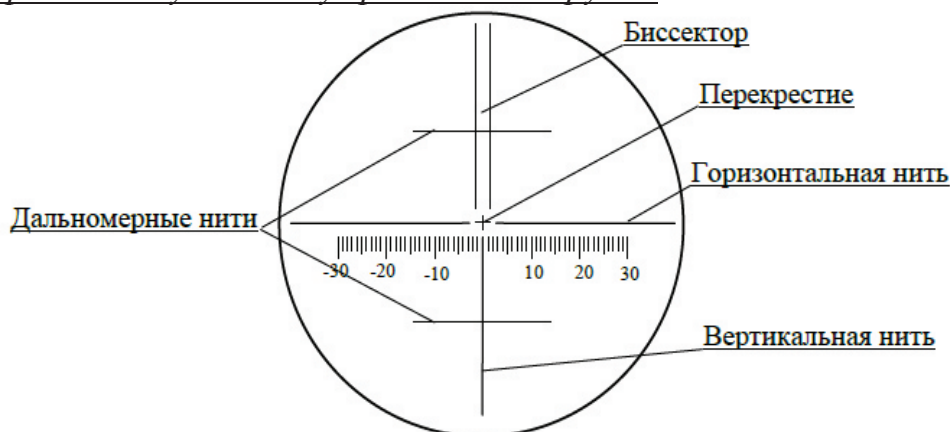


Рис. 7.2. Сетка нитей в поле зрения зрительной трубы

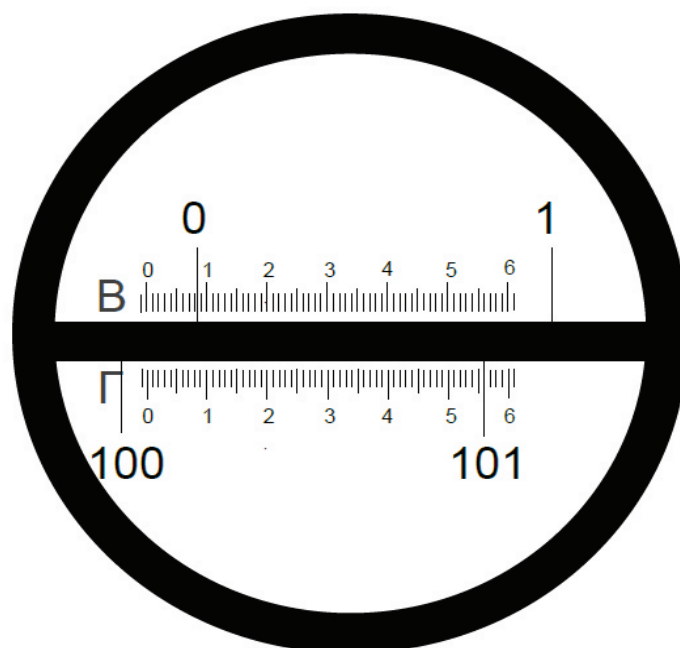


Рис. 7.3. Поле зрения отсчетного микроскопа  
*отсчет по вертикальному кругу  $0^{\circ}08,2'$ ;*  
*отсчет по горизонтальному кругу  $101^{\circ}56,0'$ .*

Центрирование теодолита – это установка оси вращения алидады над вершиной измеряемого угла; операция выполняется с помощью отвеса, подвешиваемого на крючок станového винта или с помощью оптического центра.

Горизонтирование теодолита – это установка оси вращения алидады в вертикальное положение; операция выполняется с помощью подъемных винтов и цилиндрического уровня в два этапа (рис. 7.4):

1. Разворачиваем теодолит таким образом, чтобы цилиндрический уровень расположился параллельно двум подъемным винтам и, вращая эти винты в разные стороны, выводим пузырек уровня в нуль пункт (на середину);
2. Разворачиваем теодолит на  $90^{\circ}$ , чтобы уровень расположился перпендикулярно двум винтам, которые ранее вращали, и третьим винтом выводим пузырек уровня в нуль пункт.

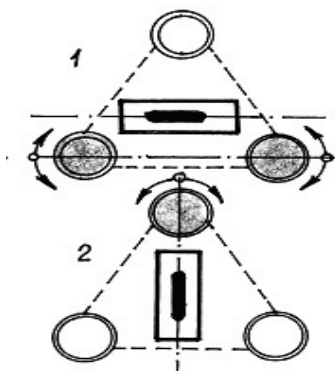


Рис. 7.4. Горизонтирование теодолита

Установка трубы и отсчетного приспособления происходит по глазу и по предмету. Установка по глазу – это фокусирование сетки нитей в поле зрения зрительной трубы и фокусирование делений шкалы в поле зрения отсчетного микроскопа. Выполняется с помощью подвижных диоптрийных колец на окулярах зрительной трубы и микроскопа (рис. 7.1 п.4 и п.3). Установка по предмету – это фокусирование четкого изображения предмета, на который необходимо навести зрительную трубу. Выполняется с помощью фокусирующего кольца (кремальеры) зрительной трубы (рис. 7.1 п.5).

На рис. 7.5 изображены основные оси теодолита:

- (1-1) – ось вращения теодолита (инструмента);
- (2-2) – ось вращения зрительной трубы;
- (3-3) – визирная ось зрительной трубы;
- (4-4) – ось цилиндрического уровня горизонтального круга.

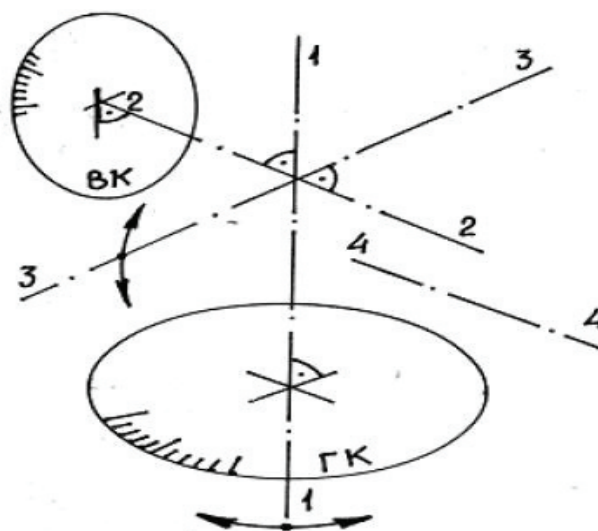


Рис. 7.5. Основные оси теодолита

### Лабораторная работа №8

**Тема: «Измерение горизонтальных углов и углов наклона теодолитом 2Т30М».**

**Задание 1. Измерить горизонтальный угол способом приемов.**

Для выполнения работы студенту предоставляется:

теодолит 2Т30М, установленный на штатив; макеты закрепленных вешек.

Результаты измерений записываются в заранее подготовленные студентами журналы измерения углов. Образец их заполнения приведен в табл. 8.1 и 8.2.

Студент, не знающий устройства теодолита 2Т30М (Лабораторная работа №7) к выполнению данной работы не допускается.

Измерение горизонтального угла способом приемов состоит из двух полуприёмов, т.е. один и тот же угол измеряется дважды: при положении вертикального круга справа (КП) и слева (КЛ) относительно зрительной трубы. Прежде чем измерить горизонтальный угол, производится установка теодолита в рабочее положение на точке стояния. Это значит, что ось вращения теодолита должна проходить через вершину измеряемого угла и должна быть отвесной. Установка теодолита в рабочее положение выполняется с помощью цилиндрического уровня и подъемных винтов.

### 1-й полуприём:

1. Привести теодолит в рабочее положение.
2. Установить предварительно вертикальный круг слева от зрительной трубы (КЛ).
3. Выбрать два направления, считая, что они закреплены на концах сторон угла, и зарисовать схему угла в журнал (табл. 8.1, графа 10). Записать в журнал номер точки стояния и точек визирования (табл. 8.1, графа 1 и 2).
4. Ослабить закрепительные винты горизонтального круга и зрительной трубы, навести трубу (используя прицел) таким образом, чтобы в поле зрения была видна правая вежа, и закрепить эти же винты. Затем наводящими винтами горизонтального круга и зрительной трубы навести точно перекрестие сетки нитей (рис. 7.2) в основании вежи.
5. Взять отсчет по шкале горизонтального круга (нижняя шкала микроскопа, рис. 7.3) и записать в журнал значения градусов, минут и десятых долей минут (табл. 8.1, графа 4 и 5).
6. Повторить действия, описанные в п.4., визируя при этом на левую вежу, установленную на другой стороне угла, и взять отсчет, как указано в п. 5.

Таблица 8.1

Журнал измерения горизонтальных углов способом приёмов

Точка стояния	Точка визирования	Положение вертикального круга	Отсчет по гор. кругу		Угол из полуприёма		Среднее значение угла		Абрис
			°	'	°	'	°	'	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3		329	54,4					
14		КЛ			68	18,2			
	1		261	36,2					
	3		149	54,5					
14		КП			68	17,3	68	17,8	
	1		81	37,2					

Пример вычислений:  $\beta_{14}(КЛ)=329^{\circ}54,4'-261^{\circ}36,2'=68^{\circ}18,2'$ ;  
 $\beta_{14}(КП)=149^{\circ}54,5'-81^{\circ}37,2'=68^{\circ}17,3'$ ;  
 $\beta_{14(Ср.)} = (68^{\circ}18,2'+68^{\circ}17,3')/2=68^{\circ}17,8'$ .

## 2-й полуприём:

7. Ослабить закрепительные винты горизонтального круга и зрительной трубы и перевести трубу через зенит (т.е. в положение КП).
8. Повторить действия, указанные в пунктах 4 – 6, визируя на те же вехи и в той же последовательности.
9. Вычислить значение угла в каждом полуприёме (правый отсчет минус левый) и записать в журнал (табл. 8.1, графа 6 и 7). Если разность значений угла в полуприёмах не превышает двойной точности теодолита (для 2Т30М:  $2t = 2 \cdot 30'' = 1'$ ), вычисляем среднее значение угла и записываем в журнал (табл. 8.1, графа 8 и 9).
10. Если разность значений угла в полуприёмах превышает двойную точность теодолита, перечеркиваем результаты измерения и начинаем выполнять измерения заново (п.1 – 9).

### Задание 2. Измерить угол наклона.

Отсчеты для измерения угла наклона берутся одновременно при измерении горизонтального угла, но по шкале вертикального круга (верхняя шкала микроскопа, рис.7.3) и записываются в журнал измерения вертикальных углов (образец заполнения см. табл.8.2), визируя зрительную трубу на одну и ту же точку при круге справа (КП) и круге слева (КЛ). Значение угла наклона вычисляют по формуле:

$$\nu = \frac{КЛ - (КП + 180^{\circ})}{2}. \quad (8.1)$$

На практике во время съёмки местности углы наклона измеряются при одном положении вертикального круга, то есть либо при положении КП, либо КЛ. Но для этого предварительно определяется место нуля вертикального круга (МО).

Место нуля (МО) – это отсчет по вертикальному кругу, когда зрительная труба находится в горизонтальном положении.

Значение места нуля вертикального круга определяется из двух отсчетов, взятых по шкале вертикального круга при положениях КП и КЛ после визирирования на одну и ту же точку по формуле (для теодолита 2Т30М):

$$МО = \frac{КЛ + (КП + 180^{\circ})}{2}. \quad (8.2)$$



Тогда угол наклона:

$$v = КЛ - МО; \quad (8.3)$$

$$v = МО - (КП + 180^\circ). \quad (8.4)$$

При этом следует иметь ввиду, что в формулах 8.1 – 8.4 к величинам отсчетов КП, КЛ, МО, меньшим 90°, необходимо прибавлять 360°.

Таблица 8.2

Журнал измерения вертикальных углов

Точка стояния	Точка визирования	Положение вертикального круга	Отсчет по вертик. кругу (ВК)		Место нуля МО		Угол наклона v	
			°	'	°	'	°	'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	3	КЛ	9	27	0	0,5	9	26,5
		КП	170	34				
14	1	КЛ	4	23	0	0,5	4	22,5
		КП	175	38				

Пример вычислений:

$$МО = (170^\circ 34' + (9^\circ 27' + 360^\circ) + 180^\circ) / 2 = 720^\circ 01' / 2 = 360^\circ 0,5' = 0^\circ 0,5',$$

$$v = (КЛ - (КП + 180^\circ)) / 2 = ((9^\circ 27' + 360^\circ) - (170^\circ 34' + 180^\circ)) / 2 = 9^\circ 26,5',$$

$$v = КЛ - МО = 9^\circ 27' - 0^\circ 0,5' = 9^\circ 26,5',$$

$$v = МО - (КП + 180^\circ) = (0^\circ 0,5' + 360^\circ) - (170^\circ 34' + 180^\circ) = 9^\circ 26,5'.$$

### Лабораторная работа № 9

**Тема: «Поверки и юстировки теодолита».**

**Задание.** Выполнить поверки теодолита 2Т30М и изучить юстировки.

Для выполнения работы студенту предоставляется теодолит 2Т30М, установленный на штатив.

Студент записывает марку и номер теодолита, и вся работа выполняется с одним и тем же прибором.

Студент, не знающий устройства теодолита 2Т30М (лабораторная работа №7), к выполнению данной работы не допускается.

Теоретические сведения для выполнения работы:

Перед началом измерений все геодезические приборы подлежат поверкам и, при необходимости, юстировкам (исправлениям).

**Поверками** называют действия, в результате которых устанавливается взаимное расположение геометрических осей прибора, а также других условий, предусмотренных его конструкцией.

Ранее при изучении устройства теодолита рассматривались его основные геометрические оси (рис. 7.4):

1. Ось вращения теодолита (инструмента);
2. Ось вращения зрительной трубы;
3. Визирная ось зрительной трубы;
4. Ось цилиндрического уровня горизонтального круга.

К основным поверкам теодолитов относится определение выполнения следующих геометрических условий:

*Условие 1.* Ось цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

*Условие 2.* Горизонтальная нить сетки трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

*Условие 3.* Место нуля вертикального круга должно быть близким к нулю и постоянным.

*Условие 4.* Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси ее вращения.

*Условие 5.* Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

Условие 1 проверяют в начале каждого рабочего дня, а также при необходимости и в течение рабочего дня, при разбивочных работах на каждой станции.

Условие 2 проверяют перед выполнением разбивочных работ, во время створных измерений, при выполнении ориентировок, перед измерениями в ходах съемочного обоснования и др.

Условие 3 проверяют перед измерениями углов наклона (тригонометрическое нивелирование), перед ориентировками, при визировании на близкие цели.

Условие 4 проверяют одновременно с проверкой условия 3 перед выполнением указанных выше работ.

Условие 5 проверяют периодически в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора, но не реже одного раза в 2 месяца, а также после

известных наблюдателю механических воздействий, происшедших во время работы с теодолитом, либо во время его транспортировки.

Перед началом работы с теодолитом проверяют устойчивость штатива. Сначала это делают визуально. Затем закрепляют теодолит на штативе, приводят в горизонтальное положение и наводят трубу на какой-либо предмет. Взявшись руками за площадку штатива, слегка поворачивают его в одну и другую сторону. Если после этого будет замечено смещение изображения выбранного предмета с перекрестием сетки нитей зрительной трубы, следует потуже затянуть крепежные винты площадки и ножек штатива.

Поскольку измерение горизонтальных углов при указанных поверках не производится, то центрирование теодолита не выполняют.

Перед выполнением любой поверки (2, 3, 4 и 5) поверка условия 1 обязательна.

#### Поверка 1. Выполнение условия 1.

1. Установить ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга по направлению на два любых подъемных винта подставки. Вращением этих винтов в противоположные стороны установить пузырек уровня точно на середине.

2. Повернуть колонку на  $180^\circ$  (это можно сделать «на глаз» по симметрии частей колонки либо по отсчетам шкалы горизонтального круга). Если пузырек уровня отклонился не более чем на два деления ампулы, то условие считают выполненным. В этом случае поверку следует проконтролировать по двум другим подъемным винтам подставки.

3. Если пузырек уровня отклонился более чем на одно деление, то половину этого отклонения следует исправить подъемными винтами подставки, вращая их одновременно в противоположные стороны, а другую половину – юстировочными винтами уровня, перемещая его хвостовик вверх или вниз в зависимости от положения пузырька. После выполнения юстировки поверку повторяют на других подъемных винтах.

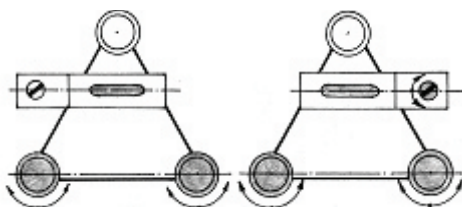


Рис. 9.3. Первая поверка теодолита

### Поверка 2. Выполнение условия 2.

Для поверки условия 2 визируют верхний конец вертикальной нити сетки нитей на какую-либо точку и наводящим винтом зрительной трубы переводят изображение точки в нижнюю часть вертикальной нити. Если изображение точки при этом смещается не более чем на  $1/3$  ширины биссектора сетки нитей, то условие 2 считают выполненным. В противном случае ослабляют крепежные винты сетки и проворачивают ее до необходимого положения. После этого крепежные винты закручивают и повторяют поверку этого условия. Вертикальность нити сетки можно проверить и по нити отвеса, подвешенного на расстоянии 5 – 10 м от теодолита. Перпендикулярность вертикальной и горизонтальной нитей сетки гарантирует предприятие-изготовитель.

### Поверка 3. Выполнение условия 3.

1. На местности выбирают несколько (3 – 4) точек примерно на горизонте прибора и определяют по всем выбранным направлениям значения места нуля (МО) вертикального круга по формуле (8.2).

Место нуля не должно превышать двойной точности теодолита ( $2t$ ). Исправление выполняют перемещением по вертикали оправы сетки нитей. Его удобно производить при положении вертикального круга слева (КЛ). Для этого визируют ось трубы на точку, по которой определяли МО. Наводящим винтом трубы устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вертикальному углу наклона:  $v = \text{КЛ} - \text{МО}$ , при этом горизонтальная нить сетки сместится с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки, совмещают нить с наблюдаемой точкой. После исправления повторно определяется место нуля.

Если колебания МО превышают допустимую величину  $2t$ , а также само значение МО существенно больше 0, то условие 3 считают невыполненным. Значительные колебания МО говорят о неисправности теодолита, либо системы вертикального круга. Исследование неисправности и ремонт производится только в специализированной мастерской.

### Поверка 4. Определение коллимационной погрешности $c$ .

1. Выполнить визирование вертикальной нитью и взять отсчеты по горизонтальному кругу при двух его положениях (КП1 и КЛ1) на удаленную точку, находящуюся примерно на горизонте прибора.

2. У теодолита Т30 ослабить зажимной винт подставки наводящего устройства и повернуть горизонтальный круг на  $180^\circ$ . Затем этот винт зажать и повернуть колонку в первоначальное положение. У теодолита Т15 поворот горизонтального круга на  $180^\circ$  осуществляется с помощью куркового зажима.

3. Выполнить п.1 для той же точки и получить отсчеты КП2 и КЛ2.

Значение коллимационной погрешности получают по формуле:

$$c = [(КП1 - КЛ1 \pm 180^\circ) + (КП2 - КЛ2 \pm 180^\circ)] / 4. \quad (9.1)$$

Если значение коллимационной погрешности превышает допустимую величину (для Т30 - 1', Т15 - 0,5'), то выполняют юстировку.

4. Вычисляют правильный отсчет  $a$  на точку:  $a = КП2 - c = КЛ2 + c$ .

5. Наводящим винтом алидады горизонтального круга устанавливают правильный отсчет на лимбе ГК при соответствующем положении круга. При этом изображение точки сместится от центра сетки нитей (вертикальной нити) в сторону на величину  $c$ .

6. Боковыми юстировочными винтами сетки нитей совместить ее центр (или вертикальную нить) с изображением точки.

Поверка 5. Выполнение условия 5.

1. Теодолит необходимо установить на расстоянии 10 – 20 м от высокого объекта (например, стены здания). В верхней части стены выбрать какую-либо заметную точку так, чтобы визирование на нее производилось при наклоне визирной оси к горизонту примерно на 30° (рис. 9.4).

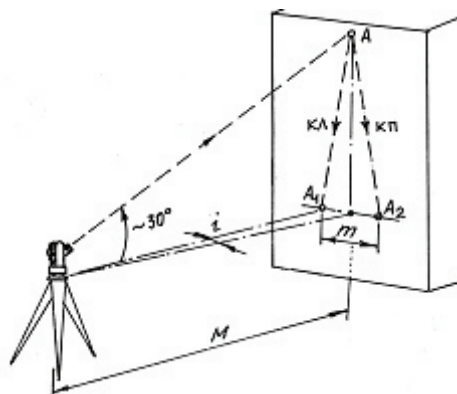


Рис. 9.4. Поверка 5

2. При положении КП и КЛ визируют на точку и сносят ее изображение на стену  $A_1$  и  $A_2$ , примерно на уровень высоты прибора. В этом месте лучше закрепить лист бумаги. Расстояние между отмеченными точками на листе бумаги не должно превышать ширины биссектора (рис. 7.2), тогда условие выполняется.

Или вычисляют угловую погрешность по формуле:

$$i = \frac{m}{2M} \rho,$$

где  $m$  – расстояние между метками (в мм);  $M$  – расстояние от теодолита до стены (переведенное в мм);  $\rho' = 3438'$ .

Предельная величина угловой погрешности  $i$  не должна превышать 0,5'. Тогда условие выполняется.

При значениях  $i > 0,5'$  или при расстоянии между метками больше, ширины биссектора, исправление производят в мастерской.

## Лабораторная работа № 10

Тема: «Устройство нивелира НВ-1 (Н-3), измерение превышения геометрическим нивелированием».

**Задание.** Изучить устройство нивелира НВ-1 (Н-3). Научиться брать отсчеты по рейке и определять превышение нивелированием из середины и расстояние по нитяному дальномеру.

Для выполнения работы студенту предоставляется нивелир НВ-1 или Н-3 (устройство нивелиров НВ-1 и Н-3 аналогичное), установленный на штатив; деревянная шашечная рейка с сантиметровыми делениями.

Нивелир Н-3 (рис. 10.1) состоит из двух основных частей верхней подвижной и нижней.

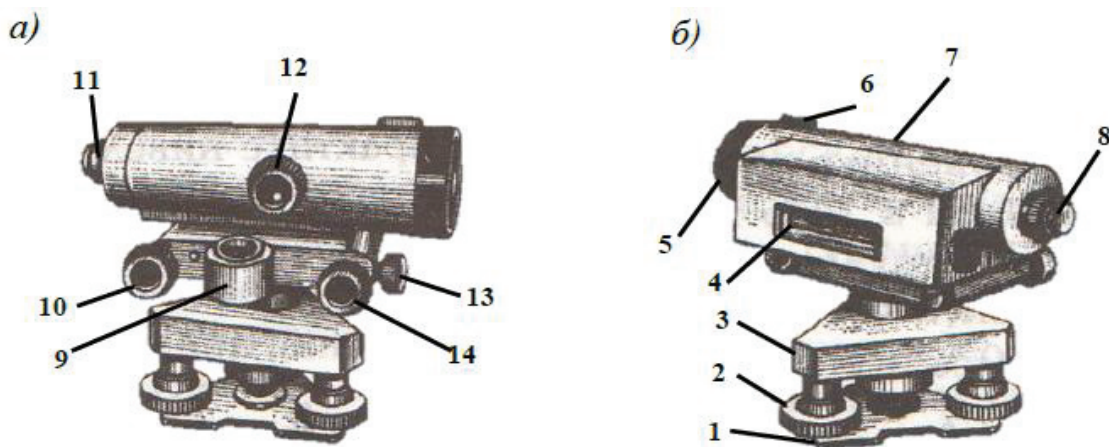
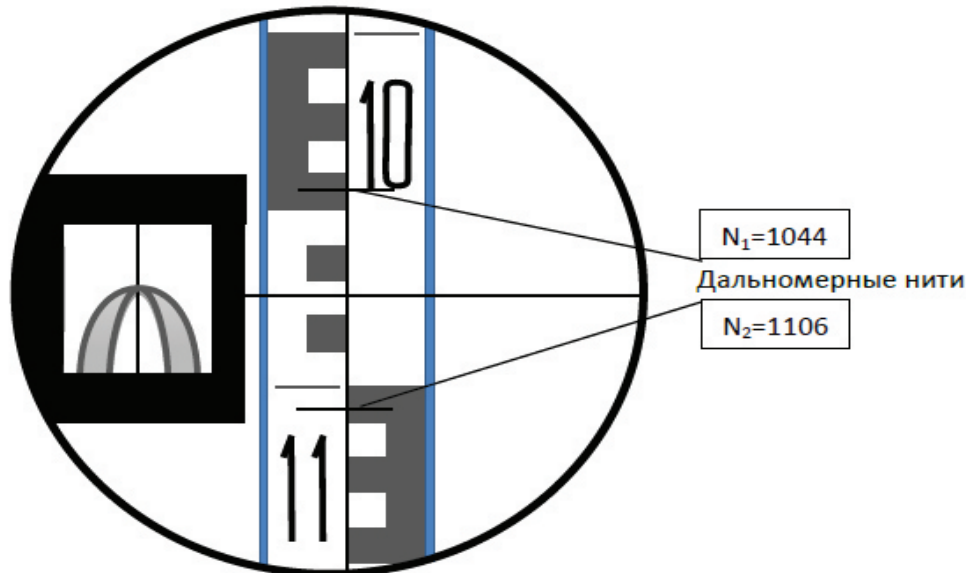


Рис. 10.1. Нивелир Н-3: а – вид справа; б – вид слева

Нижняя часть представляет собой *подставку 3* с тремя *подъемными винтами 2* и *пружинящей пластиной 1*. Через втулку пластины проходит *становой винт*, с помощью которого нивелир закрепляется на штативе. Верхняя часть прибора состоит из *зрительной трубы 7*, в которую вмонтирован *контактный цилиндрический уровень 4* с *призменным устройством*, передающим изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы (рис. 10.2). Зрительная труба оснащена *объективом 5* и *окуляром 8*. Фокусирование сетки нитей осуществляется *диоптрийным кольцом 11*, а фокусирование трубы на рейку *кремальной 12*. Для грубого наведения на рейку используется *мушка 6*. Точное наведение осуществляется *наводящим (микрометренным) винтом 14* при зажатом положении *закрепительного винта 13*. Предварительную установку нивелира в рабочее положение выполняют по *круглому уровню 9* путем вращения подъемных винтов. Точное приведение визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение выполняется с помощью *элевационного винта 10*, совмещая изображение концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения зрительной трубы.

В момент совмещения концов пузырька цилиндрического уровня (рис. 10.2) берется отсчет по рейке по средней нити сетки. Отсчет представляет

собой длину отрезка (в мм) рейки, отсекаемого горизонтальным лучом визирования. Отсчет состоит из четырех цифр: первые две – это значение дециметровых делений, которые подписаны на рейке; третья цифра обозначает количество целых пашечек на рейке от головы дециметровой цифры сверху вниз (так как изображение обратное); четвертая цифра обозначает количество миллиметров сантиметровой пашечки (оценивается на глаз).



*Отсчет: 1074*

Рис. 10.2. Поле зрения зрительной трубы нивелира НВ-1 (Н-3)

Аналогично поступают после визирования на другую рейку. Превышение  $h$  (рис. 10.3) определяется как разность отсчетов  $a$  и  $b$ , взятых по рейкам, установленным в точках  $A$  и  $B$ . То есть  $h = a - b$ . В зависимости от направления нивелирования превышение может быть положительным или отрицательным. Для определения превышения необходимо от заднего отсчета вычесть передний отсчет по рейке, то есть  $h = Z - П$ , где  $Z$  – задний отсчет по рейке;  $П$  – передний отсчет по рейке.

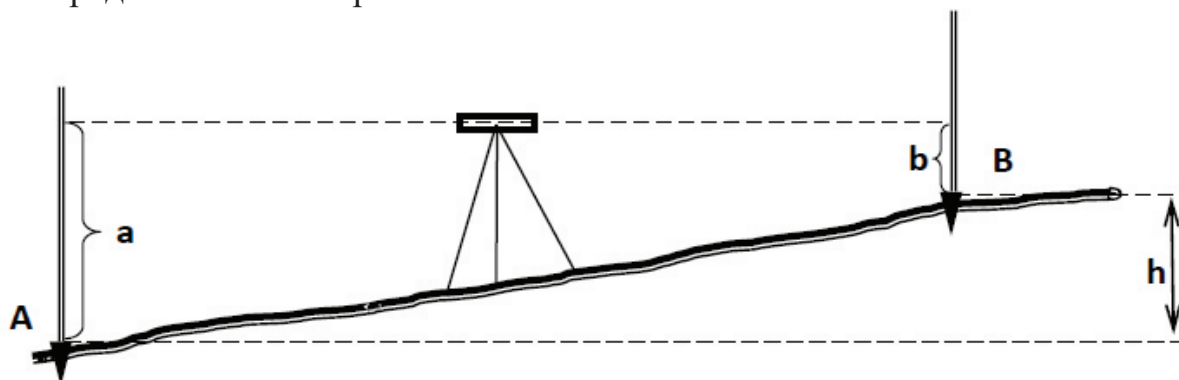


Рис. 10.3. Схема определения превышения между точками

Задание для определения превышения посредством геометрического нивелирования каждый студент получает индивидуально.

Для исключения ошибки негоризонтальности визирной оси нивелировку лучше выполнять из середины, поэтому расстояния до задней и передней реек должны быть примерно равными. Для определения расстояния используют нитяной дальномер (короткие горизонтальные нити в поле зрения зрительной трубы на рис. 10.2). Расстояние определяется по формуле:

$$d = (N_2 - N_1) \cdot k, \quad (10.1)$$

где  $N_1, N_2$  – отсчеты по дальномерным нитям;  $k = 100$  – коэффициент дальномера. По отсчетам, приведенным на рис. 10.2, можно записать:

$$d = (1106 - 1044) 100 = 6200 \text{ мм} = 6,2 \text{ м.}$$

Результаты измерений  $h$  заносятся в журнал измерения превышений.

## Лабораторная работа № 11

Тема: «Поверки и юстировки нивелиров».

**Задание.** Выполнить поверки нивелира НВ-1 (Н-3). Изучить порядок юстировок.

Для выполнения работы студенту предоставляется нивелир НВ-1 или Н-3, установленный на штатив.

Студент записывает марку и номер нивелира, вся работа выполняется с одним и тем же прибором.

Студент, не знающий устройства нивелира (лабораторная работа №10), к выполнению работы не допускается.

**Поверками** называют действия, в результате которых устанавливается взаимное расположение геометрических осей прибора, а также других условий, предусмотренных его конструкцией. Конструкция нивелира предполагает следующие основные оси (рис. 11.1):

( $I - I$ ) – ось вращения нивелира (инструмента);

( $V - V$ ) – визирная ось;

( $U - U$ ) – ось цилиндрического уровня;

( $U_1 - U_1$ ) – ось круглого уровня.

Поверки выполнения основных геометрических условий выполняются в следующей последовательности:

**1. Поверка круглого уровня.** Ось круглого уровня ( $U_1 - U_1$ ) должна быть параллельна оси вращения нивелира ( $I - I$ ). Для поверки надо установить пузырек круглого уровня в нуль-пункте (на середине), повернуть корпус нивелира на  $180^\circ$ . При смещении пузырька более чем на  $\frac{1}{4}$  деления



производится юстировка: юстировочными винтами уровня смещают пузырек к центру ампулы уровня на половину дуги отклонения. Проверку выполняют до тех пор, пока пузырек не будет отклоняться более чем на 0,1 – 0,2 деления.

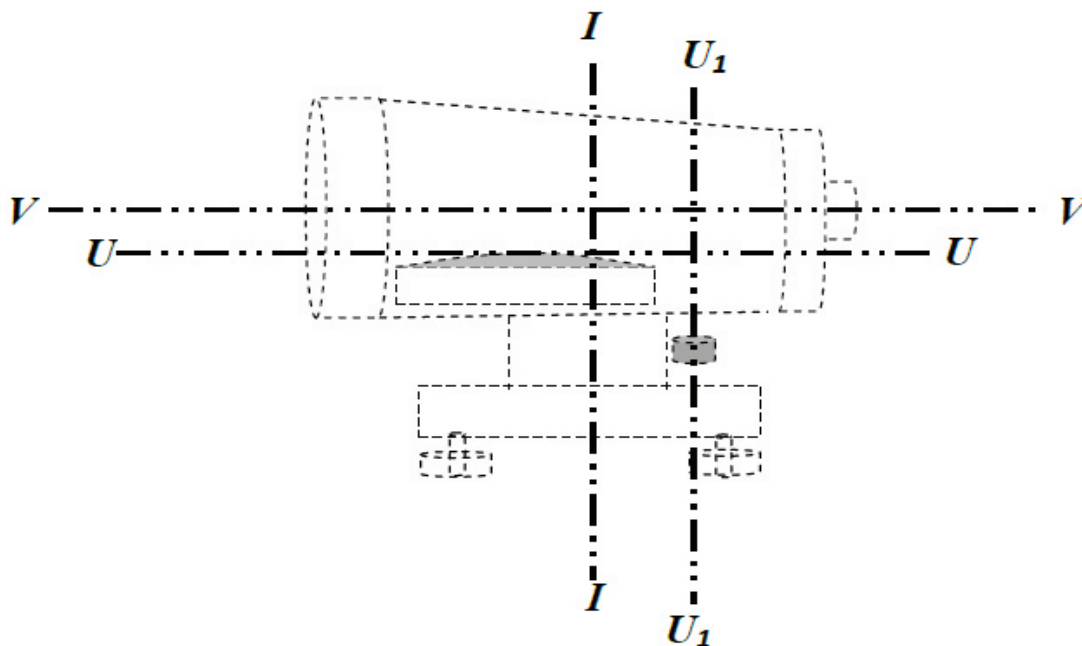


Рис. 11.1. Схема расположения основных осей нивелира

**2. Проверка сетки нитей.** *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к вертикальной оси (I - I) вращения нивелира.* Ось вращения нивелира приводят в отвесное положение. На расстоянии 8 – 10 м от прибора устанавливают нивелирную рейку и наводят на неё трубу. Далее берут отсчеты по рейке: сначала левым краем горизонтальной сетки нитей, затем правым. Горизонтальная нить считается установленной правильно, если разность отсчетов не превышает 1 мм. Исправление выполняется юстировочными винтами сетки нитей под колпачком окуляра. Точная установка сетки нитей – очень трудоёмкая работа, поэтому к исправлению сетки надо прибегать только в случае необходимости.

**3. Проверка главного геометрического условия.** *Визирная ось нивелира в рабочем положении должна быть горизонтальной (главное условие нивелира).* Визирная ось (V – V) в этом случае параллельна оси цилиндрического уровня (U – U). Для выполнения проверки на ровной площадке закрепляют две точки А и В на расстоянии 50 – 70 м и на них устанавливают рейки. Нивелир ставят в рабочее положение на расстоянии 3 – 5 м от точки А и берут отсчеты  $a_1$  и  $b_1$  по рейкам. Превышение вычисляется по формуле:

$$h = a_1 - (b_1 + x), \quad (11.1)$$

где  $x$  – некоторая величина, которая нам пока неизвестна. Переносим нивелир на другую станцию на расстоянии 3 – 5 м от точки В и берём отсчеты  $a_2$  и  $b_2$ :

$$h = (a_2 + x) - b_2. \quad (11.2)$$

Приравняв эти выражения  $a_1 - (b_1 + x) = (a_2 + x) - b_2$ , найдем:

$$X = \frac{a_1 + b_2}{2} - \frac{b_1 + a_2}{2} . \quad (11.3)$$

Если  $X$  меньше или равен 4 мм, условие выполнено. В противном случае требуется юстировка. Сначала вычисляют правильный отсчет по дальней рейке:

$$a_2' = a_2 + x. \quad (11.4)$$

Для нивелира с компенсаторами этот отсчет устанавливают юстировочными винтами сетки нитей.

Для нивелиров с контактным уровнем сначала элевационным винтом наводят сетку на правильный отсчет, при этом контакт пузырька уровня нарушается. Юстировочными винтами уровня добиваются контакта пузырька уровня в окуляре. После юстировки поверку повторяют.

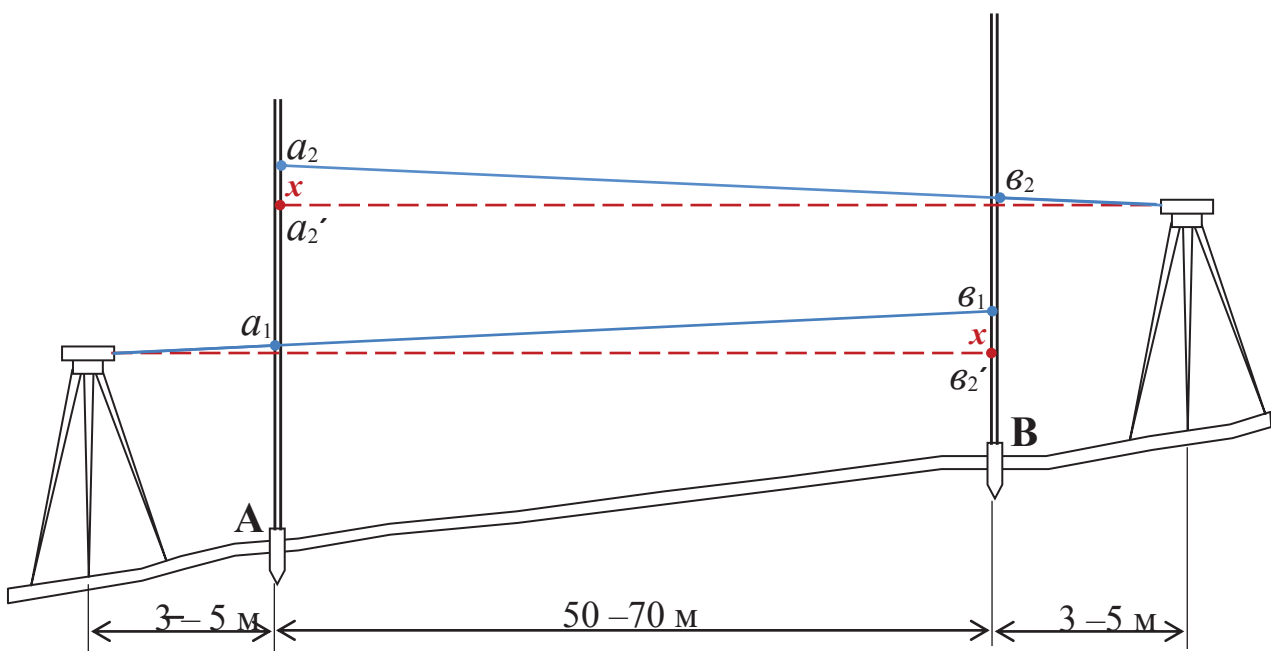


Рис. 11. 2. Поверка главного условия нивелира

## Лабораторная работа № 12

**Тема: «Вычисление координат точек замкнутого теодолитного хода».**

**Задание. Вычислить координаты точек замкнутого теодолитного хода.**

Вычисление координат точек замкнутого теодолитного хода выполняется в ведомости, которую студент готовит заранее. Перед вычислением необходимо составить масштабированную схему с учётом исходных и измеренных величин значений, которые выписывают на схему (рис. 12.1).

Вариант измеренных значений теодолитного хода (табл. 12.1) студентам указывает преподаватель. Значения дирекционных углов исходной стороны

42-43 и координат точки 43 студент выбирает по номеру фамилии в списке группы (табл. 12.2). Используя схему теодолитного хода (рис. 12.1) заполняем ведомость вычисления координат (табл. 12.3) в такой последовательности:

- номера точек теодолитного хода (графа 1 и 12);
- примычный угол  $\beta_{43пр.}$  и измеренные горизонтальные углы  $\beta_i$  (графа 2);
- исходный дирекционный угол  $\alpha_{42-43}$  красным цветом (графа 4);
- горизонтальные проложения сторон теодолитного хода  $d_i$  (графа 5);
- координаты исходной точки  $X_{43}$  и  $Y_{43}$  красным цветом (графа 10 и 11).

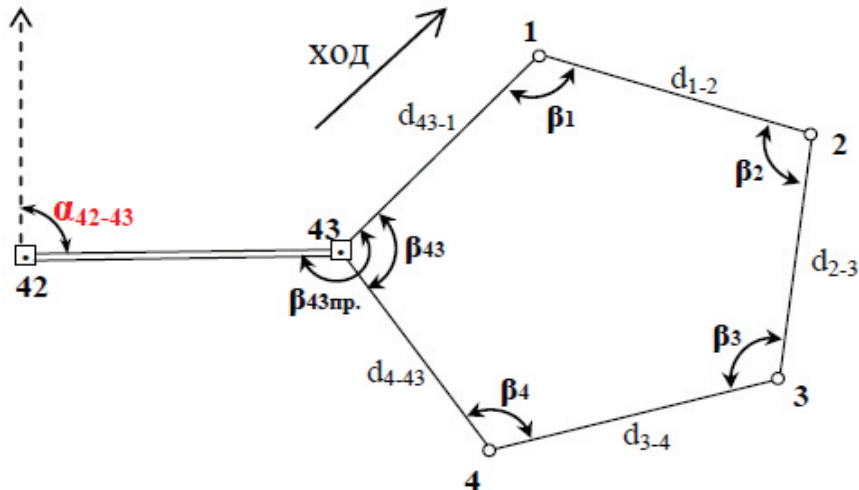


Рис. 12.1. Схема замкнутого теодолитного хода

Вычисление координат теодолитного хода выполняется в два этапа:

- проверка качества угловых измерений и увязка углов;
- проверка качества линейных измерений и увязка приращений координат.

1. Для проверки качества угловых измерений и увязки углов выполняют следующие действия:

- вычисляют сумму измеренных углов  $\sum \beta_{изм.}$  (без учета примычного угла), которую записывают в графу 2 ниже последней заполненной строки.
- вычисляют теоретическую сумму углов для замкнутого теодолитного хода по формуле:  $\sum \beta_{теор.} = 180^\circ \cdot (n-2)$ , где  $n$  – количество углов замкнутого полигона.
- вычисляют угловую невязку  $f_\beta = \sum \beta_{изм.} - \sum \beta_{теор.}$ , она не должна превышать допустимую невязку, вычисленную по формуле:  $f_{\beta доп.} = \pm 1' \sqrt{n}$ .

*Все величины записывают в ведомости вычисления координат (см. табл.12.3) для того, чтобы показать, что угловые измерения выполнены правильно и удовлетворяют допускам. Если же  $f_\beta > f_{\beta доп.}$ , тогда необходимо перемерить горизонтальные углы;*

- распределяют угловую невязку с противоположным знаком на все углы поровну (кроме примычного), округляя их с таким расчетом, чтобы сумма поправок была равна угловой невязке ( $f_\beta$ ) с противоположным знаком. Поправки записывают красным цветом над измеренными углами (табл. 12.3). С учётом поправок (алгебраической суммы) вычисляют исправленные углы.

Дирекционные углы вычисляют по исправленным левым или правым по ходу углам и записывают в графу 4.

В зависимости от того, какие были измерены по ходу горизонтальные

углы  $\beta_{левые}$  или  $\beta_{правые}$ , дирекционный угол последующей стороны  $\alpha_i$  определяется так:

к дирекционному углу предыдущей  $\alpha_{i-1}$  стороны прибавляется значение левого по ходу исправленного угла и отнимается  $180^\circ$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{i(левые)} - 180^\circ \quad (12.1)$$

или к дирекционному углу предыдущей  $\alpha_{i-1}$  стороны прибавляется  $180^\circ$  и отнимается значение правого по ходу исправленного угла

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_{i(правые)} \quad (12.2)$$

В нашем случае (рис.12.1) правые по ходу углы.

Контролем увязки углов является вычисленное в начале и в конце значение дирекционного угла стороны 43-1.

2. Для проверки качества линейных измерений и увязки приращений координат выполняют следующие действия:

– вычисляют приращения координат (прямая геодезическая задача) и записывают результат в графу 6, обязательно указывая знак (+) или (–):

$$\Delta X_i = d_i \cdot \cos \alpha_i; \Delta Y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i; \quad (12.3)$$

– вычисляют невязку в приращениях координат для замкнутого хода:

$$f_x = \sum \Delta X; f_y = \sum \Delta Y; \quad (12.4)$$

– вычисляют линейную невязку:

$$f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (12.5)$$

– вычисляют периметр:  $P = \sum d$  (сумма горизонтальных проложений);

– вычисляют относительную невязку:  $f_{отн.} = f_d / P$ , относительная невязка записывается в виде дроби, где в числителе 1, а в знаменателе  $P / f_d$  – округленное до целого значения. Относительная невязка не должна превышать допустимую относительную невязку (для теодолитного хода  $f_{отн. доп.} = 1/2000$ ), то есть  $f_{отн.} < 1/2000$ , все вычисления записывают в ведомости, чтобы показать правильность выполнения линейных измерений (длин сторон теодолитного хода). Если же  $f_{отн.} > 1/2000$ , тогда необходимо перемерить длины сторон;

– невязки в приращениях координат распределяем пропорционально длинам сторон с противоположным знаком:  $v_{xi} = \langle -fx \rangle \cdot di / P$ ;  $v_{yi} = \langle -fy \rangle \cdot di / P$ . Поправки  $v_{xi}$  и  $v_{yi}$  округляются с таким расчетом, чтобы их сумма равнялась невязкам с противоположным знаком:  $\sum v_{xi} = -fx$ ;  $\sum v_{yi} = -fy$ , а потом записываются красным цветом над приращениями координат. С учётом поправок (алгебраическая сумма) вычисляют исправленные приращения координат. Контроль вычислений:  $\sum \Delta X_i^{испр.} = 0$ ;  $\sum \Delta Y_i^{испр.} = 0$ ;

– по исправленным приращениям координат вычисляют координаты точек, последующая координата  $X_i$  и  $Y_i$  равна предыдущей  $X_{i-1}$  и  $Y_{i-1}$  плюс исправленное приращение координат со своим знаком:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i^{испр.}; Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i^{испр.}. \quad (12.5)$$

Контролем вычислений является вычисленные в конце координаты исходной точки 43 (см.рис. 12.1).

Таблица 12.1

## Варианты теодолитных ходов

№ точки	Измеренные горизонтальные углы $\beta_{\text{изм.}}$		Горизонтальное проложение $d$ , м	№ точки	Измеренные горизонтальные углы $\beta_{\text{изм.}}$		Горизонтальное проложение $d$ , м	№ точки	Измеренные горизонтальные углы $\beta_{\text{изм.}}$		Горизонтальное проложение $d$ , м
	o	!			o	!			o	!	
<b>1</b>				<b>2</b>				<b>3</b>			
42				42				42			
43	<b>238</b>	<b>51</b>	<b>126,02</b>	43	<b>232</b>	<b>16</b>	<b>119,19</b>	43	<b>237</b>	<b>08</b>	<b>130,47</b>
1	110	14		1	121	31		1	110	51	
2	101	55		2	107	28		2	110	49	
3	100	46		3	103	08		3	122	37	
4	110	25		4	109	39		4	75	22	
43	116	42		43	98	16		43	120	19	
1				1				1			
<b>4</b>				<b>5</b>				<b>6</b>			
42				42				42			
43	<b>241</b>	<b>49</b>	<b>161,20</b>	43	<b>243</b>	<b>16</b>	<b>133,91</b>	43	<b>239</b>	<b>53</b>	<b>122,74</b>
1	93	47		1	102	01		1	110	01	
2	111	24		2	125	15		2	102	39	
3	133	51		3	106	18		3	98	55	
4	64	37		4	83	52		4	107	58	
43	136	19		43	122	32		43	120	29	
1				1				1			
<b>7</b>				<b>8</b>				<b>9</b>			
42				42				42			
43	<b>228</b>	<b>14</b>	<b>151,58</b>	43	<b>237</b>	<b>51</b>	<b>117,83</b>	43	<b>238</b>	<b>54</b>	<b>169,77</b>
1	115	08		1	114	19		1	93	40	
2	112	35		2	102	14		2	118	25	
3	125	43		3	99	36		3	136	45	
4	76	28		4	106	49		4	65	38	
43	110	04		43	117	04		43	125	34	
1				1				1			

Значения дирекционных углов исходной стороны 42 - 43 и координаты точки 43

№ в списке группы	Дирекционный угол стороны 42-43		Координаты точки 43, м	
	о	r	X	Y
1	153	42	8658,90	6333,72
2	159	48	8675,67	6351,54
3	165	54	8690,45	6371,05
4	171	03	8701,26	6388,67
5	177	09	8711,95	6410,69
6	183	15	8720,24	6433,71
7	189	21	8726,04	6457,49
8	195	27	8729,28	6481,75
9	201	33	8729,98	6506,22
10	207	39	8727,95	6530,62
11	213	45	8723,41	6554,67
12	219	51	8716,33	6578,10
13	225	57	8706,81	6600,64
14	231	06	8696,94	6618,80
15	237	12	8683,20	6639,06
16	243	18	8667,39	6657,74
17	249	24	8649,68	6674,63
18	255	30	8630,27	6689,55
19	261	36	8609,39	6702,32
20	267	42	8587,27	6712,80
21	273	48	8564,17	6720,87
22	279	54	8540,33	6726,44
23	285	15	8519,05	6729,21
24	291	21	8494,58	6729,94
25	297	27	8470,18	6728,06
26	306	33	8434,48	6720,47
27	312	39	8411,43	6712,26
28	318	42	8389,55	6701,74
29	324	48	8368,74	6688,86
30	330	54	8349,41	6673,85



## Лабораторная работа № 13

Тема: «Вычисление координат точек разомкнутого теодолитного хода».

**Задание 1.** Вычислить координаты точек разомкнутого теодолитного хода между двумя исходными сторонами.

Данные для выполнения работы каждый студент выбирает по номеру фамилии в списке группы (табл. 13.1). Вычисления выполняются в ведомости вычисления координат, чистый бланк которой студент готовит заранее в количестве 4 штук. Выполнение каждого задания необходимо начинать с вычерчивания масштабированной схемы теодолитного хода в соответствии с исходными данными (рис. 13.1, 13.2, 13.3). На схему выписываются измеренные углы и длины сторон, исходные координаты и дирекционные углы, стрелкой показывается направление теодолитного хода.

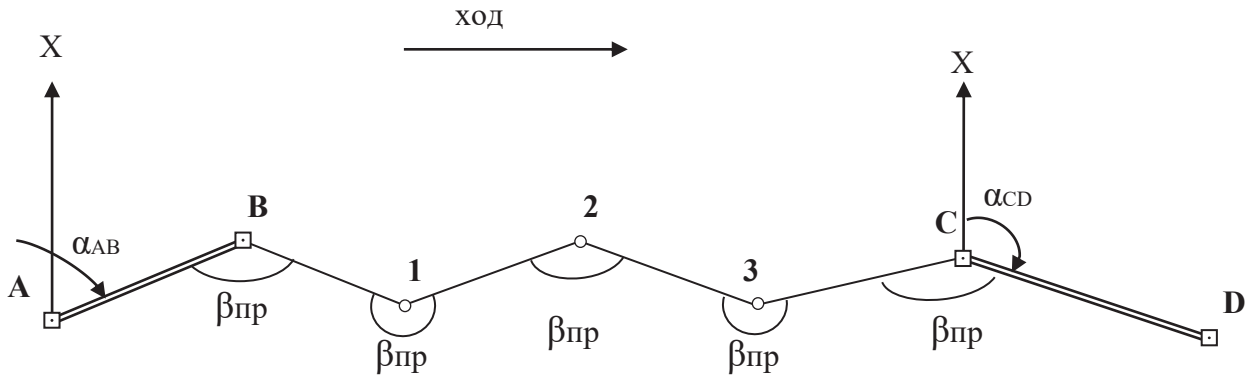


Рис. 13.1. Схема одностороннего теодолитного хода между двумя исходными сторонами

Вычисление координат разомкнутого теодолитного хода между двумя исходными сторонами (рис. 13.1) выполняется в два этапа:

1. Проверка качества угловых измерений и увязка углов;
2. Проверка качества линейных измерений и увязка приращений координат.

Образец заполнения ведомости (табл. 13.2).

Для проверки качества угловых измерений и увязки углов выполняем следующие действия:

– определяем сумму измеренных углов  $\sum \beta_{изм.}$ ;

– вычисляем теоретическую сумму углов для разомкнутого теодолитного хода по формуле  $\sum \beta_{теор.} = \alpha_K + 180^\circ \cdot n - \alpha_H$  (для левых по ходу углов) или  $\sum \beta_{теор.} = \alpha_H + 180^\circ \cdot n - \alpha_K$  (для правых по ходу углов),

где  $n$  – количество измеренных углов в ходе;  $\alpha_K$  и  $\alpha_H$  – дирекционный угол конечной и начальной исходной стороны;

– вычисляем угловую невязку  $f_\beta = \sum \beta_{изм.} - \sum \beta_{теор.}$ , она не должна превышать



допустимую невязку, определенную по формуле:  $f_{\beta \text{ доп.}} = \pm 1 \cdot \sqrt{n}$ ;

– распределяем угловую невязку с противоположным знаком на все измеренные углы поровну с таким расчетом, чтобы сумма поправок была равна угловой невязке с противоположным знаком;

– вычисляем исправленные углы  $\beta_{\text{испр.}}$ ;

– вычисляем дирекционные углы по исправленным углам

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ - \beta_{i(\text{правые по ходу углы})},$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ + \beta_{i(\text{левые по ходу углы})}.$$

Контролем является вычисленный дирекционный угол конечной исходной стороны.

Для проверки качества линейных измерений и увязки приращений координат выполняем следующие действия:

– вычисляем приращения координат:

$$\Delta X_i = d_i \cdot \cos \alpha_i;$$

$$\Delta Y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i,$$

где  $d_i$  – горизонтальное проложение стороны хода,  $\alpha_i$  – дирекционный угол этой стороны;

– вычисляем невязку в приращениях координат:

$$f_X = \sum \Delta X - \sum \Delta X_{\text{теор.}}; f_Y = \sum \Delta Y - \sum \Delta Y_{\text{теор.}};$$

где  $\sum \Delta X_{\text{теор.}} = X_k - X_n$ ,  $\sum \Delta Y_{\text{теор.}} = Y_k - Y_n$  – теоретическая сумма приращений координат равна разности исходных координат конечной и начальной точки;

– вычисляем абсолютную линейную невязку  $f_{\text{абс.}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}$ ;

– вычисляем периметр  $P = \sum d$  (сумма горизонтальных проложений);

– вычисляем относительную невязку  $f_{\text{отн.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{P} = \frac{1}{\frac{P}{f_{\text{абс.}}}}$  и сравниваем с

допустимой  $f_{\text{доп.}} = \frac{1}{2000}$ ;

– если  $f_{\text{отн.}} \leq f_{\text{доп.}}$ , тогда невязки распределяем с противоположным знаком (–) в приращения координат пропорционально горизонтальным проложениям сторон:

$$v_{xi} = -fx \cdot di / P,$$

$$v_{yi} = -fy \cdot di / P;$$

– значения поправок ( $v_{xi}$ ,  $v_{yi}$ ) округляем до второго знака после запятой с таким расчетом, чтобы сумма поправок равнялась невязкам с противоположным знаком:  $\sum v_{xi} = -fx$ ;  $\sum v_{yi} = -fy$ ;

– вычисляем исправленные приращения координат с учётом знака поправки (алгебраическая сумма);

– по исправленным приращениям координат вычисляем координаты точек:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i; Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i,$$

где –  $X_i, Y_i$  координата последующей точки;  $X_{i-1}, Y_{i-1}$  – координата предыдущей точки;  $\Delta X_i, \Delta Y_i$  приращение координат с учётом знака.

Контролем являются вычисленные координаты конечной исходной точки.

**Задание 2.** Вычислить координаты точек одиночного теодолитного хода между исходной стороной и координатной привязкой конца.

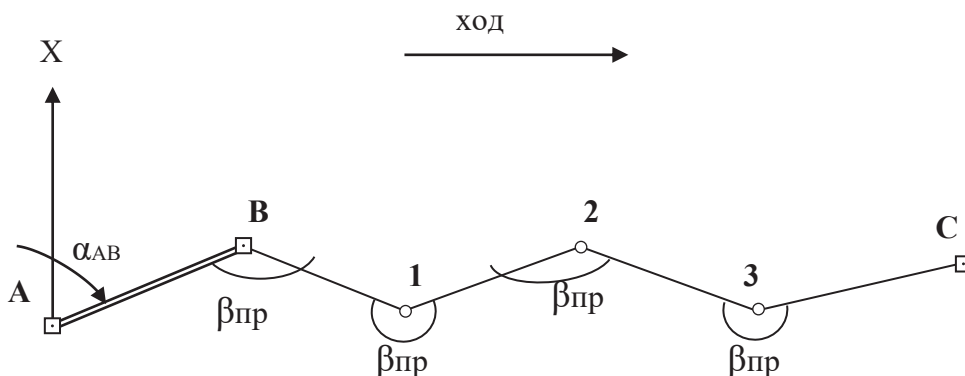


Рис. 13.2. Схема одиночного теодолитного хода между исходной стороной и координатной привязкой конца

Вычисление координат теодолитного хода выполняется в ведомости вычисления координат. Образец заполнения ведомости представлен в табл. 13.3.

Увязка углов в данном случае не выполняется из-за отсутствия угловой привязки конца хода.

Дирекционные углы вычисляются по измеренным углам без контроля.

Увязки приращений координат выполняются также как в первом задании с контролем координат конечной исходной точки и вычислением относительной невязки ( $f_{отн.}$ ).

**Задание 3.** Вычислить координаты точек одиночного теодолитного хода между координатной привязкой начала и конца.

Для вычисления дирекционных углов сторон теодолитного хода необходимо определить дирекционный угол первой стороны  $\alpha_{B-1}$ . Для этого используем условную систему координат (рис. 13.3)  $X'Y'$ , в которой направление оси абсцисс ( $X'$ ) совпадает с направлением стороны хода  $B-1$  ( $\alpha'_{B-1} = 0^\circ$ ) и координаты точки  $B$  равны нулю ( $X'_B = 0,00$  м;  $Y'_B = 0,00$  м).

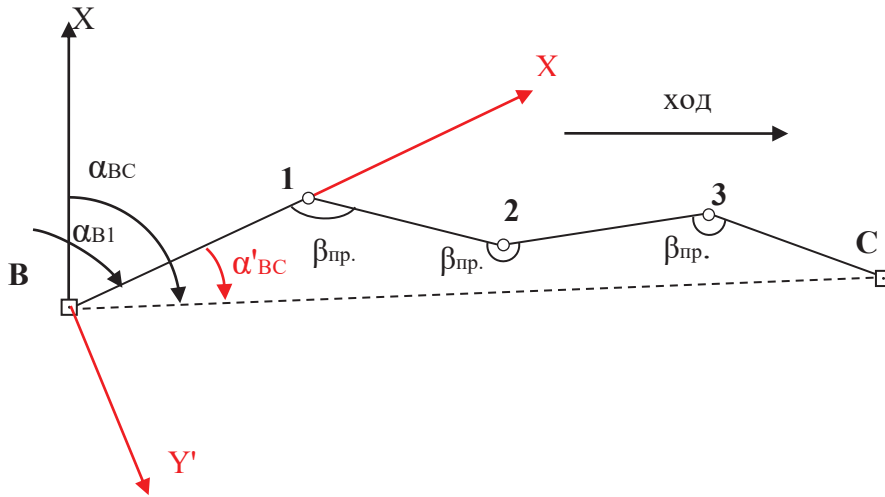


Рис. 13.3. Схема одиночного теодолитного хода между координатной привязкой начала и конца

В ведомости вычисления координат определяем координаты точки  $C$  в условной системе  $(X'_C; Y'_C)$ . Образец заполнения ведомости представлен в табл. 13.4.

Решая обратную геодезическую задачу, находим румб  $(r'_{BC})$ , а затем, учитывая знаки  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , дирекционный угол линии  $B-C$  в условной системе  $(\alpha'_{BC})$  и истинной системе  $(\alpha_{BC})$ , например:

$$r'_{B-C} = \arctg \frac{Y'_C}{X'_C} = \arctg \frac{+306,34}{+339,87} = 42^\circ 01,8'.$$

Знаки приращений координат  $+\Delta X$  и  $+\Delta Y$  указывают на то, что румб находится в 1-й четверти. Соответственно  $\alpha'_{B-C} = r'_{B-C} = 42^\circ 01,8'$ .

$$r_{B-C} = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \arctg \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B} = \arctg \frac{-78,30}{+451,00} = 9^\circ 51,0'.$$

Знаки приращений координат  $+\Delta X$  и  $-\Delta Y$  указывают на то, что румб находится в 4-й четверти. Соответственно  $\alpha_{B-C} = 360 - r_{B-C} = 360^\circ - 9^\circ 51,0' = 350^\circ 09,0'$ .

$$\text{Тогда } \alpha_{B-1} = \alpha_{B-C} - \alpha'_{B-C} = 350^\circ 09,0' - 42^\circ 01,8' = 308^\circ 07,2'.$$

Последующие расчеты выполняются также как во втором задании в ведомости вычисления координат. Образец заполнения ведомости представлен в табл. 13.5.

После выполнения всех трех заданий в результате получают три варианта координат точек разомкнутого теодолитного хода. По полученным данным необходимо выполнить сравнительную оценку значений координат точек разомкнутого теодолитного хода, вычисления выполняются в таблице. Образец заполнения представлен в табл. 13.6. За исходные и наиболее точные координаты точек принимают координаты, вычисленные в первом задании (вариант 1), которые выписывают в графу 2 табл. 13.6. Соответственно координаты, полученные при выполнении второго и третьего задания, выписывают в графу 3 и 4. Погрешность определения координат  $f_x$  и  $f_y$  вычисляют как разность значений координат варианта 1 и 2; 1 и 3 (графа 5 и 6).

Затем вычисляется абсолютная погрешность:  $f_{абс} = \sqrt{fx^2 + fy^2}$  (графа 7) и относительная погрешность:  $f_{отн.} = f_{абс.} / L$  (графа 8), где  $L$  – длина хода.

Таблица 13.1

Исходные данные по номеру в списке: <b>1</b>					Исходные данные по номеру в списке: <b>2</b>				
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$	
	X, м	Y, м	°	'		X, м	Y, м	°	'
A			255	20,3	A			13	37,0
B	51102,33	28939,35			B	5381,37	3112,33		
C	50611,40	28248,45			C	5557,27	3790,99		
D			237	09,8	D			68	31,0
Измеренные величины теодолитного хода					Измеренные величины теодолитного хода				
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м		Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м	
	°	'				°	'		
B	153	35,9			B	59	40,4		
				290,03					162,89
1	202	16,7			1	258	10,4		
				198,75					226,01
2	150	44,4			2	150	59,7		
				173,66					203,85
3	195	36,2			3	214	31,5		
				199,38					223,29
C	179	37,3			C	161	42,2		
Исходные данные по номеру в списке: <b>3</b>					Исходные данные по номеру в списке: <b>4</b>				
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$	
	X, м	Y, м	°	'		X, м	Y, м	°	'
A			15	30,0	A			201	40,8
B	5380,86	3130,27			B	51100,18	28850,33		
C	5594,11	3766,34			C	50413,06	28461,02		
D			60	04,0	D			240	24,2
Измеренные величины теодолитного хода					Измеренные величины теодолитного хода				
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м	
	°	'				°	'		
B	60	11,8			B	179	30,1		
				138,82					288,48
1	260	44,6			1	169	20,9		
				234,95					190,06
2	151	31,0			2	180	39,3		
				192,47					197,35
3	217	22,6			3	248	40,8		
				218,18					215,62
C	165	37,8			C	160	33,3		

Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				5	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			302	57,7	
B	50552,36	28440,92			
C	50775,70	29014,00			
D			49	11,0	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	256	29,8	199,02
1	200	44,9	178,16
2	228	10,6	213,66
3	212	30,2	207,92
C	108	19,0	

Исходные данные по номеру в списке:				6	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			17	00,0	
B	5380,86	3130,27			
C	5540,53	3789,42			
D			66	46,0	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	57	33,9	138,82
1	260	44,6	234,95
2	153	37,0	198,90
3	211	37,9	211,58
C	166	42,1	

Исходные данные по номеру в списке:				7	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			18	15,0	
B	5380,21	3122,52			
C	5557,47	3790,99			
D			68	31,0	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	65	44,7	142,18
1	254	02,1	214,62
2	153	10,8	197,12
3	213	28,4	234,41
C	163	19,8	

Исходные данные по номеру в списке:				8	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			16	22,0	
B	5390,93	3123,84			
C	5528,05	3792,05			
D			66	18,3	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	56	10,1	161,75
1	263	23,8	226,01
2	147	13,8	201,16
3	217	32,4	221,33
C	165	45,4	

Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				9	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			215	48,8	
B	51986,23	28975,17			
C	51437,00	28920,26			
D			92	06,8	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	156	39,8	125,36
1	172	34,7	94,15
2	213	28,5	137,48
3	125	17,2	234,96
C	108	19,0	

Исходные данные по номеру в списке:				10	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			120	35,1	
B	51160,80	28300,05			
C	50222,50	28500,65			
D			235	10,6	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	220	40,4	300,45
1	185	03,4	181,28
2	186	30,1	250,92
3	179	40,5	230,88
C	242	40,1	

Исходные данные по номеру в списке:				11	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			288	47,7	
B	50400,36	28442,46			
C	51065,30	28554,02			
D			354	40,8	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	216	49,5	199,65
1	200	30,4	188,66
2	218	10,6	215,33
3	212	02,3	217,46
C	118	19,3	

Исходные данные по номеру в списке:				12	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			247	40,5	
B	50895,30	29030,45			
C	50605,00	28238,75			
D			215	05,0	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	220	32,5	250,82
1	141	44,4	193,40
2	155	48,8	293,54
3	192	56,3	188,68
C	156	22,1	

Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				13	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			45	50,2	
B	51150,30	28388,65			
C	50501,37	28924,50	210	24,9	
D					

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	270	43,4	300,33
1	192	16,1	180,56
2	170	35,3	195,35
3	180	18,7	168,03
C	250	40,2	

Исходные данные по номеру в списке:				14	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			17	02,0	
B	5370,96	3121,25			
C	5557,47	3790,99	71	11,0	
D					

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	68	03,8	148,32
1	253	15,0	219,04
2	147	25,5	196,06
3	218	36,0	232,71
C	158	28,5	

Исходные данные по номеру в списке:				15	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			257	40,8	
B	50897,65	29035,62			
C	50632,12	28452,02	182	01,2	
D					

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	227	22,3	250,92
1	131	40,0	173,80
2	125	58,8	303,27
3	202	56,3	128,34
C	136	22,0	

Исходные данные по номеру в списке:				16	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			15	28,0	
B	5390,73	3123,84			
C	5546,16	3800,84	87	55,0	
D					

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	59	23,8	149,56
1	256	08,1	224,63
2	152	31,5	192,47
3	214	35,1	234,41
C	144	55,1	

Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				17	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			18	30,0	
B	5290,73	3124,04			
C	5402,89	3797,30			
D			70	00,0	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	55	15,4	150,51
1	260	36,1	226,60
2	156	05,7	205,22
3	209	52,7	211,58
C	166	42,1	

Исходные данные по номеру в списке:				18	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			13	40,0	
B	5380,21	3122,52			
C	5529,00	3792,19			
D			70	15,7	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	60	44,4	153,36
1	256	18,0	210,38
2	150	21,9	197,11
3	210	17,6	223,05
C	165	42,4	

Исходные данные по номеру в списке:				19	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			124	24,4	
B	52138,24	33175,86			
C	51785,41	33007,24			
D			269	35,4	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	89	52,3	128,36
1	286	55,6	196,18
2	66	22,2	254,23
3	129	23,5	115,52
C	182	13,4	

Исходные данные по номеру в списке:				20	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			10	15,6	
B	50897,65	29035,62			
C	50769,15	29636,25			
D			353	26,1	

Измеренные величины теодолитного хода			
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м
	°	'	
B	356	17,5	123,23
1	91	58,3	202,04
2	181	22,5	189,23
3	156	13,4	235,17
C	97	17,8	



Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				21	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			124	24,4	
B	52138,24	33175,86			
C	52260,20	32710,60	339	06,0	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	56	23,2			110,50
1	145	59,1			210,36
2	180	13,4			122,15
3	123	17,8			101,89
C	179	22,9			

Исходные данные по номеру в списке:				22	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			22	17,0	
B	52138,20	33175,80			
C	52060,70	33639,10	351	48,3	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	48	15,2			135,26
1	235	17,6			198,76
2	175	24,5			220,12
3	286	14,8			125,36
C	185	15,6			

Исходные данные по номеру в списке:				23	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			235	42,0	
B	52138,20	33175,80			
C	52595,60	33178,11	148	50,3	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	97	25,0			99,85
1	125	11,5			203,30
2	216	12,0			199,60
3	67	41,7			101,25
C	120	20,0			

Исходные данные по номеру в списке:				24	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			200	00,0	
B	50897,65	29035,62			
C	50354,90	29478,20	113	00,4	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	110	45,8			100,00
1	216	17,5			200,00
2	124	15,3			200,00
3	215	47,6			250,00
C	145	56,2			

Продолжение таблицы 13.1

Исходные данные по номеру в списке:				25	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			222	42,0	
B	68935,21	29888,13			
C	69487,03	30089,15	166	50,5	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	95	38,2			232,89
1	56	24,8			226,01
2	213	48,7			159,13
3	196	15,8			223,29
C	33	42,2			

Исходные данные по номеру в списке:				26	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			215	48,8	
B	60000,00	30000,00			
C	59270,02	29539,00	248	25,6	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	166	21,2			150,25
1	177	32,3			160,26
2	188	43,4			280,88
3	199	54,5			290,32
C	200	06,6			

Исходные данные по номеру в списке:				27	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			100	00,0	
B	7000,00	2000,00			
C	7562,55	1572,78	84	43,4	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (правые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	111	22,1			155,25
1	122	33,3			156,26
2	133	44,4			398,20
3	225	55,5			168,03
C	288	06,6			

Исходные данные по номеру в списке:				28	
Пункты	Координаты		Дирекционный угол $\alpha$		
	X, м	Y, м	°	'	''
A			280	00,0	
B	80000,00	28000,00			
C	80085,31	27895,80	235	27,9	
D					
Измеренные величины теодолитного хода					
Пункты	Углы $\beta$ (левые)		Длины сторон d, м		
	°	'			
B	122	33,3			155,25
1	233	44,4			156,26
2	344	55,5			157,27
3	99	06,6			158,28
C	55	10,1			

Таблица 13.2

Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода между двумя исходными сторонами

№ точки	Горизонтальные углы ( <i>правые</i> )				Дирекционные углы		Горизонтальное проложение, м	Приращение координат, м								Координаты, м		№ точки		
	Измеренные		Исправленные					Вычисленные				Исправленные				X	Y			
	о	!	о	!	+	-		Δ X	+	-	Δ Y	+	-	Δ X	+				-	Δ Y
A																		A		
B	97	+ 0,4 25,0	97	25,4	225	35,0												52138,20	33175,80	B
1	125	+ 0,4 11,5	125	11,9	308	09,6	99,85	+	61,69	-	78,51	+	61,71	-	78,56			52199,91	33097,24	1
2	216	+ 0,4 12,0	216	12,4	2	57,7	203,30	+	203,03	+	10,50	+	203,07	+	10,41			52402,98	33107,65	2
3	67	+ 0,4 41,7	67	42,1	326	45,3	199,60	+	166,93	-	109,42	+	166,97	-	109,51			52569,95	32998,14	3
C	120	+ 0,4 20,0	120	20,4	79	03,2	101,25	+	19,23	+	99,41	+	19,25	+	99,36			52589,20	33097,50	C
D					138	42,8												Контроль		D
					Контроль															

$$\sum \beta_{\text{изм.}} = 626^{\circ} 50,2'$$

$$\sum \beta_{\text{теор.}} = 626^{\circ} 52,2'$$

$$f_{\beta} = -2,0'$$

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

$$\sum d = 604,00 \quad \sum \Delta X = +450,88 \text{ м}; \quad \sum \Delta Y = -78,02 \text{ м}$$

$$\sum \Delta X_{\text{теор.}} = +451,00 \text{ м}; \quad \sum \Delta Y_{\text{теор.}} = -78,30 \text{ м}$$

$$f_x = -0,12 \text{ м}; \quad f_y = +0,28 \text{ м}$$

$$f_{\text{абс.}} = \sqrt{0,12^2 + 0,28^2} = 0,30 \text{ м}$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{0,30}{604,00} = \frac{1}{2013}$$

$$f_{\text{отн. доп.}} = \frac{1}{2000}$$



Таблица 13.4

Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода между координатной привязкой начала и конца в условной системе

№ точки	Горизонтальные углы ( <i>правые</i> )				Дирекционные углы		Горизонтальное проложение, м	Приращение координат, м						Координаты, м		№ точки	
	Измеренные		Исправленные					Вычисленные			Исправленные						
	°	'	°	'	+	-		+	-	+	-	+	-	X	Y		
					Δ X	Δ Y		Δ X	Δ Y	Δ X	Δ Y	Δ X	Δ Y	X	Y		
<b>B'</b>																	
<b>1</b>	125	11,5			0	00,0	99,85 +		99,85 +	0,00				0,00		0,00	<b>B'</b>
<b>2</b>	216	12,0			54	48,5	203,30 +		117,16 +	166,14				99,95		0,00	<b>1</b>
<b>3</b>	67	41,7			18	36,5	199,60 +		189,17 +	63,69				217,01		166,14	<b>2</b>
<b>C'</b>					130	54,8	101,25 -		66,31 +	76,51				406,18		229,83	<b>3</b>
														<b>339,87</b>		<b>306,34</b>	<b>C'</b>

Таблица 13.5

Ведомость вычисления координат точек теодолитного хода между координатной привязкой начала и конца

№ точки	Горизонтальные углы ( <i>дراية</i> )		Дирекционные углы	Горизонтальное проложение, м	Приращение координат, м				Координаты, м		№ точки		
	Измеренные	Исправленные			Вычисленные		Исправленные					X	Y
					°	'	°	'	+	-			
<b>B</b>												<b>A</b>	
<b>1</b>	125	11,5	308 07,2	99,85	+0,04	-0,01	61,64	78,50	+61,68	-78,56	52138,20	33175,80	<b>B</b>
<b>2</b>	216	12,0	2 55,7	203,30	+0,06	-0,01	203,03	10,55	+203,09	+10,38	52199,88	33097,24	<b>1</b>
<b>3</b>	67	41,7	326 43,7	199,60	+0,06	-0,01	166,88	109,37	+166,94	-109,51	52402,97	33107,62	<b>2</b>
<b>C</b>			79 02,0	101,25	+0,03	-0,01	19,26	99,42	+19,29	+99,39	52569,91	32998,11	<b>3</b>
											52589,20	33097,50	<b>C</b>
											Контроль		

$$\sum d = 604,00 \quad \sum \Delta X = +450,81 \text{ м}; \sum \Delta Y = -78,26 \text{ м}$$

$$\sum \Delta X_{\text{теор.}} = +451,00 \text{ м}; \sum \Delta Y_{\text{теор.}} = -78,30 \text{ м}$$

$$f_x = -0,19 \text{ м}; f_y = +0,04 \text{ м}$$

$$f_{\text{абс.}} = \sqrt{0,19^2 + 0,04^2} = 0,19 \text{ м}$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{0,19}{604,00} = \frac{1}{3179}$$

$$f_{\text{отн. доп.}} = \frac{1}{2000}$$



## Лабораторная работа № 14

Тема: «Упрощенное уравнивание теодолитных ходов с одной узловой точкой».

**Задание.** Выполнить раздельное уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой.

Для выполнения работы каждому студенту выдаются исходные данные по вариантам. Для каждого варианта изображена схема теодолитных ходов (рис. 14.1), заданы дирекционные углы и координаты исходных сторон (табл. 14.1), измеренные величины углов и длин теодолитных ходов (табл. 14.2). Номер варианта соответствует номеру фамилии студента в списке группы.

Вычисления выполняются в ведомости вычисления координат и в таблицах 14.3, 14.4, 14.5 в следующей последовательности:

1. Составляем карточку предварительной математической обработки теодолитных ходов (пример на рис. 14.2). На карточке отмечаем узловую точку и узловую линию с таким расчетом, чтобы количество углов в преобразованных ходах было примерно одинаковое. Стрелками указываем направление теодолитных ходов. На карточку выписывают значения всех углов и горизонтальных проложений. Величины углов и расстояний на карточке должны приближенно соответствовать исходным данным (в сравнении между собой). Для удобства вычислений можно преобразовать часть углов в левые или правые.

2. Вычисляем вероятнейшее значение дирекционного угла  $\alpha_0$  узловой линии (пример см. табл. 14.3), где  $\alpha_i$  – значение дирекционного угла узловой линии вычисленные по каждому ходу по формуле:

$$\begin{aligned} \text{для левых по ходу углов } \alpha_i &= \alpha_{исх.} + \sum \beta_i - 180^\circ \cdot n, \\ \text{для правых по ходу углов } \alpha_i &= \alpha_{исх.} + 180^\circ \cdot n - \sum \beta_i, \end{aligned} \quad (14.1)$$

где  $\alpha_{исх.}$  – дирекционный угол исходной стороны;  $\beta_i$  – горизонтальные углы со схемы предварительной обработки;  $n$  – количество углов в ходе.

$\alpha'_0$  – приближенное значение дирекционного угла узловой линии принимается как среднее арифметическое из вычисленных по разным ходам дирекционных углов узловой линии;  $c$  – единица веса выбирается как наибольшее, наименьшее или среднее значение количества углов в ходе ( $n$ ).

3. В ведомости вычисления координат увязываем углы по трем ходам и вычисляем приращения координат. Вероятнейшее значение дирекционного угла узловой линии ( $\alpha_0$ ) принимаем как исходное.



4. Вычисляем вероятнейшие значения координат узловой точки  $X_0$  и  $Y_0$  (см. табл. 14.4 и 14.5),

где  $X'_0$  и  $Y'_0$  – приближенные значения координат узловой точки, принимаются как среднее арифметическое из вычисленных координат по разным ходам;  $c$  – единица веса, выбирается как максимальное, минимальное или среднее значение длины хода в километрах ( $L$ ).

5. В ведомости вычисления координат увязываем приращения координат по трем ходам, используя вероятнейшие значения координат узловой точки как исходные, и вычисляем координаты точек теодолитных ходов.

6. Составляем масштабированную схему теодолитных ходов (пример на рис. 14.3).

Исходные данные. Вариант 1

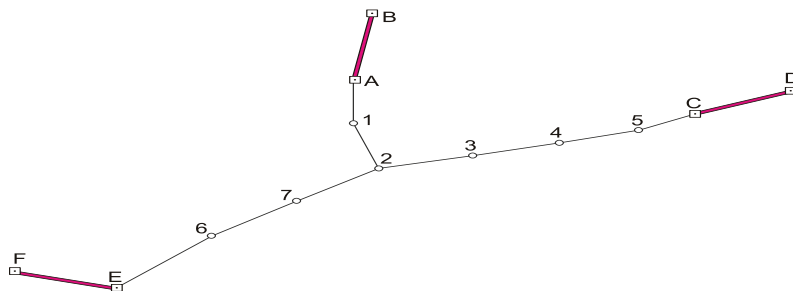


Рис. 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	34276,23	25125,13	10	56,9
B				
C	34177,69	25814,21	69	06,0
D				
E	33633,05	24667,22	284	29,8
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	165	24,5	121,01	E	123	56,9	247,50
1	164	45,1		6	189	45,9	
2	96	22,8	154,00	7	177	59,2	203,20
3	178	45,7	186,87	2	201	15,8	189,22
4	182	24,3	178,73	3			
5	166	13,9	167,26				
C	184	15,2	123,37				
D							

Исходные данные. Вариант 2

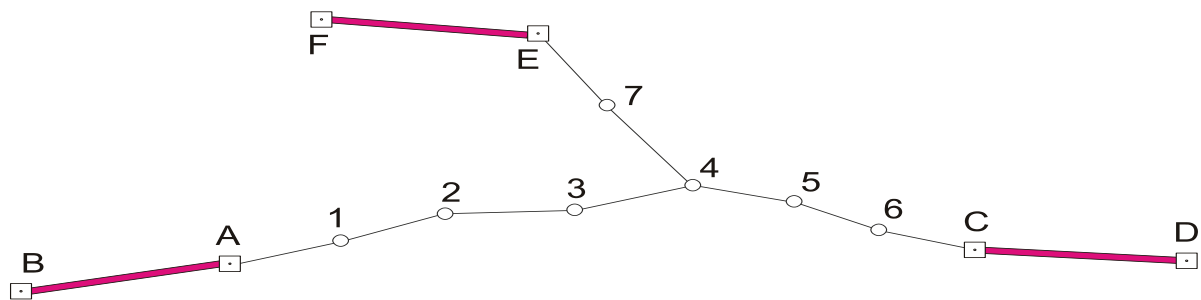


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	27115,00	16110,33	259	17,0
B				
C	27132,71	16822,98	96	26,1
D				
E	27414,05	16404,84	275	54,4
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			110,23	F			114,34
A	184	59,6		E	131	17,0	
1	184	03,8		7	182	39,0	
2	162	19,6		4	167	45,2	
3	193	42,3		3			
4	151	57,2					
5	168	09,9					
6	187	58,4					
C	189	37,9					
D							

Исходные данные. Вариант 3

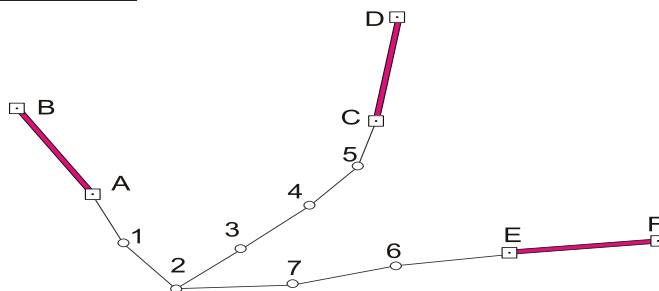


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	26668,25	17299,61	328	03,8
B				
C	26807,68	17687,45	9	36,1
D				
E	26555,79	17868,65	84	12,5
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	βлев.		d, м	Пункты	βлев.		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			102,37	F			156,38
A	187	40,9		E	176	32,1	
1	164	45,1		6	175	54,6	
2	88	17,6		7	189	45,2	
3	180	02,2		2	322	21,6	
4	172	21,8		3			
5	155	32,8					
C	172	54,1					
D							

**Исходные данные. Вариант 4**

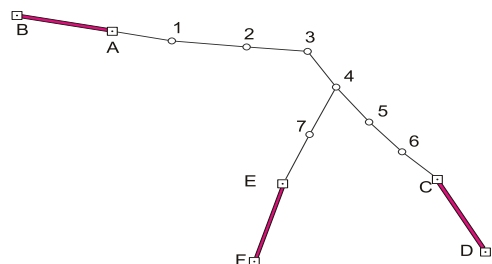


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	27340,07	15220,79	290	51,6
B				
C	26974,15	15879,59	151	01,4
D				
E	26966,11	15568,74	196	58,6
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			123,36	F			128,75
A	189	23,9		E	172	18,8	
1	185	49,2		7	180	22,6	
2	180	34,4		4	237	29,2	
3	128	14,6		3			
4	184	23,0					
5	184	59,6					
6	184	3,8					
C	162	19,5					
D							

Исходные данные. Вариант 5

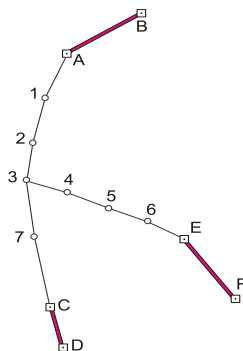


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов.

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	23378,99	21619,45	32	52,1
B				
C	27450,81	14762,69	166	31,2
D				
E	27638,36	15078,22	126	02,6
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			132,12	D			198,23
A	169	45,6		C	182	31,3	
1	170	24,0		7	184	27,2	
2	175	14,6		3	295	46,4	
3	101	1,3		4			
4	185	4,2					
5	176	29,6					
6	189	23,9					
E	185	49,3					
F							

Исходные данные. Вариант 6

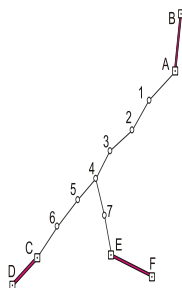


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов.

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	35128,56	22473,16	9	17,8
B				
C	34662,58	21934,45	215	34,1
D				
E	34670,31	22221,85	161	59,2
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			125,12	F			101,55
A	134	48,2		E	176	37,8	
1	192	13,4		7	185	52,2	
2	163	22,8		4	120	34,2	
3	199	56,9		3			
4	165	52,3					
5	182	16,7					
6	186	44,5					
C	188	26,6					
D							

Исходные данные. **Вариант 7**

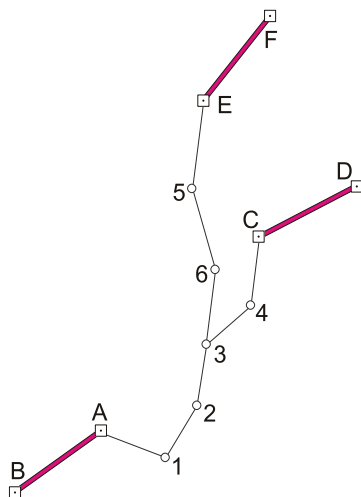


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	21813,94	23197,62	347	04,7
B				
C	21396,15	23705,87	94	46,0
D				
E	21195,61	22731,91	263	25,2
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			129,20	F			247,05
A	174	59,0		E	166	59,2	
1	187	40,9		5	174	28,6	
2	164	45,1		6	183	59,8	
3	125	55,9		3	85	37,2	
4	170	14,8		2			
C	184	05,4					
D							



**Исходные данные. Вариант 8**

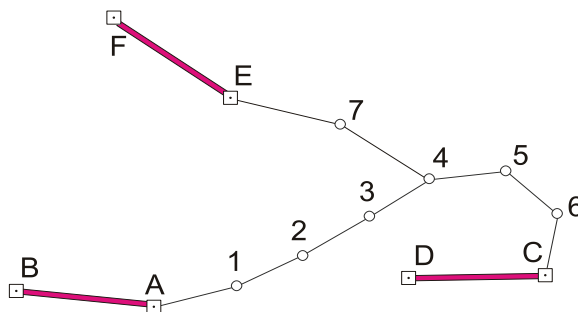


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	56128,23	25676,15	276	17,2
B				
C	56176,25	26238,77	269	02,5
D				
E	56446,23	25786,21	306	58,6
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	201	15,2	123,36	E	202	43,1	163,20
1	190	53,9		7	161	22,6	
2	185	59,8	105,28	4	66	29,0	152,33
3	181	45,7	112,98	3			
4	152	36,9	103,73				
5	132	23,8	110,22				
6	121	06,2	98,56				
C	101	15,4	95,33				
D							

Исходные данные. Вариант 9

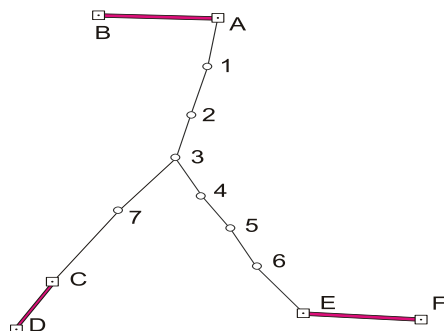


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	67895,12	32256,17	272	34,9
B				
C	67286,22	31976,18	211	25,2
D				
E	67213,1	32400,39	93	45,7
F				

Таблица.14. 2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				D			
A	276	36,7	113,56	C	182	31,3	198,23
1	184	17,9		7	184	27,2	
2	181	56,1	115,26	3	295	46,4	156,35
3	138	45,9	101,55	4			
4	172	13,4	98,68				
5	186	15,8	89,64				
6	171	34,7	98,13				
E	129	32,5	134,29				
F							

Исходные данные. **Вариант 10**

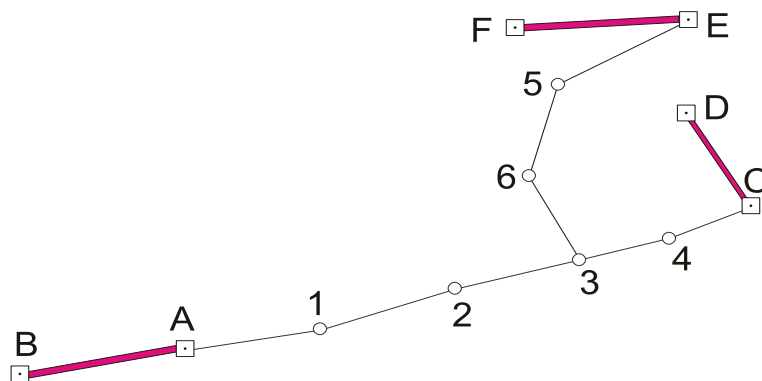


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	27115,00	16110,33	259	17,0
B				
C	27294,65	16752,25	330	10,7
D				
E	27529,44	16681,13	267	32,0
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	
	°	'			°	'		
Ход 1				Ход 2				
B			154,99	F			169,20	
A	178	36,8		E	26	12,2		
1	189	14,5		5	225	30,7		119,63
2	175	23,9		6	223	57,2		120,74
3	181	15,2		3	75	51,6		
4	188	16,2		2				
C	276	17,9						
D								

Исходные данные. Вариант 11

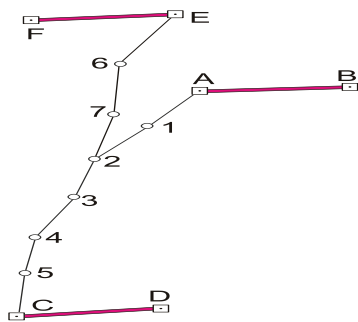


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	58276,17	32566,78	88	32.8
B				
C	57639,35	32326,66	83	54.1
D				
E	58491,70	32534,69	265	34.9
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			121,01	F			156,83
A	128	22,7		E	301	36,9	
1	181	45,9		6	156	13,8	
2	156	59,2		7	188	16,2	
3	190	25,3		2	181	56,9	
4	163	17,4		3			
5	177	56,1					
C	78	32,6					
D							

Исходные данные. Вариант 12

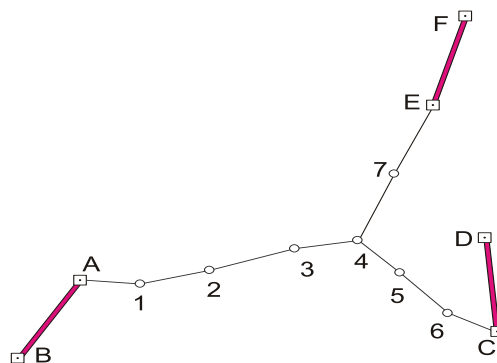


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	32456,21	21458,34	219	22,8
B				
C	32350,69	22120,26	335	23,8
D				
E	32814,15	22017,72	16	03,5
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			95,37	F			153,66
A	125	17,2		E	172	18,8	
1	198	14,3		7	180	22,6	
2	183	45,9		4	123	29,2	147,19
3	172	13,7		3			
4	125	14,0					
5	177	13,9					
6	201	34,8					
C	300	23,2					
D							

Исходные данные. Вариант 13

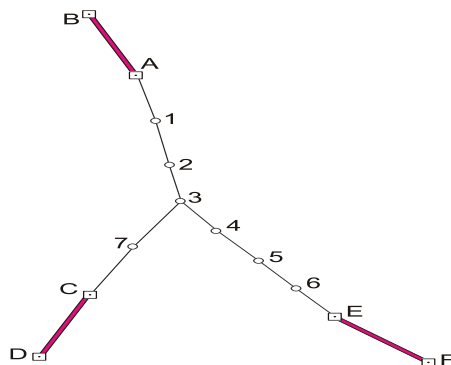


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	32777,32	21444,44	336	53,2
B				
C	32097,60	21757,15	203	32,3
D				
E	32158,7	21372,15	141	03,5
F				

Таблица 14. 2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход2			
B			132,12	D			151,36
A	189	45,6		C	182	31,3	
1	183	24,0		7	184	27,2	
2	180	14,6		3	295	46,4	
3	156	1,3		4			
4	175	4,2					
5	181	29,6					
6	179	23,9					
E	178	49,3					
F							

Исходные данные. **Вариант 14**

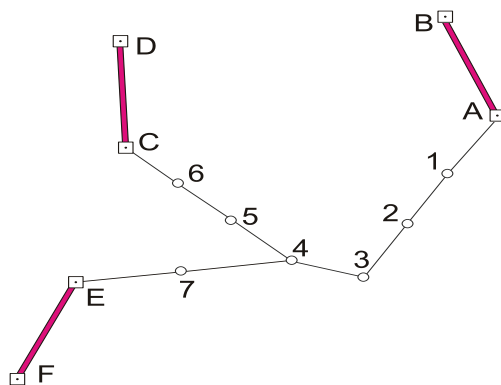


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	32170,25	15223,56	336	45,2
B				
C	32112,71	14711,29	357	25,9
D				
E	31873,01	14642,35	204	53,5
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	123	15,7	123,36	E	123	18,8	146,38
1	181	54,5		105,28	7	178	
2	178	59,8	112,98	4	156	23,1	154,22
3	105	46,8	103,73	3			
4	156	37,5	110,22				
5	178	24,3	98,56				
6	180	6,7	95,33				
C	134	16,4					
D							

Исходные данные. Вариант 15

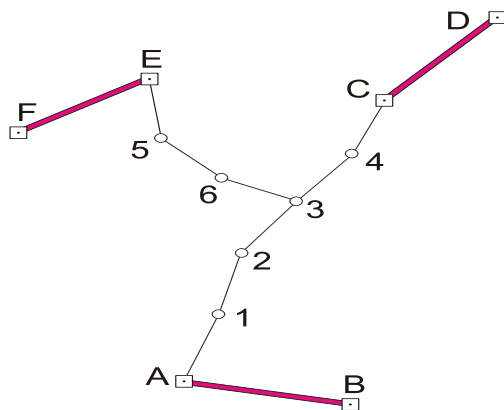


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	45723,12	33256,45	281	13,2
B				
C	46204,88	33496,66	43	35,1
D				
E	46241,61	33214,98	239	35,7
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	βлев.		d, м	Пункты	βлев.		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			122,35	F			102,10
A	98	25,3		E	292	44,9	
1	175	13,2		5	140	48,2	
2	201	32,5		6	161	1,5	
3	182	45,8		3	282	12,5	
4	164	14,2		2			
C	200	12,9					
D							



Исходные данные. **Вариант 16**

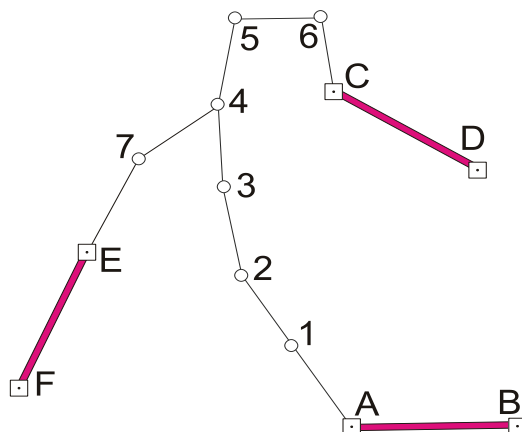


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	32456,89	18156,01	88	56,9
B				
C	32877,32	18135,29	120	38,0
D				
E	32675,87	17851,28	204	46,5
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			123,36	F			131,50
A	123	15,2		E	177	50,1	
1	178	53,9		7	153	57,8	
2	156	59,8		4	56	55,1	
3	173	45,7		3			
4	165	36,9					
5	101	23,8					
6	98	06,2					
C	230	15,4					
D							

Исходные данные. Вариант 17

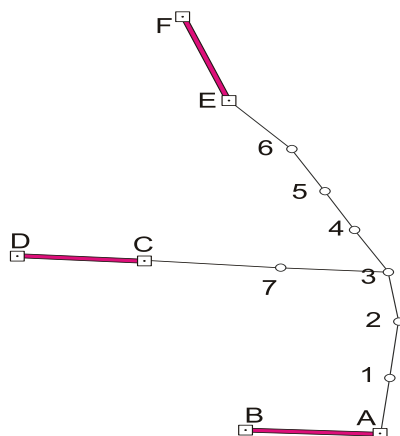


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	35177,77	16666,66	272	34,9
B				
C	35528,09	16324,81	273	25,2
D				
E	35853,69	16447,52	338	45,7
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	βлев.		d, м	Пункты	βлев.		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			113,56	D			198,23
A	94	36,7		C	180	31,3	
1	179	17,9		7	179	27,2	
2	164	56,1		3	56	46,4	
3	158	45,9		4			
4	181	13,4					
5	179	15,8					
6	166	34,7					
E	201	32,5					
F							

Исходные данные. Вариант 18

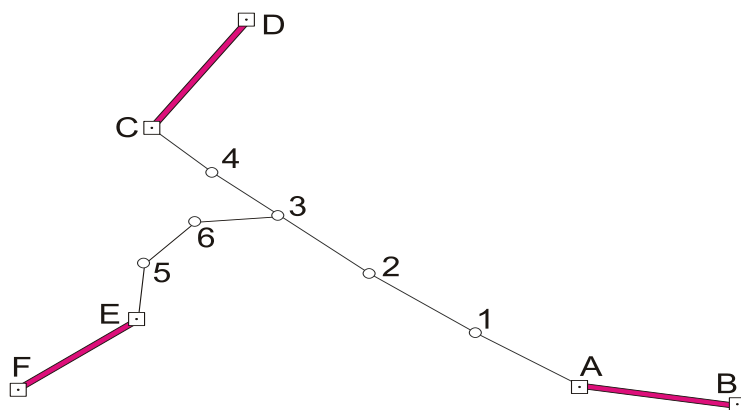


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	42222,22	15555,55	99	17,0
B				
C	42621,35	15020,11	36	10,7
D				
E	42326,81	15001,01	235	26,0
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			154,99 161,23 145,13 105,88 101,77	F			86,75 90,57 104,35
A	156	36,8		E	229	42,2	
1	178	14,5		5	140	45,8	
2	176	23,9		6	140	03,5	
3	179	15,2		3	136	53,2	
4	176	16,2		2			
C	96	17,9					
D							

Исходные данные. **Вариант 19**

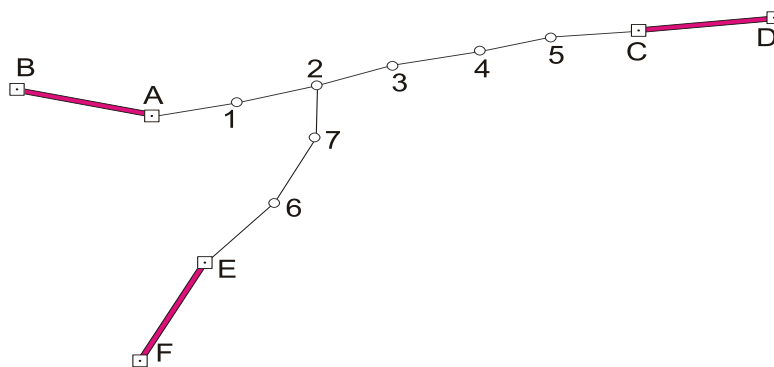


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	47888,88	25666,66	282	32.8
B				
C	48033,52	26347,15	83	54.1
D				
E	47640,74	25740,83	208	36,4
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B			121,01	F			139,85
A	156	22,7		E	195	16,3	
1	176	45,5		6	163	07,1	
2	176	59,2		7	154	54,2	
3	185	25,3		2	250	46,5	
4	179	17,4		3			
5	186	56,1					
C	179	32,6					
D							

Исходные данные. **Вариант 20**

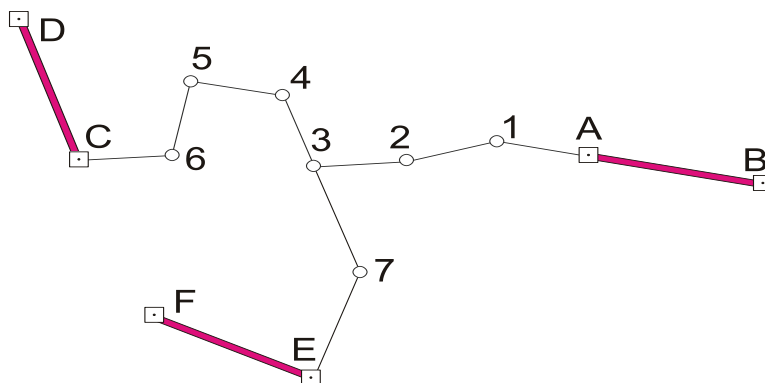


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	42000,42	22000,22	101	32,9
B				
C	41994,61	21453,82	341	32,9
D				
E	41704,21	21702,58	295	32,9
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	181	01,1	100,00	E	275	00,1	150,00
1	205	00,0		7	219	59,6	150,00
2	170	00,1	100,00	3	179	59,9	
3	105	00,0	100,00	4			
4	240	01,1	100,00				
5	269	00,1	100,00				
6	105	00,0	100,00				
C	105	00,0	100,00				
D							

Исходные данные. **Вариант 21**

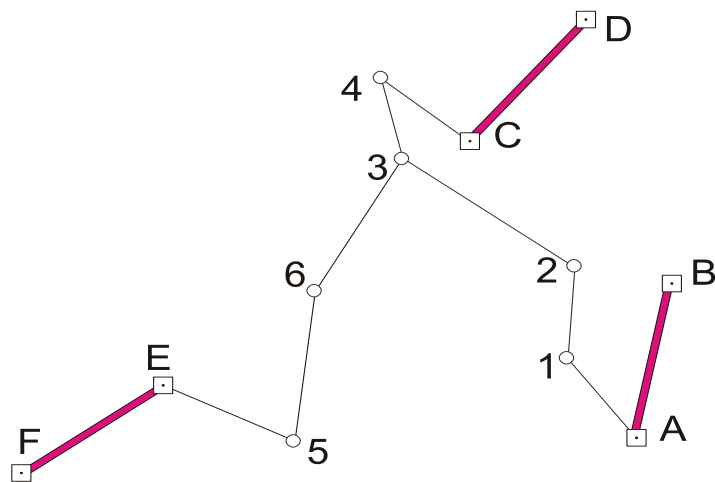


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	52121,21	21212,21	21	21,2
B				
C	52478,66	21037,66	40	11,1
D				
E	52184,42	20716,21	224	21,2
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	βлев.		d, м	Пункты	βлев.		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	301	21,2	121,21	E	251	48,6	151,87
1	221	21,1		5	70	44,3	
2	121	31,2	111,11	6	202	51,1	182,00
3	221	41,3	222,22	3	275	51,0	
4	321	51,4	99,99	2			183,93
C	91	1,5	121,21				
D							

Исходные данные. **Вариант 22**

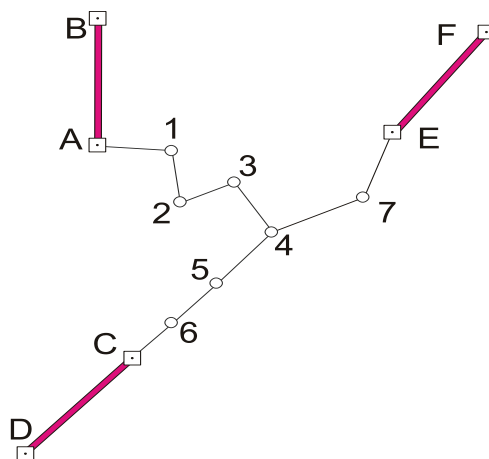


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	39000,39	21000,21	0	11,1
B				
C	38691,38	21040,23	222	52,1
D				
E	39021,23	21353,38	36	53,2
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м
	°	'			°	'	
Ход 1				Ход 2			
B				F			
A	266	15,2	87,12	E	196	18,8	101,23
1	101	53,9		7	135	22,6	
2	285	59,8	75,62	4	96	56,2	121,35
3	97	45,7	71,13	3			
4	106	36,9	85,69				
5	178	23,8	99,88				
6	181	06,2	79,13				
C	179	15,4	69,89				
D							

Исходные данные. **Вариант 23**

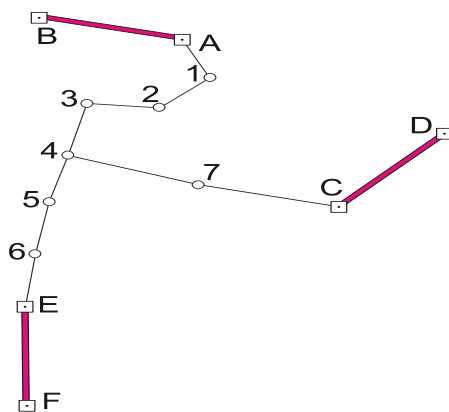


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			$^{\circ}$	$'$
A	32000,32	15000,15	282	34,9
B				
C	31690,54	15199,50	45	25,2
D				
E	31505,65	14799,88	180	45,7
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	Пункты	$\beta_{лев.}$		d, м	
	$^{\circ}$	$'$			$^{\circ}$	$'$		
Ход 1				Ход 2				
B			78,23	D			183,90	
A	230	36,7		C	237	31,3		
1	256	17,9		7	185	27,2		174,90
2	224	56,1		4	265	46,4		
3	99	45,9		3				
4	181	13,4						
5	175	15,8						
6	176	34,7						
E	173	32,5						
F								



Исходные данные. **Вариант 24**

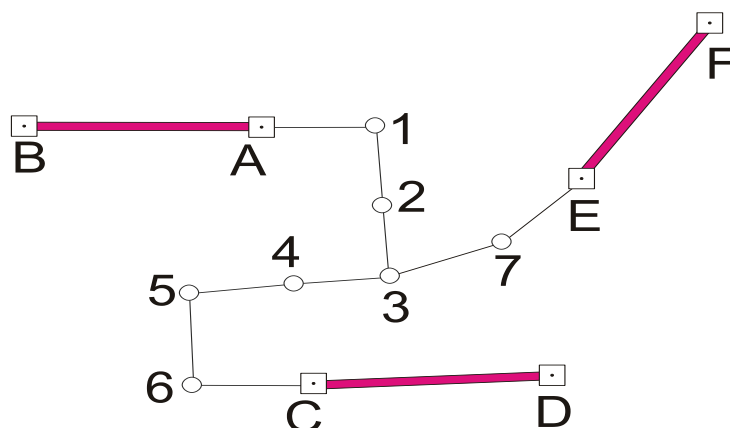


Рис 14.1. Схема теодолитных ходов

Таблица 14.1

Координаты исходных пунктов  
и дирекционные углы исходных сторон

Пункты	X	Y	$\alpha$	
			°	'
A	20000,20	10000,10	270	10,1
B				
C	19748,96	10040,68	88	06,6
D				
E	19949,78	10249,88	34	00,5
F				

Таблица 14.2

Средние значения измеренных углов и горизонтальные проложения длин сторон

Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	Пункты	$\beta_{\text{прав.}}$		d, м	
	°	'			°	'		
Ход 1				Ход 2				
B			88,56	F			87,93	
A	181	15,2		E	168	39,5		
1	93	18,9		78,32	7	156		12,8
2	180	07,8		69,45	3	164		52,2
3	91	13,7		75,39	4			
4	180	37,9		82,15				
5	264	58,8		90,47				
6	269	35,2		95,02				
C	180	55,4						
D								

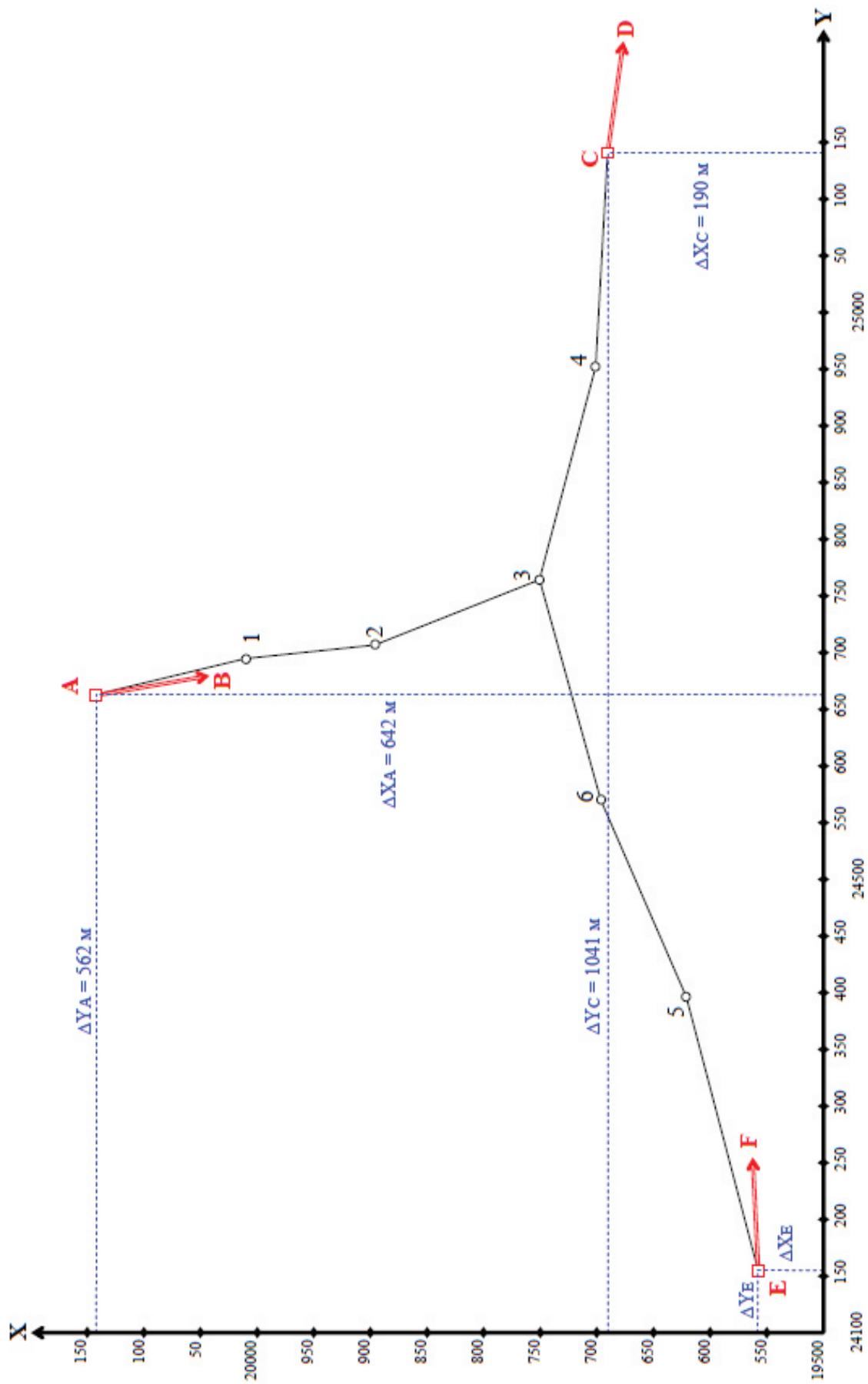


Рис.14.3. Схема геодезических ходов масштаба 1 : 5000

Таблица 14.3

Вычисление вероятнейшего значения дирекционного угла  $\alpha_0$  узловой линии 2-3

№ хода	Число углов в ходе, $n$	Исходная линия		Сумма горизонтальных углов $\sum \beta_i$	Значение дирекционного угла узловой линии, $\alpha_i$		Вес дирекционного угла		Отклонение $\varepsilon_i = \alpha_i - \alpha_0'$	Произведение			
		Название	Дирекционный угол, $\alpha_{всх.}$		о угла	узловой линии, $\alpha_i$	Геометрический $P_i = \frac{c}{n}$	Приведенный $P_i' = \frac{P_i}{\sum P_i}$		$P_i * \varepsilon_i$	$P_i' * \varepsilon_i$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3	B-A	171	04,7	527	24,6	158	29,3	1	0,36	-0,8	-0,8	-0,288
2	3	D-C	278	46,0	599	44,9	338	30,9	1	0,36	+0,8	+0,8	+0,288
3	4	F-E	87	25,2	611	04,8	338	30,0	0,75	0,27	-0,1	-0,075	-0,027
Приближенное значение дирекционного угла $\alpha_0' =$				338	30,1								

Единица веса:  $c = 3$ 

$$\alpha_0 = \alpha_0' + \frac{\sum P_i * \varepsilon_i}{\sum P_i} = 338^{\circ}30,1' + \left( \frac{-0,075}{2,75} \right) = 338^{\circ}30,1'$$

$$\alpha_0 = \alpha_0' + \sum P_i' * \varepsilon_i = 338^{\circ}30,1' + (-0,027) = 338^{\circ}30,1'$$

Таблица 14.4

Вычисление вероятнейшего значения абсциссы  $X_0$  узловой точки 3

Номер хода	Длина хода, км $L_i$	Абсцисса исходного пункта, м $X_{исх.}$	Сумма вычисл. приращений, м $\sum \Delta X_i$	Вычисленная абсцисса узл. точки, м, $X_i$	Вес координаты		Отклонение $\varepsilon_i = X_i - X_0$	Произведение	
					геометр. $P_i = \frac{c}{L_i}$	привед. $P_i' = \frac{P_i}{\sum P_i}$		$P_i * \varepsilon_i$	$P_i' * \varepsilon_i$
1		3		3	6	7	8	9	10
1	0,28	20142,62	-388,96	19753,66	1,321	0,343	-0,04	-0,053	-0,014
2	0,19	19690,39	+63,32	19753,71	1,947	0,506	+0,01	+0,019	+0,005
3	0,64	19558,28	+195,44	19753,72	0,578	0,150	+0,02	+0,012	+0,003
Приближенное значение координаты $X_0' =$					3,846			-0,022	-0,006

Единица веса:  $c = \underline{0,37}$ 

$$X_0 = X_0' + \frac{\sum P_i * \varepsilon_i}{\sum P_i} = 19753,70 + \left( \frac{-0,022}{3,846} \right) = 19753,69$$

$$X_0 = X_0' + \sum P_i' * \varepsilon_i = 19753,70 + (-0,006) = 19753,69$$

Вычисление вероятнейшего значения ординаты  $Y_0$  узловой точки 3

Номер хода	Длина хода, км $L_i$	Ордината исходного пункта, $Y_{исх.}$	Сумма вычисл. приращ. $\sum \Delta Y_i$	Вычисленная ордината узл. точки, м, $Y_i$	Вес координаты		Отклонение $\varepsilon_i = Y_i - Y_0'$	Произведение	
					геометр. $P_i = \frac{c}{L_i}$	привед. $P_i' = \frac{P_i}{\sum P_i}$		$P_i * \varepsilon_i$	$P_i' * \varepsilon_i$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,28	24662,77	+100,79	24763,56	0,679	0,344	-0,09	-0,061	-0,031
2	0,19	25140,65	-377,12	24763,53	1	0,506	-0,12	-0,120	-0,061
3	0,64	24155,07	+608,78	24763,85	0,297	0,150	+0,20	+0,059	+0,030
Приближенное значение координаты $Y_0' =$					247763,65	1,976		-0,122	-0,062

Единица веса:  $c = 0,19$ 

$$Y_0 = Y_0' + \frac{\sum P_i * \varepsilon_i}{\sum P_i} = 24763,65 + \left( \frac{-0,122}{1,976} \right) = 24763,59$$

$$Y_0 = Y_0' + \sum P_i' * \varepsilon_i = 24763,65 + (-0,062) = 24763,59$$

## Лабораторная работа № 15

Тема: «Упрощённое уравнивание плановой съёмочной сети, построенной методом триангуляции (микротриангуляции)».

**Задание.** Уравнять упрощенным способом плановую съёмочную сеть, построенную в виде цепочки треугольников.

Для выполнения работы каждому студенту выдаются исходные данные по вариантам. В каждом варианте нарисована ориентированная масштабированная схема (рис. 15.1), координаты исходных пунктов (табл. 15.1) и результаты измерения направлений (табл. 15.2). Номер варианта соответствует номеру фамилии студента в списке группы.

Ход выполнения работы рассмотрим на примере:

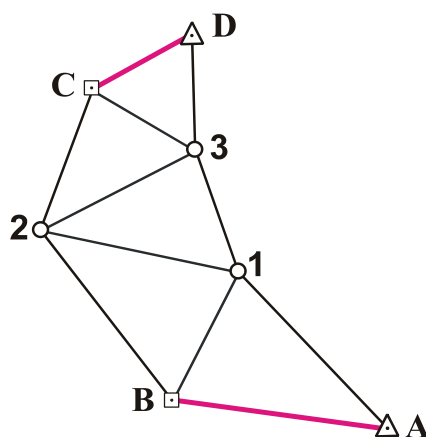


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников

Таблица 15.1

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2522,04	4315,52
B	2600,06	3708,16
C	3482,21	3486,27
D	3641,77	3766,68

1. Вычисляем горизонтальное проложение и дирекционный угол исходных сторон (обратная геодезическая задача) исходные данные берем с табл. 15.1:

$$\alpha_{A-B}^* = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \arctg \frac{-607,36}{+78,02} = 82^\circ 40,8';$$

$$\alpha_{A-B} = 360^\circ - \alpha_{A-B}^* = 277^\circ 19,2';$$

$$d_{A-B} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{A-B}} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{A-B}} = 612,35 \text{ м};$$

$$\alpha_{C-D}^* = \arctg \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C} = \arctg \frac{+280,41}{+159,56} = 60^\circ 21,5';$$

$$\alpha_{C-D} = \alpha_{C-D}^* = 60^\circ 21,5';$$

$$d_{C-D} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{C-D}} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{C-D}} = 322,63 \text{ м}.$$

Таблица 15.2

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		
		°	'			°	'	
А	В	0	00,0	3	1	0	00,0	
	1	39	06,5		2	81	27,7	
В	2	0	00,0		С	140	07,5	
	1	64	47,1		Д	198	00,3	
1	А	134	41,3	С	Д	0	00,0	
	А	0	00,0		3	60	25,8	
	В	71	00,7		2	139	39,1	
	2	145	34,2		Д	3	0	00,0
2	3	204	13,9		С	61	40,2	
	С	0	00,0					
	3	42	07,4					
	1	81	59,3					
	В	122	37,7					





треугольников.

2.3. Нумеруем углы в треугольниках по правилу: первый угол – противолежащий исходной или первой по ходу связующей (общей) стороне; второй – угол противолежащий не связующе стороне; третий – угол противолежащий второй по ходу связующей стороне.

Углы в треугольниках между сторонами ходовой линии называются промежуточными, в донном примере – углы 2,5,8,11,14; два других угла в треугольниках называются связующими, в данном примере – углы 1,3,4,6,7,9,10,12,13,15.

2.4. Выписываем координаты исходных пунктов (табл.15.1), вычисленные горизонтальные проложения и дирекционные углы исходных сторон.

2.5. По измеренным направлениям (табл.15.2) вычисляем углы в треугольниках и их соответствующие значения выписываем на карточку предварительной обработки. Например: значение угла 2 в первом треугольнике (рис.15.2) равно разности измеренных направлений

$(B-A)$  и  $(B-1)$  т.е.  $134^\circ 41,3' - 64^\circ 47,1' = 69^\circ 54,2'$ .

2.6. Вычисляем невязки в треугольниках по формуле:  $W_i = [\beta]_i - 180^\circ$ , то есть сумма углов в треугольнике должна равняться  $180^\circ$ , они не должны превышать допустимое значение невязки  $W_{доп.} = 1' \sqrt{3} = \pm 1,7'$ .

2.7. Вычисляем среднюю квадратическую ошибку измерения угла по формуле Ферреро:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{[WW]}{3N}}, \quad (15.1)$$

где  $N$  – число треугольников.

3. Выполняем уравнивание измеренных углов и вычисляем длины сторон ходовой линии в (табл.15.3).

3.1. В графы 1-3 выписываем данные с карточки предварительной обработки (рис.15.2):

– номера треугольников; номера углов; измеренные углы.

Контролем заполнений колонок является суммы углов треугольников (графа 3) и вычисленная невязка ( $W$ ). Значение вычисленной невязки ( $W$ ) в бланке необходимо сравнить со значением невязки на карточке предварительной обработки;

3.2. В графу 4 записываем первичные поправки  $V_\beta'$ . То есть распределяем невязку  $W$  поровну с противоположным знаком на углы треугольников с таким расчетом что:  $\sum V_\beta' = -W$ ;

3.3. Вычисляем вторичные поправки  $V_\beta''$ , для этого в бланк ведомости вычисления координат (графа 1, 2) выписываем пункты ходовой линии и измеренные промежуточные углы ходовой линии с учётом первичной поправки  $V_\beta'$ , при этом правые по ходу углы записываем со знаком минус. Образец заполнения ведомости в табл. 15.4.

В соответствующую строку графы 4 выписываем с карточки (рис. 15.2)

красным цветом исходный дирекционный угол  $\alpha_{A-B}$ .

В графе 4 последовательно вычисляем дирекционные углы сторон ходовой линии.

Полученный дирекционный угол конечной исходной стороны  $\alpha'_{C-D}$  сравниваем с дирекционным углом  $\alpha_{C-D}$  на карточке. По разности значений вычисляем угловую невязку ходовой линии:  $f_\beta = \alpha_{C-D} - \alpha'_{C-D}$ , она не должна превышать допустимую  $f_{\beta доп.} = l' \sqrt{n}$ , где  $n$  – количество углов (в примере  $n = 5$ ). Значения угловых невязок  $f_\beta$  и  $f_{\beta доп.}$  записываем в ведомости вычисления координат.

3.4. Если угловая невязка  $f_\beta$  меньше допустимой  $f_\beta < f_{\beta доп.}$ , распределяем поправки  $v_\alpha$  на дирекционные углы сторон ходовой линии, пропорционально возрастающим по ходу порядковым номерам дирекционных углов  $k_i$ , с противоположным знаком:

$$V_\alpha = -\frac{f_\beta}{n_d} k_i.$$

где  $n_d$  – количество дирекционных углов сторон ходовой линии ( $n_d = 5$ ).

Поправки записываем над значениями дирекционных углов красным цветом.

Контроль распределения поправок: - вычисленный конечный дирекционный угол  $\alpha_{C-D}$ , с учётом последней поправки, должен соответствовать конечному исходному дирекционному углу на карточке предварительной обработки, в данном примере:

$$\alpha_{C-D} = \alpha^*_{C-D} + V_\alpha = 60^\circ 20,7' + 0,8' = 60^\circ 21,5'.$$

3.5. Вычисляем вторичные поправки в измеренные углы (графа 2 табл.15.4), как разность поправок в дирекционные углы смежных сторон:

$$V_{\beta i}'' = V''_{\alpha(i-1)} - V''_{\alpha(i)}, \text{ при этом } \sum V_{\beta}'' = -f_\beta.$$

Вторичные поправки записываем красным цветом над измеренными углами и с учётом поправок вычисляем исправленные углы (графа 3);

- выписываем из ведомости вычисления координат вторичные поправки  $V_{\beta}''$  в таблицу 15.3 (графа 5), в строку соответствующих промежуточных углов ходовой линии, при этом для правых углов знак поправки меняем на противоположный, т.е. знак угловой невязки  $f_\beta$ ;

- вычисляем исправленные промежуточные углы, их значения должны соответствовать исправленным углам в ведомости вычисления координат (графа 3);

- для того чтобы соблюдалось первое условие, то есть сумма углов в треугольнике должна равняться  $180^\circ$ , необходимо в два связующих угла треугольника добавить  $0,5 * V_{\beta}''$ , с противоположным знаком.

Таблица 15.3

Решение треугольников по теореме синусов. Вычисление длин сторон ходовой линии.

Номер	Измеренный угол		Поправка		Исправленный угол		Горизонтальная длина ходовой линии $d_i$ , м				
	тр-ка	угла	°	'	$V'_\beta$	$V''_\beta$	°	'	вычисленная	удаление от исх. $L_i$	Поправка $V_s$
1	2	3		4	5	6		7	8	9	10
1	1	71	0,7	-0,5	0,1	71	0,3				612,35
	2	69	54,2	-0,5	-0,2	69	53,5				
	3	39	6,5	-0,4	0,1	39	6,2	408,46	408,46	0,14	408,6
	$\Sigma_1$	180	1,4	-1,4	0	180	0,0				
	$W_1$		1,4								
2	4	40	38,4	0,3	-0,1	40	38,6				
	5	74	33,5	0,4	0,1	74	34,0				
	6	64	47,1	0,3	0	64	47,4	567,37	975,83	0,32	567,69
	$\Sigma_2$	179	59,0	1	0	180	0,0				
	$W_2$		-1,0								
3	7	81	27,7	0,2	0,1	81	28,0				
	8	39	51,9	0,3	-0,2	39	52,0				
	9	58	39,7	0,2	0,1	58	40,0	490,05	1465,88	0,48	490,53
	$\Sigma_3$	179	59,3	0,7	0	180	0,0				
	$W_3$		-0,7								
4	10	79	13,3	-0,2	-0,1	79	13,0				
	11	58	39,8	-0,1	0,1	58	39,8				
	12	42	7,4	-0,2	0	42	7,2	334,58	1800,46	0,59	335,17
	$\Sigma_4$	180	0,5	-0,5	0	180	0,0				
	$W_4$		0,5								
5	13	61	40,2	0,4	0,1	61	40,7				
	14	60	25,8	0,4	-0,2	60	26,0				
	15	57	52,8	0,4	0,1	57	53,3	321,93	2122,39	0,7	322,63
	$\Sigma_5$	179	58,8	1,2	0	180	0,0				
	$W_5$		-1,2								

$$[WW] = 5,14$$

$$[VV] = 1,98$$

 $W_s = -0,70$  – невязка сторон ходовой линии

Средняя квадратическая ошибка

 $[d] = 2122,39$  – сумма сторон ходовой линии

$$\text{измеренных углов: } m_\beta = \sqrt{\frac{[WW]}{3N}} = \sqrt{\frac{5,14}{15}} = 0,6'$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{1}{3032} \text{ – относительная ошибка}$$

Средняя квадратическая ошибка

$$\text{исправленных углов: } m_\beta = \sqrt{\frac{[VV]}{r}} = \sqrt{\frac{1,98}{9}} = 0,5'$$

Контроль: - сумма вторичных поправок в каждом треугольнике равняется нулю:  $\sum V'' = 0$ ;

- вычисляем в конце таблицы 15.3 под графами 3,4: сумму квадратов угловых невязок треугольника  $[WW]$ ; сумму квадратов первичных и вторичных поправок  $[VV]$ , где  $V = V'_\beta + V''_\beta$ ; среднюю квадратическую ошибку измерения углов по формуле Ферреро; среднюю квадратическую ошибку исправленных углов первичной и вторичной поправками  $m_\beta = \sqrt{\frac{[VV]}{r}}$ , где  $r$  - число избыточных измерений. В данном примере измерено 15 углов ( $n=15$ ). Для определения координат вставляемых пунктов 1,2,3 необходимо 6 углов ( $q=6$ ). Избыточно измерено  $r=n-q=15-6=9$ ;

- вычисляем исправленные связующие углы, учитывая первичные и вторичные поправки (графа 6). Контроль: - сумма углов треугольников должна равняться  $180^\circ$ ;

- выписываем красным цветом с карточки предварительной обработки в графу 10 горизонтальные проложения исходных сторон  $d_{A-B}$  и  $d_{C-D}$  и по теореме синусов, используя исправленные связующие углы треугольников, последовательно находим горизонтальные проложения сторон ходовой линии, включая значение конечной исходной стороны  $d'_{C-D}$ . Для данного примера:

$$d_{B-1} = \frac{d_{A-B} \cdot \sin \angle 3}{\sin \angle 1}; d_{1-2} = \frac{d_{B-1} \cdot \sin \angle 6}{\sin \angle 4}; d_{2-3} = \frac{d_{1-2} \cdot \sin \angle 9}{\sin \angle 7};$$

$$d_{3-C} = \frac{d_{2-3} \cdot \sin \angle 12}{\sin \angle 10}; d_{C-D} = \frac{d_{3-C} \cdot \sin \angle 15}{\sin \angle 13}.$$

- вычисляем: невязку сторон ходовой линии  $W_d = d'_{C-D} - d_{C-D}$ ; сумму горизонтальных длин сторон  $[d]$ ; относительную ошибку  $f_{\text{отн}}$  и записываем в низу таблицы 15.3;

- вычисляем удаление от исходной стороны  $L_i = L_{i-1} + d_i$  (графа 8);

- вычисляем поправки в длины сторон ходовой линии (графа 9):

$$V_{d_i} = \frac{W_d}{[d]} \cdot L_i$$

и выполняем контроль. То есть поправка в конечную исходную линию должна равняться невязке с противоположным знаком  $V_{d_{C-D}} = -W_d$ ;

- вычисляем исправленные длины сторон ходовой линии и выписываем их в ведомость вычисления координат (графа 5, табл. 15.4);

- вычисляем приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  (графа 6), учитывая поправки в дирекционные углы;

- вычисляем: невязки (линейные, абсолютную и относительную); поправки и исправленные приращения координат; координаты точек (табл. 15.4).

Таблица 15.4

Ведомость вычисления координат точек ходовой линии микротриангуляции

№ точки	Горизонтальные углы			Дирекционные углы	Горизонтальное проложение, м	Приращение координат, м				Координаты, м		№ точки	
	Измеренные		Исправленные			Вычисленные		Исправленные		X	Y		
	о	и				+	-	+	-				+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
A				227	19,2							A	
B	+0,2 -69	-53,7	-69	27	25,5	+0,14 362,67	+ 188,22	-0,12 +	362,81	+ 188,10	2600,06	3708,16	B
1	74	33,9	74	281	59,4	+0,3 117,98	- 555,29	+0,17 +	118,17	- 555,46	2962,87	3896,26	1
2	-39	-52,2	-39	62	07,2	+0,5 229,32	+ 433,63	-0,14 +	229,48	+ 433,49	3081,04	3340,80	2
3	58	39,7	58	300	46,9	+0,6 171,58	- 287,92	+0,11 +	171,69	- 288,02	3310,52	3774,29	3
C	-60	-26,2	-60	60	20,7						3482,21	3486,27	C
D				60	21,5						Контроль		D
				Контроль									

$$\sum d = 1801,99$$

$$\sum \Delta X = +881,52 \text{ м}; \sum \Delta Y = -221,39 \text{ м}$$

$$f_{\beta} = -0,8'$$

$$\sum \Delta X_{\text{теор.}} = +882,15 \text{ м}; \sum \Delta Y_{\text{теор.}} = -221,89 \text{ м}$$

$$f_{\text{вдоп.}} = 1' \sqrt{5} = 2,2'$$

$$f_x = -0,60 \text{ м}; f_y = +0,53 \text{ м}$$

$$f_{\text{абс.}} = \sqrt{0,60^2 + 0,53^2} = 0,80 \text{ м}$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{0,80}{1801,99} = \frac{1}{2252}$$

$$f_{\text{отн. доп.}} = \frac{1}{2000}$$

**Вариант 1.**

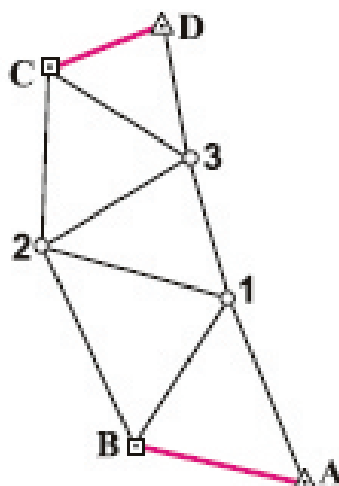


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2512,54	4135,29
B	2600,06	3708,16
C	3523,44	3482,66
D	3641,77	3766,68

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	54	50,6		2	75	2,6
B	2	0	00,0		C	138	47,6
	1	57	33,8		D	186	10,1
1	A	127	30,6	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	54	16,6
	B	55	14,0	D	2	113	52,9
	2	127	27		3	0	00,0
2	3	186	26,3		C	78	19,7
	C	0	00,0				
	3	56	39,2				
	1	102	36,6				
	B	152	48,8				

**Вариант 2.**

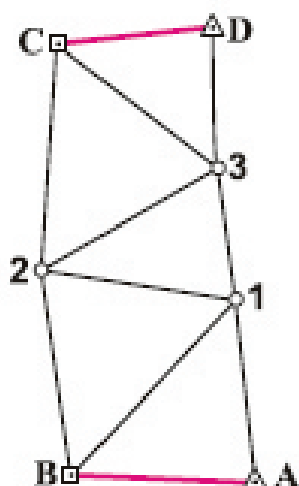


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2512,54	4135,29
B	2547,40	3503,97
C	3569,92	3463,30
D	3606,71	3838,99

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	81	30,3		2	68	22,1
B	2	0	00,0	C	D	135	16,5
	1	51	59,2		D	185	40,4
1	A	100	53,9	D	3	0	00,0
	A	0	00,0		3	42	53,1
	B	49	35,6		2	99	07,1
	2	104	52,2		3	0	00,0
2	3	178	14,0	C	3	0	00,0
	C	0	00,0		3	86	44,2
	3	56	51,3				
	1	95	08,6				
	B	167	53,7				

Вариант 3.

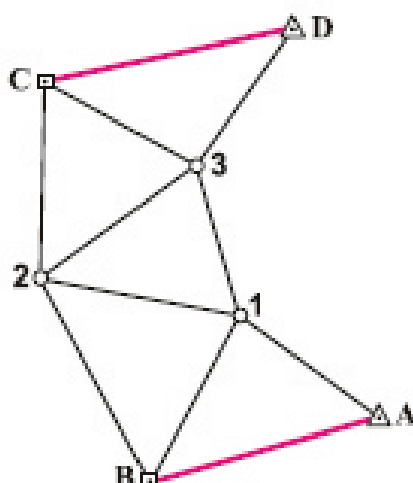


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2727,50	4208,88
B	2600,06	3708,16
C	3482,21	3486,37
D	3583,47	4034,59

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	51	14,6		2	68	57,0
B	2	0	00,0		C	134	08,9
	1	55	32,8		D	231	54,0
1	A	103	47,4	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	40	23,4
	B	80	32,3	D	2	103	01,7
	2	154	44,6		3	0	00,0
2	3	218	52,4		C	41	52,7
	C	0	00,0				
	3	52	09,5				
	1	99	05,9				
	B	149	21,7				



**Вариант 4.**

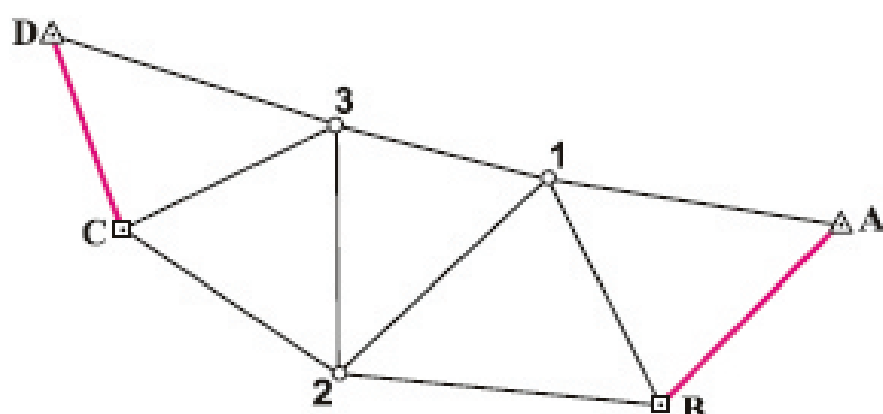


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3082,17	4160,54
B	2761,56	3865,06
C	3045,19	2957,85
D	3380,30	2831,61

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	54	51,4		2	75	04,2
B	2	0	00,0	C	D	138	56,7
	1	57	41,0		D	182	59,5
1	A	127	37,5	C	D	0	00,0
	B	55	13,6		3	83	23,1
	2	127	20,7	D	3	143	09,1
	3	186	20,3		3	0	00,0
2	C	0	00,0	C	3	52	35,3
	3	56	21,2				
	1	102	18,6				
	B	152	31,4				

**Вариант 5.**

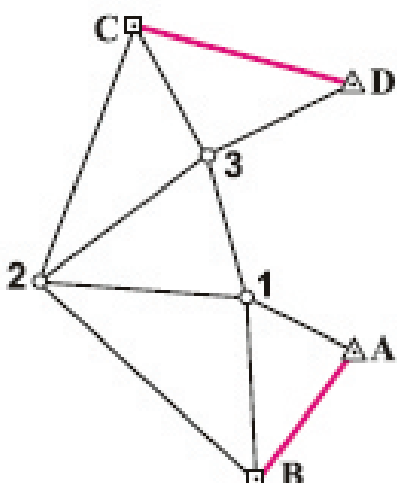


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2838,14	4195,39
B	2524,25	3966,8
C	3610,67	3658,89
D	3478,98	4181,76

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	80	52,1		2	67	59,3
B	2	0	00,0	C	D	167	27,9
	1	44	09,0		D	261	14,3
	A	84	12,0		D	0	00,0
1	A	0	00,0	D	3	46	09,9
	B	59	06,4		2	95	02,8
	2	155	48,8		3	0	00,0
	3	225	57,5		C	40	04,9
2	C	0	00,0				
	3	31	38,2				
	1	73	31,4				
	B	112	40,9				

Вариант 6.

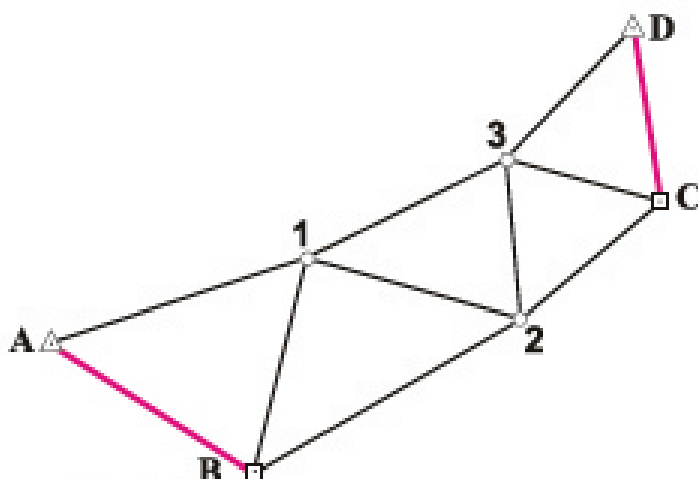


Рис. 17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2961,92	3064,36
B	2642,38	3536,88
C	3254,34	4499,36
D	3662,96	4445,14

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	1	0	00,0	3	D	0	00,0
	B	50	55,7		C	59	44,2
B	A	0	00,0	2	1	128	43,4
	1	70	48,6		1	197	36,5
1	2	116	27,7	C	2	0	00,0
	3	0	00,0		3	53	52,2
2	2	43	03,6	D	D	119	47,3
	B	130	27,0		C	0	00,0
3	A	188	44,2	D	3	54	21,9
	B	0	00,0				
D	1	46	58,4				
	3	115	02,9				
	C	172	10,9				

**Вариант 7.**

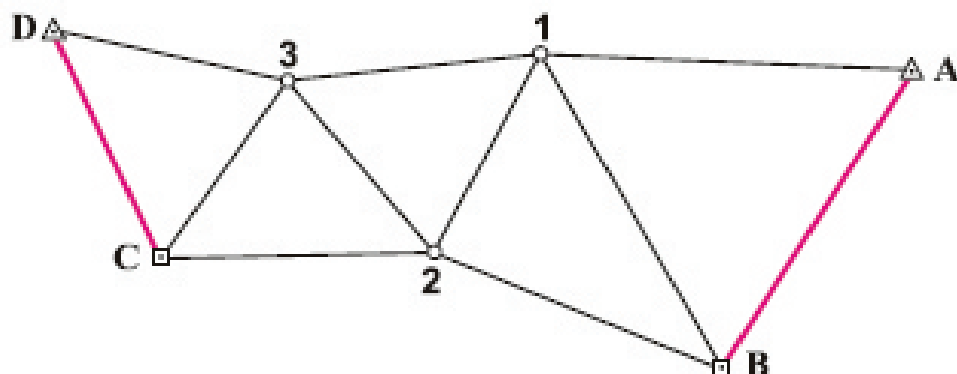


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3488,67	4584,57
B	2958,04	4232,11
C	3174,94	3250,27
D	3595,18	3066,30

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	60	20,6		2	56	27,0
B	2	0	00,0	C	D	131	21,4
	1	38	26,5		D	199	41,4
1	A	100	02,9	D	3	0	00,0
	B	58	04,5		2	113	38,3
2	C	0	00,0	C	3	0	00,0
	3	170	40,1		1	118	08,7
	1	118	08,7		B	203	32,5
	B	203	32,5				

**Вариант 8.**

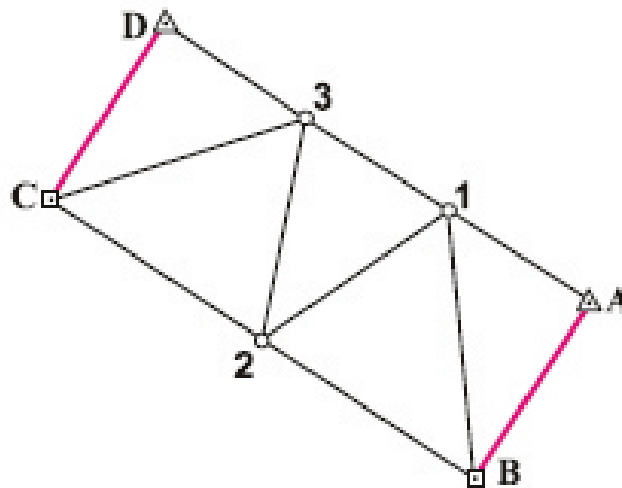


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2883,23	4278,36
B	2462,93	4007,53
C	3112,91	2998,81
D	3533,21	3269,64

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	90	06,8		2	68	12,3
B	2	0	00,0	C	D	128	40,2
	1	51	20,7		3	180	01,0
1	A	90	00,3	D	A	0	00,0
	3	38	39,6		3	38	39,6
	B	51	15,1		2	89	59,8
	2	111	43,5		3	0	00,0
2	3	179	55,8	C	3	0	00,0
	C	0	00,0		3	90	00,4
	3	68	11,7				
	1	111	47,9				
	B	180	00,1				

**Вариант 9.**

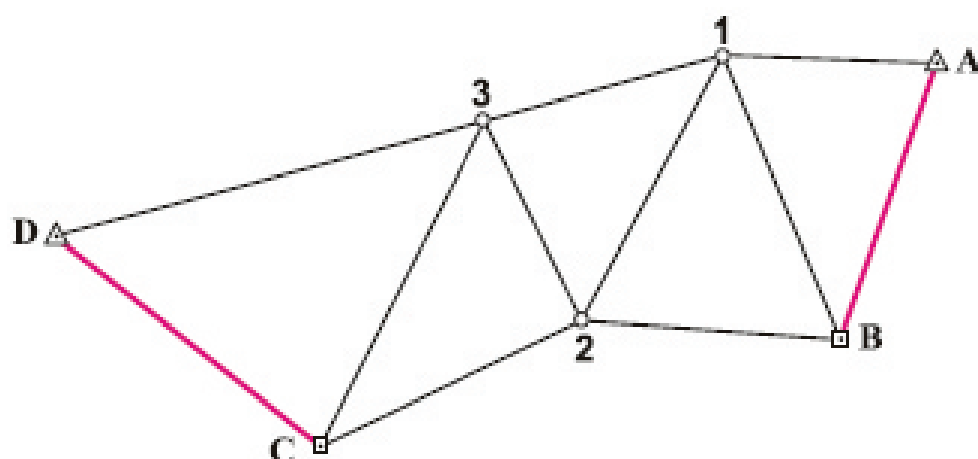


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3626,16	4629,11
B	3052,94	4425,77
C	2820,55	3333,54
D	3254,34	2768,06

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	72	36,8		2	80	04,5
B	2	0	00,0		C	133	26,9
	1	63	46,6		D	181	31,6
1	A	106	04,2	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	79	31,7
	B	65	07,1	2	116	40,0	
	2	115	52,1	D	3	0	00,0
3	161	29,2	C		52	24,8	
2	C	0	00,0				
	3	89	28,7				
	1	143	48,3				
	B	209	17,6				

**Вариант 10.**

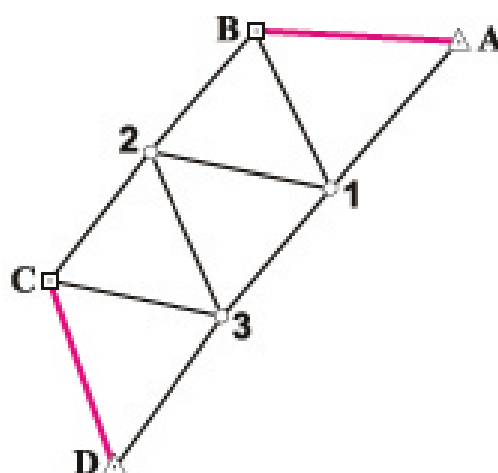


Рис. 17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3713,21	4564,24
B	3755,81	3969,71
C	3039,28	3344,20
D	2487,35	3536,36

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	1	0	00,0	3	D	0	00,0
	B	52	08,7		C	65	42,4
B	A	0	00,0		2	120	13,1
	1	62	30,8		1	184	23,9
	2	128	24,6	C	2	0	00,0
1	3	0	00,0		3	63	16,7
	2	61	58,7		D	122	20,2
	B	114	50,1	D	C	0	00,0
	A	180	12,1		3	55	15,3
2	B	0	00,0				
	1	61	15,7				
	3	115	07,4				
	C	177	19,4				

**Вариант 11.**

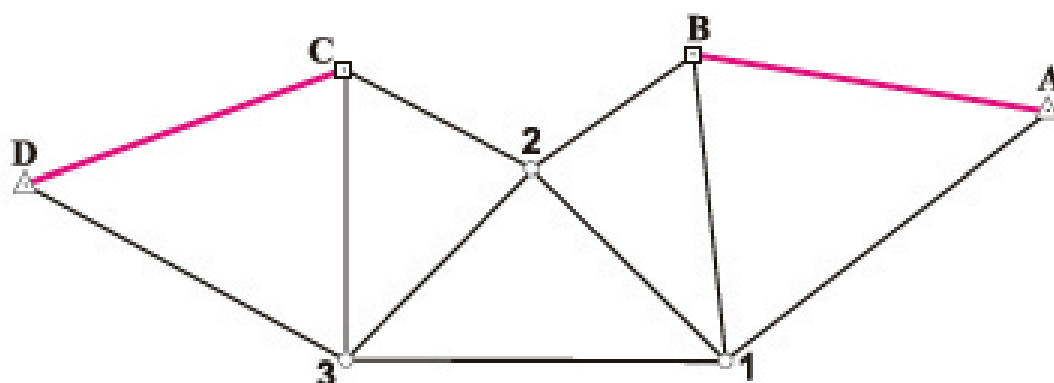


Рис.17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3515,70	4760,93
B	3649,33	3995,98
C	3626,09	3250,40
D	3387,89	2553,23

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	1	0	00,0	3	D	0	00,0
	B	46	31,5				C
B	A	0	00,0		2	105	42,6
	1	74	42,6			1	151
1	2	135	10,9	C	2	0	00,0
	3	0	00,0			3	62
	2	45	10,4		D	132	46,7
	B	84	02,4			D	C
	A	142	49,8		3	48	12,8
	2	B	0			00,0	
	1	80	40,6				
	3	170	01,1				
	C	243	19,6				



**Вариант 12.**

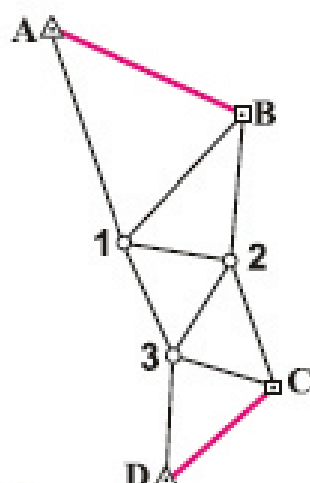


Рис.17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	4280,20	2919,11
B	3957,00	3633,27
C	2958,04	3747,97
D	2602,64	3349,03

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	47	02,7		2	56	26,8
B	2	0	00,0		C	131	21,2
	1	38	32,3		D	207	39,0
1	A	109	54,5	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	58	35,6
	B	61	36,6		2	112	41,3
	2	117	47,2		D	3	0
3	174	12,4	C	45		07,8	
2	C	0	00,0				
	3	50	59,3				
	1	118	08,5				
	B	203	26,5				

**Вариант 13.**

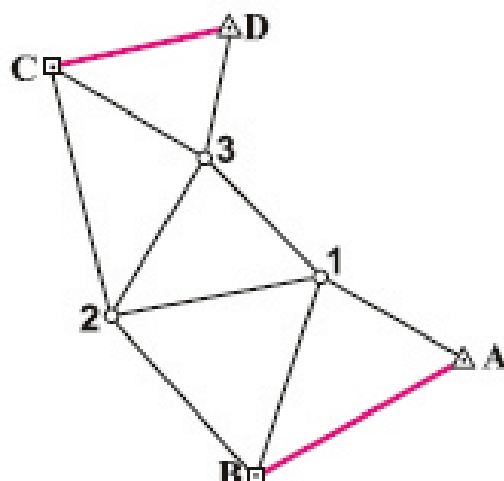


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2921,25	4543,90
B	2646,26	4053,95
C	3606,80	3581,42
D	3693,94	4001,66

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	59	34,1		2	74	45,5
B	2	0	00,0	C	D	165	17,1
	1	60	22,6		D	236	26,7
1	A	102	34,0	D	3	0	00,0
	A	0	00,0		3	42	35,3
	B	78	16,0		2	88	31,5
	2	138	51,2		3	0	00,0
2	3	195	22,9	C	3	66	16,3
	C	0	00,0				
	3	43	31,6				
	1	92	15,6				
	B	151	18,7				

**Вариант 14.**

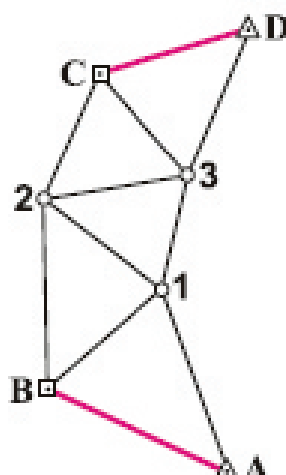


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2380,95	3862,23
B	2623,02	3335,48
C	3523,44	3482,66
D	3653,28	3918,39

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	44	54,8		2	67	44,5
B	2	0	00,0	C	D	125	49,4
	1	50	45,5		D	190	05,1
1	A	116	07,2	D	C	0	00,0
	A	0	00,0		3	65	12,6
	B	69	45,0		2	130	31,2
	2	146	47,3		3	0	00,0
2	3	213	15,4	C	C	50	32,9
	C	0	00,0				
	3	56	35,9				
	1	102	24,5				
	B	154	37,6				

**Вариант 15.**

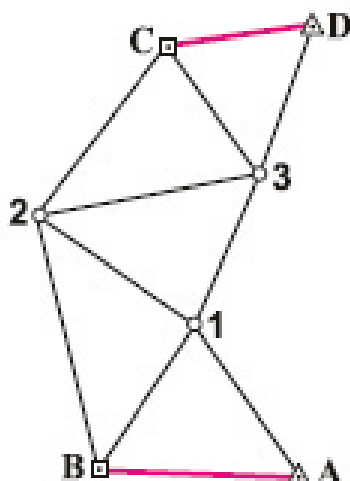


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2580,41	4208,88
B	2600,06	3708,16
C	3624,23	3889,34
D	3672,64	4249,54

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	53	3,3		2	55	54,1
B	2	0	00,0	C	D	119	23,7
	1	47	57,2		D	175	26,9
1	A	105	12,8	D	C	0	00,0
	A	0	00,0		3	61	34,9
	B	69	42,6		2	136	07,9
	2	159	20,2		3	0	00,0
2	3	239	17,5	C	3	62	23,1
	C	0	00,0				
	3	41	56,8				
	1	86	06,6				
	B	128	32,7				

**Вариант 16.**

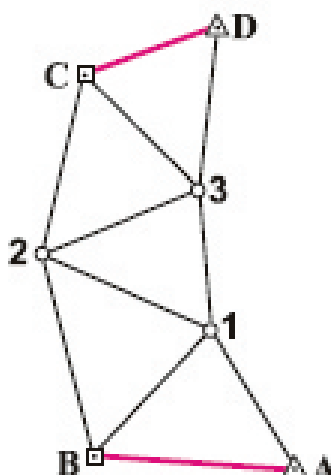


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2541,68	4028,77
B	2573,40	3512,64
C	3523,44	3482,66
D	3649,40	3821,56

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	54	20,3		2	72	20,2
B	2	0	00,0	C	D	0	00,0
	1	58	26,4		3	63	57,9
	A	108	24,0		2	123	11,6
1	A	0	00,0	D	3	0	00,0
	B	75	43,6		2	63	43,7
	2	145	18,2				
	3	206	56,7				
2	C	0	00,0				
	3	54	15,9				
	1	100	18,4				
	B	152	18,3				

**Вариант 17.**

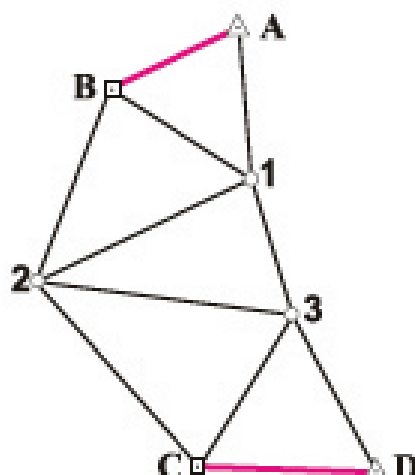


Рис. 17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3676,52	3798,32
B	3523,44	3482,66
C	2600,03	3708,16
D	2592,03	4144,97

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	1	0	00,0	3	D	0	00,0
	B	69	14,5		C	60	37,3
B	A	0	00,0		2	125	55,4
	1	57	31,1		1	191	51,3
	2	136	58,6	C	2	0	00,0
1	3	0	00,0		3	74	06,9
	2	81	00,6		D	133	31,8
	B	138	48,6	D	C	0	00,0
	A	192	04,5		3	59	59,0
2	B	0	00,0				
	1	42	45,4				
	3	75	50,1				
	C	116	24,5				

**Вариант 18.**

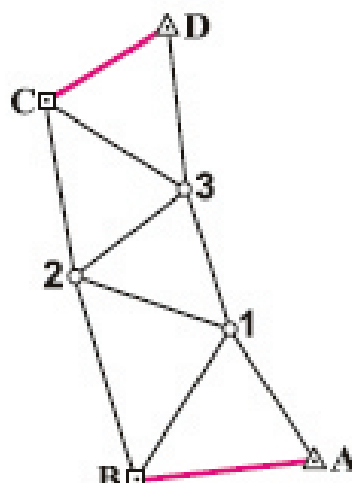


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2652,07	4144,97
B	2600,06	3708,16
C	3523,44	3482,66
D	3711,37	3782,83

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	63	23,0		2	70	18,6
B	2	0	00,0	C	D	138	49,7
	1	48	57,8		D	190	18,9
1	A	100	31,2	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	63	42,7
	B	65	05,1	D	2	112	42,9
	2	142	09,2		3	0	00,0
2	3	196	17,9	C	3	64	49,3
	C	0	00,0				
	3	62	28,1				
	1	118	02,0				
	B	172	01,0				

**Вариант 19.**

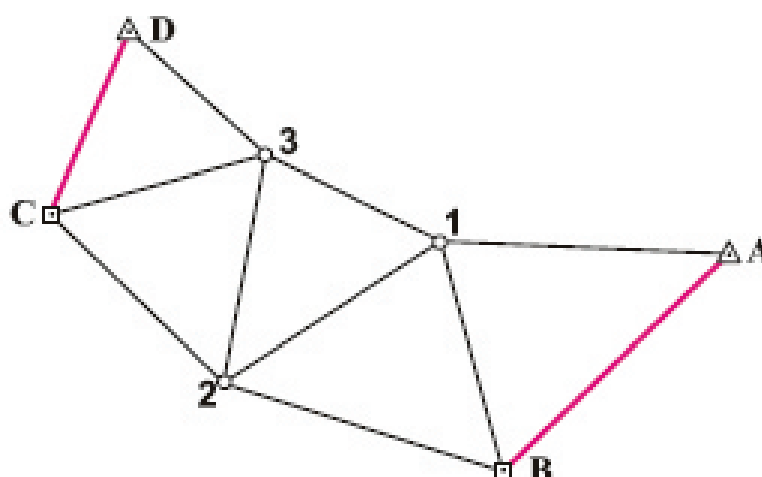


Рис. 15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2990,97	4127,54
B	2600,06	3708,16
C	3074,20	2884,35
D	3407,33	3031,44

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	46	06,5		2	75	04,7
B	2	0	00,0	C	D	138	49,7
	1	57	34,7		D	196	09,1
	A	119	17,7		D	0	00,0
1	A	0	00,0	D	3	51	29,0
	B	72	21,0		2	111	05,1
	2	144	34,8		3	0	00,0
	3	203	33,9		C	71	12,8
2	C	0	00,0				
	3	56	38,3				
	1	102	35,7				
	B	152	48,1				



**Вариант 20.**

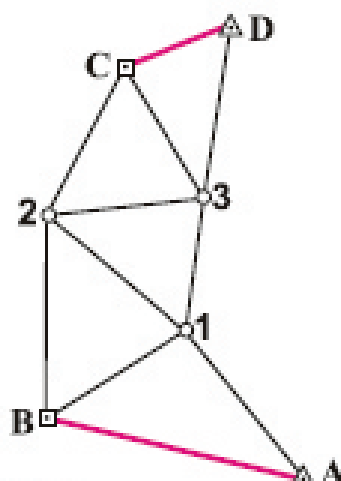


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2440,98	3974,55
B	2593,16	3287,60
C	3523,44	3482,66
D	3641,77	3766,68

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	37	47,0		2	75	10,7
B	2	0	00,0	C	D	138	55,7
	1	57	34,1		D	179	19,7
1	A	102	51,3	D	C	0	00,0
	A	0	00,0		3	79	50,7
	B	96	57,3		2	139	28,8
	2	169	11,9		3	0	00,0
2	3	228	05,0	C	3	59	46,5
	C	0	00,0				
	3	56	36,3				
	1	102	33,7				
	B	152	45,9				

**Вариант 21.**

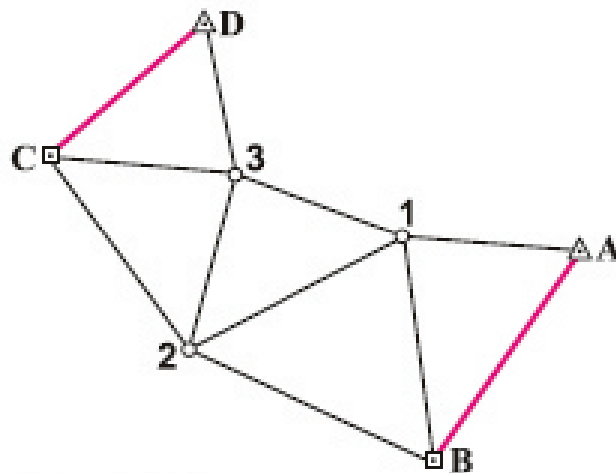


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3408,42	4746,32
B	2947,61	4424,87
C	3606,80	3581,42
D	3905,05	3926,21

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	59	26,6		2	85	11,1
B	2	0	00,0	C	C	165	17,3
	1	58	55,7		D	238	37,1
1	A	101	06,3	C	D	0	00,0
	A	0	00,0		3	45	56,2
	B	78	24,3	D	2	94	41,5
	2	147	14,6		3	0	00,0
2	3	195	30,2	C	C	60	45,2
	C	0	00,0				
	3	51	07,9				
	1	97	42,4				
	B	149	57,3				

**Вариант 22.**

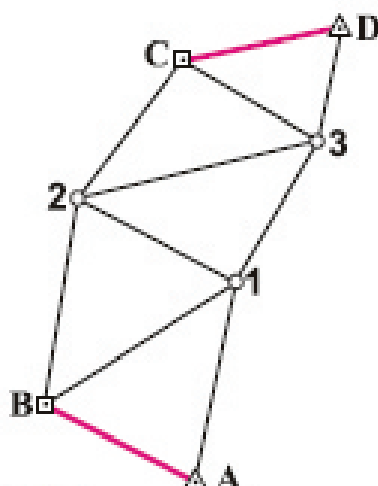


Рис.15.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 15.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	2493,26	3602,81
B	2700,47	3200,00
C	3606,80	3581,42
D	3693,94	4001,66

Таблица 15.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		
		°	'			°	'	
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0	
	1	75	12,5		2	46	31,4	
B	2	0	00,0		C	90	32,6	
	1	48	50,8		D	161	41,4	
1	A	107	40,7	C	D	0	00,0	
	A	0	00,0		3	42	35,3	
	B	45	59,1		2	140	16,9	
	2	105	06,2		D	3	0	00,0
2	3	197	57,5		C	66	17,1	
	C	0	00,0					
	3	38	16,6					
	1	78	55,1					
	B	150	58,1					

**Вариант 23.**

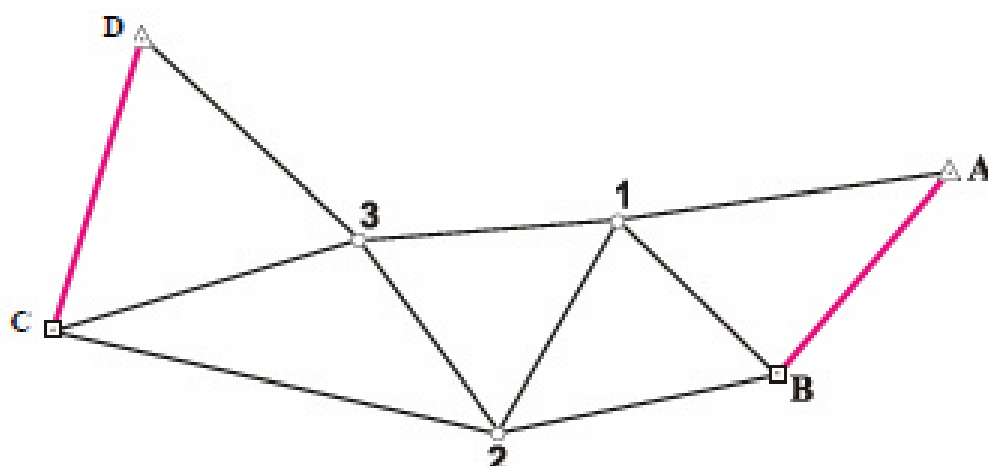


Рис. 17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3463,49	4524,54
B	3114,91	4210,81
C	3213,67	2934,61
D	3730,74	3106,96

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление	
		°	'			°	'
A	B	0	00,0	3	1	0	00,0
	1	41	12,2		2	59	03,5
B	2	0	00,0	C	D	167	24,1
	1	56	31,3		D	227	08,0
	A	142	54,4		D	0	00,0
1	A	0	00,0	D	3	55	46,8
	B	52	26,2		2	85	25,5
	2	127	11,8		3	0	00,0
	3	183	40,9		C	64	30,5
2	C	0	00,0				
	3	42	00,1				
	1	106	28,7				
	B	155	12,7				

**Вариант 24.**

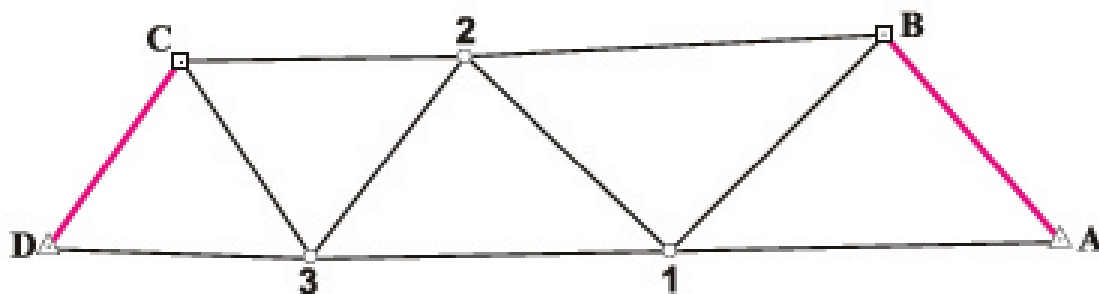


Рис.17.1. Схема цепочки треугольников.

Таблица 17.1.

Исходные данные:

пункты	Координаты	
	X	Y
A	3099,42	4538,09
B	3477,05	4216,62
C	3434,44	2944,29
D	3085,86	2700,28

Таблица 17.2.

Результаты измерений:

Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		Станция	Пункт наведения	Измеренное направление		
		°	'			°	'	
A	1	0	00,0	3	D	0	00,0	
	B	50	58,9		C	55	04,8	
B	A	0	00,0	2	1	124	47,5	
	1	84	58,1		1	176	44,5	
	2	127	36,7		C	2	0	00,0
1	3	0	00,0	3	3	57	47,7	
	2	45	26,2		D	125	37,8	
	B	135	46,6		D	C	0	00,0
	A	179	51,1			3	57	06,3
2	B	0	00,0					
	1	47	01,9					
	3	129	39,9					
	C	182	08,9					

## Лабораторная работа №16

### Тема: «Прямая угловая засечка».

**Задание 1.** Выполнить вычисления координат определяемого пункта по измеренным углам на исходных пунктах решением прямых геодезических задач.

Прямой угловой геодезической засечкой называют геодезическое построение для определения на местности положения отдельного пункта относительно двух исходных измерением на них углов между направлениями на исходный и определяемый пункт  $P$ . Это классический вариант прямой угловой засечки. В этом случае координаты определяемого пункта  $P$  будут вычислены лишь по необходимому числу исходных пунктов и измеренных углов. Несмотря на то, что положение пункта  $P$  определяется биполярным способом, но от одной и той же исходной стороны, они будут бесконтрольными. Такие засечки называют однократными-бесконтрольными (Лабораторная работа №4, рис.4.1). Поэтому на практике для контроля правильности определения координат засекаемого пункта необходимо использовать избыточные исходные пункты и выполнить измерения избыточных углов. Такие засечки называют многократными.

Прямой многократной засечкой называют определение положения пункта  $P$  измерением углов  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ , на определяемый пункт не менее чем с трех исходных пунктов  $A, B, C$  с их известными координатами (рис. 16.1).

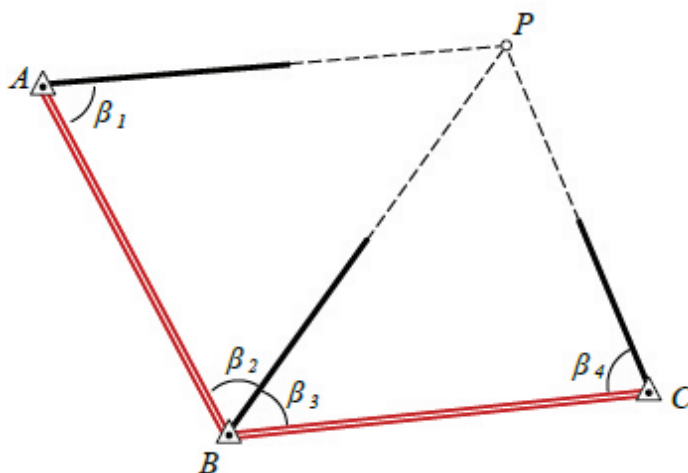


Рис. 16.1. Прямая геодезическая засечка с измеренными углами на исходных пунктах

Для выполнения задания координаты исходных пунктов для всех студентов приведены в таблице 16.1. Варианты измеренных углов каждый студент выбирает из таблицы 16.2, согласно порядковому номеру фамилии студента в списке группы.

Таблица 16.1

## Координаты исходных пунктов

Пункты	Координаты, м	
	X	Y
1	2	3
A	5778,67	2248,63
B	2600,06	3708,16
C	3191,04	7455,63

Таблица 16.2

## Варианты измеренных углов согласно порядковому номеру фамилии студента в списке группы

Вариант	Измеренные углы											
	$\beta_1$			$\beta_2$			$\beta_3$			$\beta_4$		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''
1	2			3			4			5		
1	89	22	25	50	57	31	54	44	35	81	58	18
2	88	17	01	52	34	52	53	07	13	83	57	07
3	86	53	49	54	16	34	51	25	32	85	47	33
4	85	16	38	55	59	46	49	42	20	87	26	08
5	83	29	02	57	41	41	48	00	23	88	49	05
6	81	34	17	59	19	35	46	22	30	89	52	13
7	79	35	27	60	50	30	44	51	34	90	31	03
8	77	35	32	62	11	31	43	30	34	90	40	50
9	75	37	26	63	19	24	42	22	41	90	17	02
10	73	44	11	64	10	54	41	31	13	89	15	54
11	71	58	52	64	42	36	40	59	28	87	35	41
12	70	24	51	64	51	17	40	50	48	85	17	59
13	69	05	45	64	34	01	41	08	05	82	29	04
14	68	05	28	63	48	40	41	53	23	79	20	16
15	67	28	11	62	34	46	43	07	18	76	06	46
16	67	18	13	60	53	54	44	48	10	73	04	45
17	67	39	37	58	50	27	46	51	38	70	28	01
18	68	35	36	56	31	42	49	10	21	68	25	49
19	70	07	34	54	07	16	51	34	48	67	02	16

Продолжение таблицы 16.2

1	2			3			4			5		
20	72	13	58	51	47	35	53	54	29	66	17	23
21	74	49	09	49	42	23	55	59	41	66	048	24
22	77	43	09	47	59	12	57	42	52	66	31	08
23	80	42	34	46	42	43	58	59	23	67	20	53
24	83	33	00	45	54	46	59	47	18	68	32	59
25	86	01	44	45	34	58	60	07	08	70	03	05
26	87	59	51	45	41	21	60	00	44	71	47	09
27	89	22	49	46	11	06	59	31	00	73	41	33
28	90	09	54	47	00	55	58	41	11	75	42	57
29	90	23	05	48	07	26	57	34	39	77	48	12
30	90	05	52	49	27	20	56	14	43	79	54	19

Координаты отдельного пункта  $P$  определяются дважды (см. рис. 16.1) из независимых решений треугольников  $APB$  и  $BPC$ . Это обеспечивает контроль, в первую очередь, угловых измерений и координат исходных пунктов, а также и вычислений. Пример вычисления координат определяемого пункта по измеренным углам на исходных пунктах решением прямых геодезических задач приведен в табл. 16.6 и 16.7.

Из треугольника  $APB$  координаты определяемого пункта  $P$  могут быть вычислены по двум сторонам засечки:

а) по левой стороне  $AP$  (относительно пункта  $A$ ):

$$\begin{aligned}x_P &= x_A + S_{AP} \cos \alpha_{AP}; \\y_P &= y_A + S_{AP} \sin \alpha_{AP};\end{aligned}\quad (16.1)$$

б) по правой стороне  $BP$  (относительно пункта  $B$ ):

$$\begin{aligned}x_P &= x_B + S_{BP} \cos \alpha_{BP}; \\y_P &= y_B + S_{BP} \sin \alpha_{BP};\end{aligned}\quad (16.2)$$

где  $S_{BP}$ ,  $S_{AP}$  – горизонтальные длины сторон засечки;  $\alpha_{AP}, \alpha_{BP}$  – дирекционные углы этих сторон. Их можно вычислить решением обратной геодезической задачи исходной стороны  $AB$  – базиса засечки. И решением треугольника  $APB$  по теореме синусов.

Алгоритм вычисления включает:

1. Решением обратной геодезической задачи, вычисляют дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  исходной стороны и ее горизонтальную длину  $S_{AB}$  по известным координатам ее концов  $(x_A, y_A; x_B, y_B)$ .



Для начала определяем румб  $r_{AB}$  стороны АВ по формуле:

$$\operatorname{tgr}_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad r_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}. \quad (16.3)$$

По знакам приращений координат определяют четверть, в которой располагается румб, и название румба (табл. 2.1). Используя зависимость между дирекционными углами и осевыми румбами (рис. 2.3), находим дирекционный угол  $\alpha_{AB}$ .

Длину исходной стороны (базис засечки) вычисляют (с целью контроля решения обратной геодезической задачи) по формулам:

$$S_{AB} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2}; \quad (16.4)$$

$$S_{AB} = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}. \quad (16.5)$$

2. Решая треугольник  $APB$  по теореме синусов (по длине исходной стороны  $S_{AB}$  и измеренным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ) вычисляют стороны засечки  $S_{AP}$  и  $S_{BP}$ :

$$S_{AP} = S_{AB} \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma}; \quad S_{BP} = S_{AB} \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma}; \quad (16.6)$$

где  $\gamma$  – угол при определяемом пункте  $P$ , равный:  $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$

3. Дирекционные углы сторон засечки вычисляют из выражений:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_1, \quad \alpha_{BP} = \alpha_{BA} + \beta_2 \quad \text{где } \alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ.$$

4. По формулам (16.1) и (16.2) дважды вычисляют координаты определяемого пункта  $P$ . Близкие значения координат, дают контроль вычислений. За результат принимаются средние значения координат.

5. Аналогично пунктам 1 – 4 такие же вычисления выполняют, используя треугольник  $BPC$ .

Для оценки точности и качества двукратной засечки (рис.16.1) вычисляют средние квадратические ошибки определения положения пункта  $P$  по первой засечке  $M_1$  и по второй –  $M_2$  по формуле:

$$M_P = \frac{b \cdot m_\beta}{\rho \cdot \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}, \quad (16.7)$$

где  $b$  – базис засечки;  $m_\beta$  – средняя квадратическая погрешность измерения углов,  $m_\beta = 2''$ ;  $\rho = 206265''$ ;  $\gamma$  – угол возле определяемого пункта  $P$ .

Общую ошибку вычисляем по формуле:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}. \quad (16.8)$$

Далее согласно принятой доверительной вероятности ( $c_0=0,997$ ,  $c_0=0,95$ ,  $c_0=0,90$ ) и соответствующим им коэффициентам пропорциональности ( $\sigma=3$ ,  $\sigma=2,5$ ,  $\sigma=2,0$ ) вычисляют предельную ошибку положения пункта Р:

$$M_{пред} = \sigma M . \quad (16.9)$$

Вычисляют разности координат пункта Р, вычисленных из двух определений:

$$\sigma_x = x''_P - x'_P, \quad \sigma_y = y''_P - y'_P . \quad (16.10)$$

Абсолютную разность:

$$r = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} , \quad (16.11)$$

где  $x''_P, x'_P, y''_P, y'_P$  - значения абсцисс и ординат пункта Р, вычисленных во второй (треугольник ВСР) и первый (треугольник АВР) засечках соответственно.

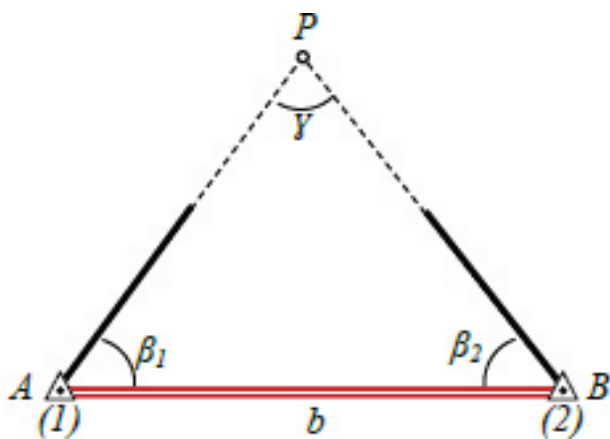
При выполнении условия:  $r \leq M_{пред}$ , определение положения отдельного пункта Р двукратной засечкой полагают удовлетворительным. За окончательные значения координат определяемого пункта Р принимают средние арифметические значения из двух решений:

$$x_P = \frac{x'_P + x''_P}{2} ; \quad y_P = \frac{y'_P + y''_P}{2} . \quad (16.12)$$

**Задание 2.** Выполнить решение прямой геодезической засечки по измеренным углам на исходных пунктах по формулам Юнга.

Вычисление координат искомого пункта Р ( $x_P, y_P$ ) по формулам Юнга (формулы котангенсов измеренных углов) не требует предварительного решения треугольников. Для этого необходимо соблюдать правило нумерации исходных пунктов: если встать в середину линии между исходными пунктами А и В лицом к определяемому пункту Р, то исходный пункт слева будет *первым*, а справа – *вторым* (см. рис. 16.2).

Для выполнения второго задания используются те же исходные данные, что и в первом задании (табл. 16.1 и 16.2) Решение прямой угловой засечки по формулам Юнга удобно выполнять в специальном формуляре. Пример вычисления координат пункта Р, определенного прямой двукратной угловой геодезической засечкой с использованием формулы Юнга приведен в табл. 16.8. Цифры в скобках означают последовательность операций. Оценка точности и качества двукратной засечки выполняется аналогично как в задании 1 по формулам 16.7 – 16.11.



$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}, \\ y_P &= \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \end{aligned} \right\} (16.13)$$

Рис. 16.2. Прямая геодезическая засечка с двух точек и формулы Юнга (формулы котангенсов)

**Задание 3.** Выполнить решение прямой геодезической засечки по дирекционным углам с исходных пунктов на определяемый пункт.

На практике может случиться так, что для определения положения отдельного пункта имеется достаточное число исходных пунктов ( $A$ ,  $B$  и  $C$ ), закрепленных на местности. С них виден определяемый пункт, но между ними нет взаимной видимости. К тому же определяемый пункт (по стечению обстоятельств) недоступен для измерений на нем, но с каждого из исходных пунктов ( $A$ ,  $B$  и  $C$ ) имеются видимости на другие пункты (1, 2 и 3) геодезической основы (включая местные объекты-ориентиры). В таком случае на каждом исходном пункте  $A$ ,  $B$  и  $C$  измеряют угол между направлениями на определяемый и ориентирный пункты (см. рис.16.3). Желательно чтобы  $\beta_A$ ,  $\beta_B$  и  $\beta_C$  были одноименными – левыми или правыми.

Решение необходимо выполнить по формулам тангенсов дирекционных углов (формулам Гаусса). Пример решения прямой геодезической засечки по формулам Гаусса приведен в табл.16.9. Координаты исходных пунктов для всех студентов приведены в табл.16.4. Варианты измеренных углов каждый студент выбирает из таблицы 16.5, согласно порядковому номеру фамилии студента в списке группы.

Для заполнения таблицы 16.9 исходными данными необходимо, решая обратную геодезическую задачу, предварительно вычислить исходные дирекционные углы  $\alpha_{01}$ ,  $\alpha_{02}$  и  $\alpha_{03}$  (формула 16.3). Дирекционный угол последующей стороны  $\alpha_i$  равен дирекционному углу предыдущей стороны  $\alpha_{0i}$  плюс или минус  $180^\circ$  и плюс левый по ходу угол ( $\beta_i$ ) (или минус правый по ходу угол).

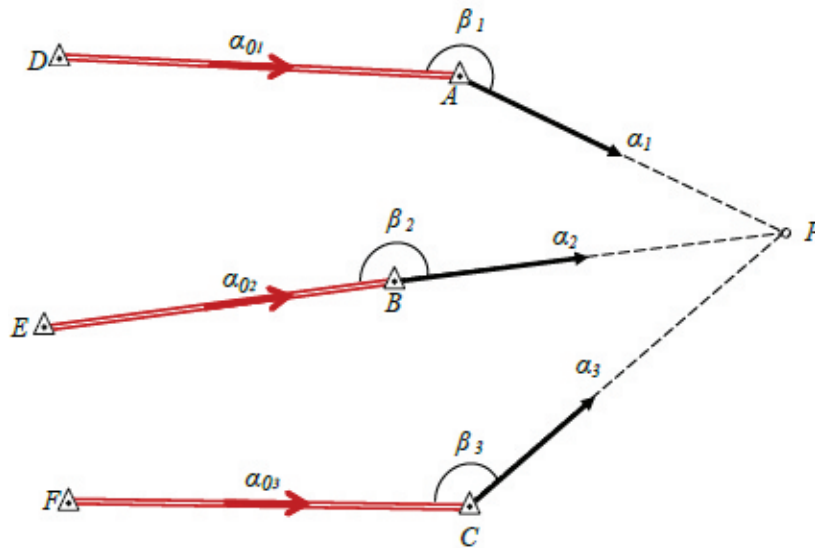


Рис. 16.3. Определение положения отдельного пункта  $P$  прямой многократной угловой засечкой по дирекционным углам с исходных пунктов на определяемый

Таблица 16.3

Координаты исходных пунктов

Пункты	Координаты, м	
	X	Y
1	2	3
D	9900,00	8200,00
E	9100,00	1700,00
F	1100,00	4900,00
A	8000,00	7000,00
B	6800,00	2800,00
C	2000,00	2500,00

Таблица 16.4

Варианты измеренных углов согласно порядковому номеру фамилии студента в списке группы

Вариант	Измеренные углы								
	$\beta_1$			$\beta_2$			$\beta_3$		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''
1	2			3			4		
1	187	38	59	146	05	02	284	01	56
2	185	06	01	144	34	32	285	57	12
3	182	09	10	143	55	19	288	00	13

Продолжение табл. 16.4

1	2			3			4		
4	179	01	45	144	00	51	290	07	30
5	175	59	08	144	43	52	292	16	19
6	173	15	47	145	57	23	294	23	33
7	171	02	29	147	35	13	296	26	10
8	169	25	18	149	32	02	298	20	58
9	168	25	52	151	43	12	300	04	31
10	168	02	36	154	04	44	301	33	01
11	168	12	03	156	33	06	302	42	19
12	168	49	51	159	05	02	303	27	49
13	169	51	29	161	37	27	303	44	38
14	171	12	34	164	07	27	303	27	56
15	172	49	02	166	31	25	302	33	28
16	174	37	09	168	46	20	300	58	44
17	176	33	31	170	48	15	298	44	25
18	178	34	58	175	32	45	295	55	50
19	180	38	27	173	54	44	292	43	23
20	182	41	01	174	48	18	289	23	42
21	184	39	41	175	06	43	286	12	31
22	186	31	19	174	42	42	283	25	26
23	188	12	38	173	29	20	281	13	00
24	189	40	01	171	21	39	279	40	18
25	190	49	31	168	19	29	278	47	48
26	191	36	54	164	30	35	278	32	52
27	191	57	39	160	12	22	278	51	14
28	191	47	17	155	49	49	279	38	22
29	191	01	53	151	49	07	280	48	23
30	189	39	02	148	30	35	282	17	44

Таблица 16.6

Вычисления координат определяемого пункта по измеренным углам на исходных пунктах решением прямых геодезических задач и треугольника APB

Схема:		Рабочие формулы:	
		$r_{AB} = \arctg \frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}};$ $S_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2};$ $S_{AP} = S_{AB} \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma}; \quad S_{BP} = S_{AB} \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma};$ $\alpha_{AP} = S_{AB} - \beta_1; \quad \alpha_{BP} = S_{BA} + \beta_2;$ $X_P = X_A + S_{AP} \cos \alpha_{AP}; \quad Y_P = Y_A + S_{AP} \sin \alpha_{AP};$ $X_P = X_B + S_{BP} \cos \alpha_{BP}; \quad Y_P = Y_B + S_{BP} \sin \alpha_{BP}.$	
Наименование	Значение величин		
$X_B; Y_B$	4688,21		3987,85
$X_A; Y_A$	6906,77		3368,78
$\Delta X_{AB}; \Delta Y_{AB}$	-2218,56		619,07
$r_{AB}; S_{AB}$	15°35'29"		2303,31
$\alpha_{AB}=180- r_{AB};$	164°24'31"		
$\beta_1; \beta_2$	91°21'45"		51°09'39"
$\gamma$	37°28'36"		
$S_{AP}; S_{BP}$	2948,65		3784,54
$\alpha_{AP}; \alpha_{BP}$	73°02'46"		35°34'10"
$X_P; Y_P$	7766,60		6189,28
$X_P; Y_P$	7766,59		6189,28
$X_P^{cp.}; Y_P^{cp.}$	7766,60		6189,28

Таблица 16.7

Вычисления координат определяемого пункта по измеренным углам на исходных пунктах решением прямых геодезических задач и треугольника ВРС

Наименование		Значение величин	
$X_C; Y_C$		4516,27	6584,80
$X_B; Y_B$		4688,21	3387,85
$\Delta X_{BC}; \Delta Y_{BC}$		-171,94	2596,95
$r_{BC}; S_{BC}$		86°12'43"	2602,58
$\alpha_{BC}=180-r_{BC};$		93°47'16"	
$\beta_3; \beta_4$		58°13'15"	79°16'22"
$\gamma$		42°30'23"	
$S_{BP}; S_{CP}$		3784,52	3274,39
$\alpha_{BP}; \alpha_{CP}$		35°34'02"	353°03'39"
$X_P; Y_P$		7766,74	6189,19
$X_P; Y_P$		7766,74	6189,19
$X_P^{cp.}; Y_P^{cp.}$		7766,74	6189,19

Оценка точности, качества засечки и результата:

1. Средние квадратические ошибки определения положения пункта  $P$ : по обоим засечкам  $M_1=0,07м$ ,  $M_2=0,07м$ , общая из двух засечек  $M=0,10м$ . Критерий точности:  $M_{пред}=0,25м$  (с доверительной вероятностью  $c_0=0,95$ , коэффициентом  $\sigma=2,5$ ).

1. Разности координат пункта  $P$ , вычисленных из двух засечек: по осям координат  $\delta_x = -0,14м$ ,  $\delta_y = +0,09м$ ; абсолютная разность  $r = 0,17м$ ;  $r \leq M_{пред}$  – условие выполняется.

**Выводы:** – геометрия засечек близка к оптимальной ( $\gamma$  и  $\gamma'$ );  
– контроли выполняются.

2. Результат (среднее значение координат пункта  $P$  и ошибка):  
 $X_P = 7466,64м$ ;  $Y_P = 6189,26м$ ;  $M = 0,10м$ ;  $M_{пред.} = 0,25м$ .

## Решение прямой угловой засечки по формулам Юнга

Схема засечки:		Рабочие формулы:		
		$x_p = \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}$		
		$y_p = \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}$		
		Средняя квадратическая ошибка определения пункта P:		
		$M_p = \frac{bm_p}{\rho \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}$		
		$m_p = 2'', c_0 = 0,95, \sigma = 2,5$		
Вычисление координат пункта P двукратной угловой засечкой				
Название пункта	Угол засечки	Абсцисса пункта, м		Ордината пункта, м
	$\beta_1$	1	$\operatorname{ctg} \beta_1$	1
	$\beta_2$	2	$\operatorname{ctg} \beta_2$	2
	$\gamma$	3	$\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2$	3
1	2	3	4	5
По первой засечке (с исходной стороны АВ)				
(1) А	(4) 90°05'52"	(6) 5778,67	(11) -0,001707	(8) 2248,63
(2) В	(5) 49°27'20"	(7) 2600,06	(12) 0,855423	(9) 3708,16
(3) P	(10) 40°26'48"	(14) 7494,65	(13) 0,853716	(15) 5968,98
По второй засечке (с исходной стороны ВС)				
(1) В	(4) 56°14'43"	(6) 2600,06	(11) 0,668298	(8) 3708,16
(2) С	(5) 79°54'19"	(7) 3191,04	(12) 0,178032	(9) 7455,63
(3) P	(10) 43°50'58"	(14) 7494,63	(13) 0,846330	(15) 5969,04
Оценка точности, качества засечки и результата				
4. Средние квадратические ошибки определения положения пункта P:				
по обоим засечкам $M_1 = 0,07\text{ м}$ , $M_2 = 0,06\text{ м}$ , общая из двух засечек $M = 0,09\text{ м}$ .				
Критерий точности: $M_{\text{пред}} = 0,23\text{ м}$ (с доверительной вероятностью $c_0 = 0,95$ ).				
5. Разности координат пункта P, вычисленных из двух засечек:				
по осям координат $\delta_x = +0,02\text{ м}$ , $\delta_y = -0,06\text{ м}$ ; абсолютная разность $r = 0,06\text{ м}$ ;				
$r \leq M_{\text{пред}}$ – условие выполняется.				
Выводы: – геометрия засечек близка к оптимальной (см. $\gamma$ и $\gamma'$ );				
– контроли выполняются.				
6. Результат (среднее значение координат пункта P и ошибка):				
$X_p = 7494,64\text{ м}$ ; $Y_p = 5969,01\text{ м}$ ; $M = 0,09\text{ м}$ ; $M_{\text{пред}} = 0,23\text{ м}$ .				



Таблица 16.9

Решение прямой геодезической засечки по дирекционным углам направлений на определяемый пункт  $P$  применением формул Гаусса

Схема засечки:		Рабочие формулы:				
		1. Вычисление дирекционных углов засечки: $\alpha_1 = \alpha_0 + \beta_1 - 180^\circ$				
		2. Вычисление координат пункта $P$ – ф. Гаусса: $x_P = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha_2 + y_2 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2};$ $y_P = y_1 + (x_P - x_1) \operatorname{tg} \alpha_1;$ $y_P = y_2 + (x_P - x_2) \operatorname{tg} \alpha_2.$				
		3. Ошибка положения пункта $P$ : $M_P = \frac{bm_P}{\rho \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}.$				
<b>Вычисление координат определяемого пункта <math>P</math></b>						
Название пункта	$\alpha_{01}$ $\beta_1$ ( $\beta_2$ )	$\alpha_{02}$ $\beta_2$ ( $\beta_3$ )	Абсцисса пункта A (B) B (C) P	$\operatorname{tg} \alpha_1$ $\operatorname{tg} \alpha_2$ $\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2$	$y_{(2)} - y_{(1)}$ $x_P - x_{(1)}$ $x_P - x_{(2)}$	Ордината пункта, м A (B) B (C) P
1	2	3	4	4	5	6
Решение I засечки (от исходных пунктов A и B)						
A (1)	212°16'32"	154°26'24"	7867,73	+0,898072	-4200,00	6867,73
B (2)	189°39'02"	148°30'35"	6667,73	-1,542827	-2479,17	2667,73
P	221°55'34"	122°56'59"	5388,56	+2,440899	-1279,17	4641,26
Решение II засечки (от исходных пунктов B и C)						
B (1)	154°26'24"	290°33'22"	6667,73	-1,542827	-300,00	2667,73
C (2)	148°30'35"	282°17'44"	1867,73	+0,645733	-1279,16	2367,73
P	122°56'59"	32°51'06"	5388,57	-2,188560	+3520,84	4641,25

Вычисление координат определяемого пункта  $P$ .

Оценка точности, качества засечки и результата:

- Средние квадратические ошибки определения положения пункта  $P$ :  
по обеим засечкам  $M_1=0,02\text{м}$ ,  $M_2=0,05\text{м}$ , общая из двух засечек  

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad M=0,05\text{м}.$$

Критерий точности:  $M_{\text{пред}}=2,5M$ ,  $=0,13\text{м}$  (с доверительной вероятностью  $c_0=0,95$ ).

- Разности координат пункта  $P$ , вычисленных из двух засечек:  
по осям координат  $\delta_x = -0,01\text{м}$ ,  $\delta_y = +0,01\text{м}$ ; абсолютная разность  $r = 0,01\text{м}$ .

Условие:  $r \leq M_{\text{пред}}$  – условие выполняется.

3. Качество засечки: а) геометрия засечек удовлетворительная (треугольники засечек  $ABP$  и  $BCP$  близки к равносторонним); б) контроли выполняются.
4. Результат: средние значения координат пункта  $P$  и ошибки:  
 $x_P=5388,56$ ,  $y_P=4641,26$ ;  $M=0,05$ ,  $M_{пред}=0,13$  м.

### Лабораторная работа № 17

Тема: «Обратная геодезическая засечка (задача Потенота)».

**Задание 1.** Вычислить координаты пункта  $P$  методом обратной геодезической угловой засечкой по трём пунктам с известными координатами.

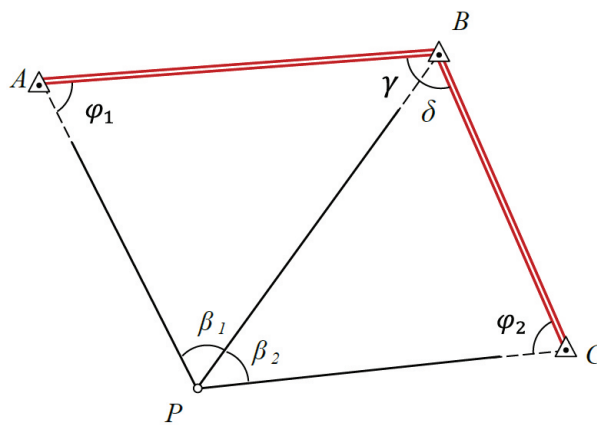


Рис. 17.1. Обратная геодезическая засечка по трём пунктам

Для выполнения задания каждый студент вычисляет координаты исходных пунктов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , по формулам:

$$\begin{aligned} X_A &= 5778,67 + f; X_B = 2600,06 + f; X_C = 3191,04 + f; \\ Y_A &= 2248,63 + f; Y_B = 3708,16 + f; Y_C = 7455,63 + f; \end{aligned} \quad (17.1)$$

$$f=1234,56 \cdot N,$$

где  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Измеренные углы на пункте  $P$  для всех студентов одинаковые:

$$\beta_1 = 55^\circ 45' 10''; \beta_2 = 61^\circ 22' 56''.$$

Задача решается в следующей последовательности.

1. Вычисляют дирекционные углы и горизонтальные длины исходных сторон по известным координатам их концов решением обратных геодезических задач по формулам 11.04-11.06 и пояснениям к ним:

$$r_{AB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}, r_{AB} \Rightarrow \alpha_{AB}; r_{BC} = \arctg \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}, r_{BC} \Rightarrow \alpha_{BC}; \quad (17.2)$$

$$S_{AB} = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}; \quad (17.3)$$

$$S_{BC} = \frac{y_C - y_B}{\sin \alpha_{BC}} = \frac{x_C - x_B}{\cos \alpha_{BC}} = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2}; \quad (17.4)$$

$$\alpha'_{AB} = \arccos \frac{x_B - x_A}{S_{AB}}, \alpha'_{AB} \Rightarrow \alpha_{AB}; \alpha'_{BC} = \arccos \frac{x_C - x_B}{S_{BC}}, \alpha'_{BC} \Rightarrow \alpha_{BC}. \quad (17.5)$$

Здесь под символом  $\Rightarrow$  указывается переход по известным правилам от вычисленных величин к искомым (необходимым).

2. Вычисляют значение горизонтального угла  $A-B-C$  между исходными сторонами:

$$\angle A-B-C = \gamma + \delta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC}. \quad (17.6)$$

3. Вычисляют горизонтальные углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  при исходных пунктах  $A$  и  $C$  из четырехугольника  $ABCP$  (рис. 17.1).

Идеей процедуры является получение выражений полусумм и полуразностей этих углов. А затем:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}, \varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}. \quad (17.7)$$

Для реализации этой идеи поступают следующим образом:

а) из четырехугольника  $ABCP$  вычисляют сумму углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  из выражения:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 360^\circ - (\gamma + \delta) - (\beta_1 + \beta_2); \quad (17.8)$$

б) полуразность углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  вычисляют по формуле:

$$1/2(\varphi_1 - \varphi_2) = \arctg(\operatorname{tg} 1/2(\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \operatorname{ctg}(45^\circ + \theta)), \quad (17.9)$$

где  $\theta$  – вспомогательный угол

$$\theta = \arctg \frac{S_{AB} \sin \beta_2}{S_{BC} \sin \beta_1}, \quad (17.10)$$

в) выполняют контроль вычисления углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ :

$$\frac{S_{BC} \sin \beta_1}{S_{AB} \sin \beta_2} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}. \quad (17.11)$$

4. Вычисляют углы  $\gamma$  и  $\delta$  из треугольников  $ABP$  и  $BCP$ :

$$\gamma = 180^\circ - (\varphi_1 + \beta_1), \delta = 180^\circ - (\varphi_2 + \beta_2). \quad (17.12)$$

Контроль вычисления  $\gamma$  и  $\delta$  согласно с выражением:

$$\gamma - \delta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC}. \quad (17.13)$$

5. Вычисляют дирекционные углы  $\alpha_{AP}$  и  $\alpha_{CP}$  сторон засечки:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \varphi_1, \quad \alpha_{CP} = \alpha_{CB} - \varphi_2. \quad (17.14)$$

Контроль:  $\alpha_{CP} - \alpha_{AP} = \beta_1 + \beta_2$ .

6. Решением треугольников  $ABP$  и  $BSP$  по теореме синусов, вычисляют стороны засечек:

$$S_{AP} = \frac{S_{AB}}{\sin \beta_1} \sin \gamma; \quad S_{CP} = \frac{S_{BC}}{\sin \beta_2} \sin \delta; \quad S_{BP} = \frac{S_{AB} \sin \varphi_1}{\sin \beta_1} = \frac{S_{BC} \sin \varphi_2}{\sin \beta_2}. \quad (17.15)$$

Заметим, что смежная сторона треугольников засечки  $S_{BP}$  вычисляется дважды из двух треугольников, что является контролем вычислений исходных данных, измеренных углов засечки.

7. Вычисляют решением прямых геодезических задач координаты определяемого пункта  $P$  дважды:

а) по стороне  $AP$  относительно пункта  $A$ :

$$x_P = x_A + S_{AP} \cos \alpha_{AP}, \quad y_P = y_A + S_{AP} \sin \alpha_{AP}; \quad (17.16)$$

б) по стороне  $CP$  относительно пункта  $C$ :

$$x_P = x_C + S_{CP} \cos \alpha_{CP}, \quad y_P = y_C + S_{CP} \sin \alpha_{CP}.$$

**Задание 2.** Вычислить координаты пункта  $P$  методом обратной геодезической угловой засечкой используя формулы Юнга и Гаусса.

Координаты исходных пунктов приведены в табл.17.1

Значения измеренных углов вычисляют по формулам:

$$\gamma_1 = 91^\circ + N^\circ + (07'11'') \cdot N; \quad \gamma_2 = 94^\circ + N^\circ + (03'13'') \cdot N, \quad (17.17)$$

де  $N$  – номер фамилии студента в списке группы.

Значение измеренного угла  $\gamma_3$ , между направлениями на исходный пункт  $C$  и на контрольный пункт  $E$  выбирается из табл.17.2.

Задача решается в следующей последовательности.

1. Определяют координаты точки  $K$ , расположенной на опорном круге (рис. 17.2), по формуле Юнга:

$$X_K = \frac{X_A \cdot ctg \gamma_1 + X_C \cdot ctg \gamma_2 + Y_A - Y_C}{ctg \gamma_1 + ctg \gamma_2}; \quad (17.18)$$

$$Y_K = \frac{Y_A \cdot ctg \gamma_1 + Y_C \cdot ctg \gamma_2 + X_C - X_A}{ctg \gamma_1 + ctg \gamma_2}.$$

Вычисляют дирекционный угол линии  $BK$ , решая обратную геодезическую задачу:

$$tg\alpha_{BK} = \frac{Y_K - Y_B}{X_K - X_B}; \quad (17.19)$$

учитывая при этом связь румба и дирекционного угла.

2. Так как точки  $B, P$ , и  $K$  (рис.17.1) лежат на одной линии и отрезки линии  $BP$  и  $BK$  имеют одинаковый дирекционный угол  $\alpha_{BP} = \alpha_{BK}$ , тогда:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{BP} + \gamma_1; \quad \alpha_{CP} = \alpha_{BP} - \gamma_2; \quad (17.20)$$

3. Вычисляют координаты определяемого пункта дважды из треугольников  $PAB$  и  $PCB$  по формулам Гаусса:

$$X_P^1 = \frac{X_A \cdot tg\alpha_{AP} - X_B \cdot tg\alpha_{BP} + Y_B - Y_A}{tg\alpha_{AP} - tg\alpha_{BP}}; \quad Y_P^1 = (X_P - X_A) \cdot tg\alpha_{AP} + Y_A. \quad (17.21)$$

$$X_P^2 = \frac{X_C \cdot tg\alpha_{CP} - X_B \cdot tg\alpha_{BP} + Y_B - Y_C}{tg\alpha_{CP} - tg\alpha_{BP}}; \quad Y_P^2 = (X_P - X_C) \cdot tg\alpha_{CP} + Y_C.$$

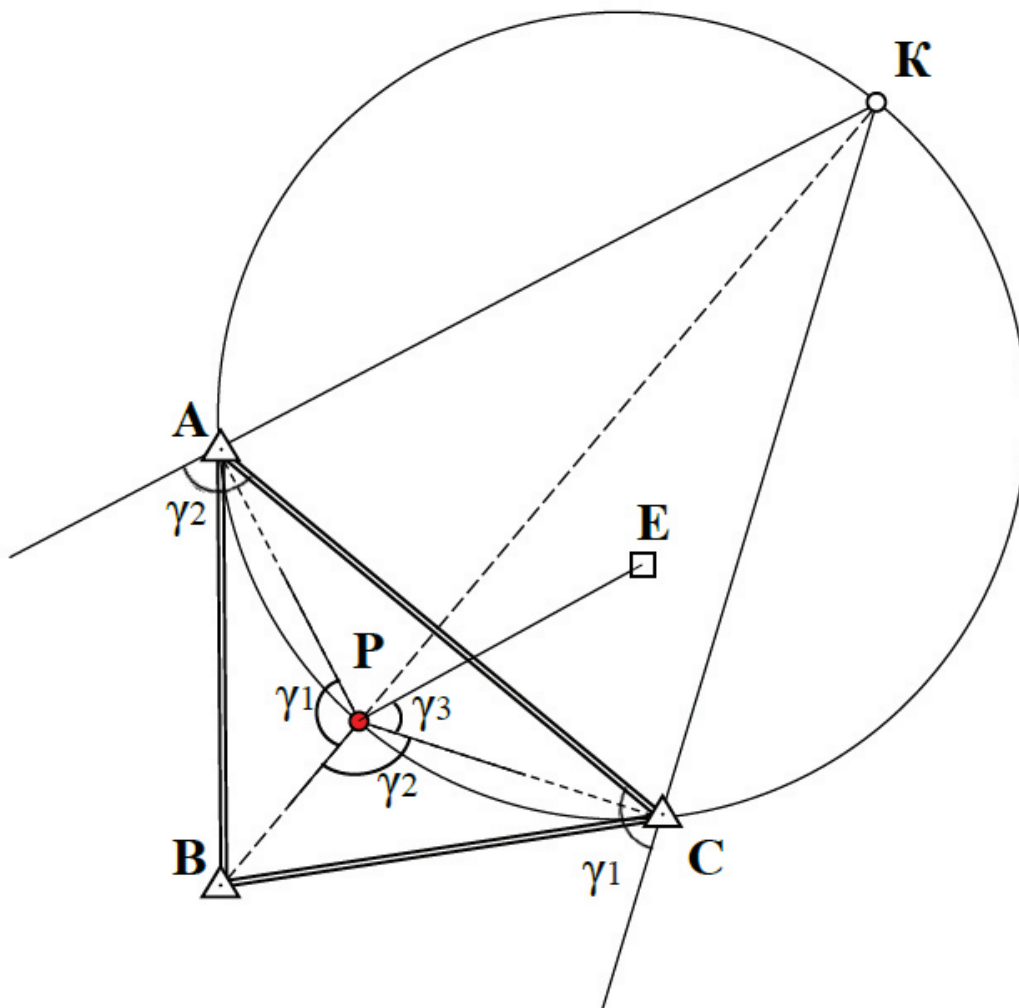


Рис. 17.2. Схема определения положения пункта обратной засечкой

Таблица 17.1

Координаты исходных пунктов:

Пункты	Координаты	
	X	Y
A	3800241,97	1622086,98
B	3795877,13	1621220,31
C	3796150,48	1625372,64
E	3798000,00	1626000,00

5. Контроль заключается в сравнении дирекционного угла линии  $PE$ , вычисленного по координатам точек  $P$  и  $E$  (обратная геодезическая задача), и по формуле: .

Таблица 17.2

Значение измеренного угла  $\gamma_3$ , между направлениями на исходный пункт  $C$  и на контрольный пункт  $E$ , согласно номера фамилии студента в списке группы

№ → в списке	1			2			3			4			5		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''
$\gamma_3$	50	47	24	50	08	28	49	29	33	48	50	37	48	11	37
№ → в списке	6			7			8			9			10		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''
$\gamma_3$	47	32	32	46	53	22	46	14	04	45	34	40	44	55	07
№ → в списке	11			12			13			14			15		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''
$\gamma_3$	44	15	26	43	35	37	42	55	39	42	15	33	41	35	18
№ → в списке	16			17			18			19			20		
	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''	°	'	''
$\gamma_3$	40	54	55	40	14	23	39	33	44	38	52	58	38	12	04

## Лабораторная работа № 18

Тема: «Обратная геодезическая засечка (задача Ганзена)».

**Задание.** Вычислить координаты пунктов  $P$  и  $Q$  методом обратной геодезической угловой засечкой по двум пунктам с известными координатами.

Решение задачи Ганзена позволяет определить положение двух дополнительных точек  $P$  и  $Q$  при наличии видимости с каждой из них на исходные пункты  $A$  и  $B$  и видимости между ними (рис. 18.1).

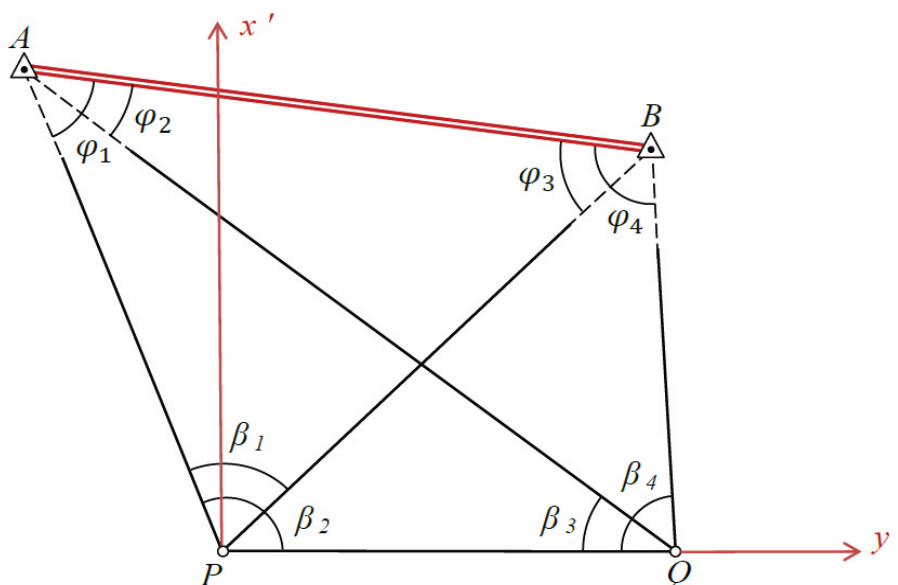


Рис. 18.1. Обратная геодезическая засечка определение двух точек по двум исходным пунктам

Задание необходимо выполнить способом условных координат, сущность которого сводится к вычислению координат точек в условной и истинной системе по формулам прямой геодезической засечки и определение дирекционных углов решением обратных геодезических задач.

Исходные данные приведены в таблицах 18.1 и 18.2.

Таблица 18.1

Координаты исходных пунктов:

Пункты	X, м	Y, м
<b>A</b>	470778,67	667248,63
<b>B</b>	470894,71	668742,52

Таблица 18.2

Измеренные углы:

Обозначение	Величина угла	
	°	'
$\beta_1$	55	15,4
$\beta_2$	108	19,5
$\beta_3$	46	16,2
$\beta_4$	100	30,9

Для контроля измерена длина  $d_{PQ} = 803,40$  м.

Задача решается в следующей последовательности:

1. Принимают точку  $P$  за начало условных координат  $x'y'$ , а направление  $PQ$  за положительное направление оси ординат (см. рис.18.1). Длину стороны  $PQ$  условно принимают равной 1000,00 м. Тогда условные координаты точек  $P$  и  $Q$  будут:

$$X'_P = 0; Y'_P = 0; X'_Q = 0; Y'_Q = 1000,00 \text{ м.}$$

2. Из треугольников  $PAQ$  и  $PBQ$  по формулам Юнга для решения прямой засечки находят условные координаты точек  $A$  и  $B$ :

$$X'_A = \frac{X'_P \cdot \text{ctg}\beta_3 + X'_Q \cdot \text{ctg}\beta_2 - Y'_P + Y'_Q}{\text{ctg}\beta_2 + \text{ctg}\beta_3}; Y'_A = \frac{Y'_P \cdot \text{ctg}\beta_3 + Y'_Q \cdot \text{ctg}\beta_2 + X'_P - X'_Q}{\text{ctg}\beta_2 + \text{ctg}\beta_3};$$

$$X'_B = \frac{X'_P \cdot \text{ctg}\beta_4 + X'_Q \cdot \text{ctg}(\beta_2 - \beta_1) - Y'_P + Y'_Q}{\text{ctg}(\beta_2 - \beta_1) + \text{ctg}\beta_4}; Y'_B = \frac{Y'_P \cdot \text{ctg}\beta_4 + Y'_Q \cdot \text{ctg}(\beta_2 - \beta_1) + X'_P - X'_Q}{\text{ctg}(\beta_2 - \beta_1) + \text{ctg}\beta_4}.$$

3. По условным координатам пунктов  $A$  и  $B$  решением обратной геодезической задачи находят условный дирекционный угол  $\alpha'_{AB}$ .
4. Целью введения условной системы координат является вычисление углов при исходных пунктах  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ :

$$\varphi_1 = \alpha'_{AP} - \alpha'_{AB}; \varphi_2 = \alpha'_{AQ} - \alpha'_{AB}; \varphi_3 = \alpha'_{BA} - \alpha'_{BP}; \varphi_4 = \alpha'_{BA} - \alpha'_{BQ},$$

где  $\alpha'_{AP} = \alpha'_{PQ} - \beta_2 + 180^\circ; \alpha'_{BP} = \alpha'_{PQ} - (\beta_2 - \beta_1) + 180^\circ;$

$$\alpha'_{AQ} = \alpha'_{PQ} + \beta_3 - 180^\circ; \alpha'_{BQ} = \alpha'_{PQ} + \beta_4 - 180^\circ.$$

Здесь в рассматриваемом случае  $\alpha'_{PQ} = 90^\circ$ ; (рис. 18.1).



5. По формулам Юнга из треугольника  $ABP$  вычисляют координаты точки  $P$ , а из треугольника  $ABQ$  координаты точки  $Q$ .
6. Для контроля вычисляют длину стороны  $PQ$  и сравниваю её с измеренной  $d_{PQ}$ .

### Лабораторная работа №19

**Тема: «Уравнивание системы нивелирных ходов с одной узловой точкой способом среднего весового».**

**Задание.** Уровнять систему нивелирных ходов, вычислить вероятнейшее значение высоты узловой точки и высотные отметки вновь заложенных реперов.

От исходных реперов, марок  $M51$ ,  $M48$ ,  $M43$  с известными отметками  $H_{M51}$ ,  $H_{M48}$ ,  $H_{M43}$  проложены нивелирные ходы, сходящиеся в узловой точке в виде вновь заложенного репера  $Rp20$ . В одном из звеньев системы между секциями заложены реперы  $Rp21$  и  $Rp22$  (рис.19.1). Измерены длины ходов и секций  $L_i$  и  $l_i$ , превышения по каждому ходу и секции  $h_i$ .

Для выполнения работы каждому студенту в соответствии с порядковым номером в списке группы выдаются исходные данные полевых измерений системы нивелирных ходов табл.19.3.

Уравнивание системы нивелирных ходов выполняются в таблице 19.1, образец заполнения которой приведен ниже, а вычисление отметок вновь заложенных реперов в таблице 19.2. При заполнении таблиц необходимо учитывать знаки превышений по направлениям звеньев и секций.

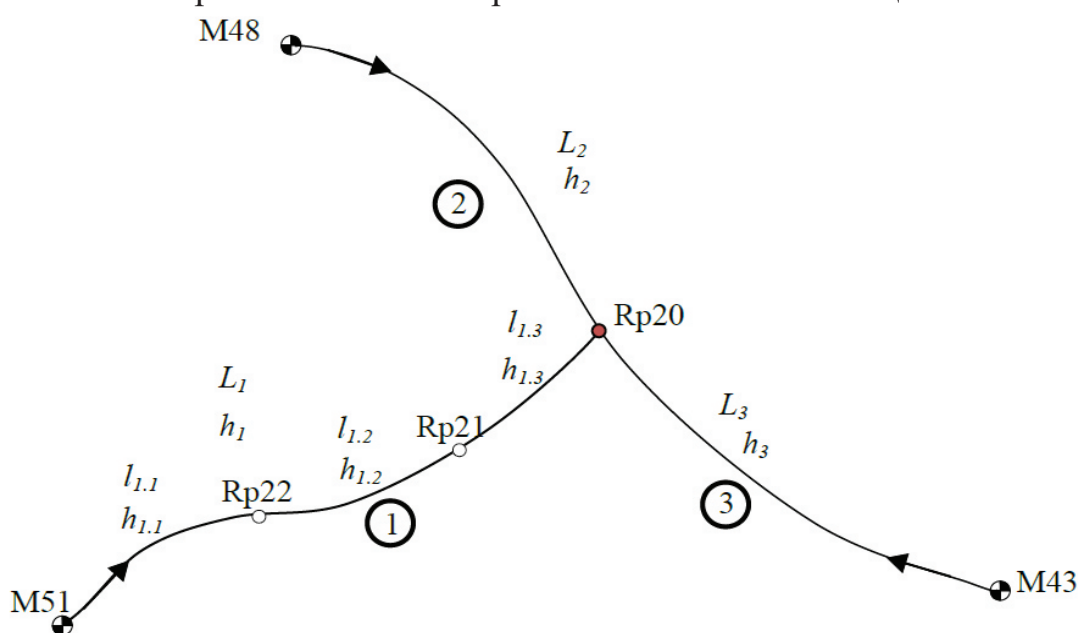


Рис. 19.1. Система нивелирных ходов с одной узловой точкой

Способ среднего весового применяют для уравнивания небольших систем нивелирных, теодолитных или тахеометрических ходов.

Вычисления выполняют в следующей последовательности:

1. Находят приближенное значение высотной отметки узловой точки  $H_{Rp20}$  по каждому ходу, звену (табл. 19.1 графа 5):

$$H_i = H_{исх.} + h_i.$$

2. Вычисляют веса суммы превышений по каждому звену системы (табл.19.1 графа 6):

$$p_i = \frac{1}{L_i},$$

где  $L_i$  – длина звена в километрах.

3. Вычисляют вероятнейшее значение отметки узловой точки по формуле

$$\text{среднего весового: } H_{Rp20} = \frac{[p_i H_i]}{[p_i]}.$$

В результате систему нивелирных ходов у одной узловой точкой (см.рис. 19.1) можно рассматривать как систему одиночных ходов с высотой конечной точки  $H_{Rp20}$ . Дальнейшие вычисления выполняются в таблице 19.2 для звена, в котором заложены реперы  $Rp21$  и  $Rp22$  (см.рис.19.1).

4. Невязки в сумме превышений по каждому ходу находят из выражения:

$$f_{hi} = H_{Rp20} - H_i, \text{ где } H_i - \text{берут из таблицы 19.1 графа 5.}$$

5. Вычисляют допустимую невязку  $f_{hi}^{доп.} = \pm 20\sqrt{L_i}$  мм. Если  $f_{hi} \leq f_{hi}^{доп.}$ , тогда распределяют невязку. То есть вычисляют поправки  $V_{hi}$  (табл.9.2 графа 4) в превышения секций пропорционально расстояниям  $l_i$  в секциях (между реперами):

$$V_{hi} = \frac{f_{hi}}{L_i} l_i.$$

6. С учётом поправок вычисляют исправленные превышения (табл.9.2 графа 5) а затем высотные отметки заложённых реперов  $H_{Rp21}$  и  $H_{Rp22}$  (графа 6).

Таблица 19.1

Вычисление вероятнейшего значения высотной отметки узловой точки

Исход-ные реперы, марки	Исход-ные высот-ные отметки репера $H_{исх.}$ , м	Длина хода, звена $L_i$ , км	Измерен-ное превы-шение звена $h_i$ , м	Приближен-ное значение высотной отметки узловой точки $H_i$ , м	Вес $p_i$	$p_i \cdot H_i$
1	2	3	4	5	6	7
М51	120,157	8,2	+1,085	121,242	0,12	14,549
М48	130,412	7,1	-9,209	121,203	0,14	16,968
М43	111,310	6,0	+9,920	121,230	0,17	20,609
$\Sigma=$					0,43	52,126

$$H_{Rp20} = \frac{[p_i H_i]}{[p_i]} = \frac{52,126}{0,43} = 121,223 \text{ м.}$$

Таблица 19.2

Уравнивание одиночного нивелирного хода

Номер репера, марки	Длина секции $l_i$ , км	Превы-шения по секциям $h_i$ , м	Поправ-ки в превы-шения $V_{hi}$ , м	Исправ-ленные превы-шения, м	Высотные отметки, м
1	2	3	4	5	6
М51					120,157
Rp22	2,3	+0,637	-0,005	+0,632	120,789
Rp21	2,8	-0,232	-0,006	-0,238	120,551
Rp20	3,1	+0,680	-0,008	+0,672	121,223
	$\Sigma= 8,2$	+1,085	-0,019	+1,066	

$$f_{h1} = H_{Rp20} - H_1 = 121,223 - 121,242 = -0,019 \text{ м}$$

$$f_{h_i}^{don.} = \pm 20 \sqrt{L_i} = \pm 20 \sqrt{8,2} = \pm 57 \text{ мм} = 0,057 \text{ м.}$$

Таблица 19.3

## Исходные данные полевых измерений системы нивелирных ходов

Номер в списке 1				Номер в списке 2				Номер в списке 3			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			103,546	M51			103,843	M51			108,461
Rp22	0,7	-2,018		Rp22	1,7	+2,225		Rp22	2,7	+1,732	
Rp21	2,1	-1,875		Rp21	1,2	+2,785		Rp21	1,4	+0,970	
Rp20	1,2	-0,314		Rp20	2,7	-0,878		Rp20	2,1	-0,935	
M48	3,2	-0,351	99,005	M48	3,6	-1,191	106,804	M48	3,7	+2,839	113,063
Rp20				M43			102,147	Rp20			
M43	5,5	-7,598	91,752	Rp20	2,2	+5,833		M43	3,2	+4,317	114,529

Номер в списке 4				Номер в списке 5				Номер в списке 6			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			124,123	M51			37,525	M51			115,06
Rp22	0,8	+0,696		Rp22	1,8	-0,378		Rp22	1,4	+0,883	
Rp21	0,6	-0,309		Rp21	1,6	+0,588		Rp21	1,0	+5,252	
Rp20	1,7	+0,997		Rp20	2,3	-1,245		Rp20	1,8	+3,337	
M48	2,8	-6,778	118,722	M48	3,9	+3,003	39,499	M48	4,5	+1,390	125,933
Rp20				M43			37,938	Rp20			
M43	4,6	-4,836	120,681	Rp20	2,9	-1,459		M43	3,8	-6,178	118,35

Номер в списке 7				Номер в списке 8				Номер в списке 9			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			84,187	M51			85,583	M51			143,134
Rp22	1,0	+1,804		Rp22	2,2	-0,773		Rp22	2,7	+3,067	
Rp21	1,8	+2,257		Rp21	1,6	-0,545		Rp21	1,5	+3,837	
Rp20	1,7	-0,699		Rp20	2,9	+6,205		Rp20	2,3	-1,179	
M48	2,3	-0,945	86,598	M48	5,3	-3,466	87,003	M48	3,6	-1,651	147,21
Rp20				M43			89,484	Rp20			
M43	4,2	-4,729	82,822	Rp20	4,5	+0,978		M43	4,2	-8,045	140,798

Продолжение таблицы 19.3

Номер в списке 10				Номер в списке 11				Номер в списке 12			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			33,779	M51			42,099	M51			31,752
Rp22	2,4	+1,795		Rp22	2,9	+0,902		Rp22	1,5	+1,576	
Rp21	1,0	+0,928		Rp21	0,7	+1,128		Rp21	1,3	-0,477	
Rp20	1,9	-0,049		Rp20	1,8	-0,337		Rp20	2,4	+0,551	
M48	2,7	+0,417	36,866	M48	2,7	-0,491	43,299	M48	4,1	-2,541	30,882
Rp20				M43			41,411	Rp20			
M43	4,1	-1,800	34,639	Rp20	5,1	+2,359		M43	3,5	+0,374	33,787

Номер в списке 13				Номер в списке 14				Номер в списке 15			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			98,289	M51			141,291	M51			83,711
Rp22	0,9	-1,412		Rp22	1,5	-2,030		Rp22	0,7	+0,469	
Rp21	0,5	-0,969		Rp21	1,1	-1,398		Rp21	0,5	-0,208	
Rp20	1,7	+1,292		Rp20	2,3	+1,858		Rp20	1,6	+0,672	
M48	5,5	-7,393	89,82	M48	2,4	-6,935	132,783	M48	4,9	-4,571	80,061
Rp20				M43			129,096	Rp20			
M43	3,8	-4,827	92,371	Rp20	4,4	+10,638		M43	3,6	-3,265	81,39

Продолжение таблицы 19.3

Номер в списке 16				Номер в списке 17				Номер в списке 18			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			119,790	M51			144,330	M51			33,779
Rp22	0,8	-1,721		Rp22	1,2	+0,800		Rp22	2,4	+1,795	
Rp21	1,6	-1,187		Rp21	0,8	-0,360		Rp21	1,0	+0,928	
Rp20	1,1	+1,575		Rp20	1,9	+1,160		Rp20	1,9	-0,049	
M43	3,6	-5,869	112,577	M48	4,4	-7,891	138,037	M48	2,7	+0,417	36,866
Rp20				M43			140,328	Rp20			
M48	5,2	-9,016	109,456	Rp20	2,0	+5,618		M43	4,1	-1,800	34,639

Номер в списке 19				Номер в списке 20				Номер в списке 21			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			101,031	M51			108,461	M51			111,250
Rp22	1,7	+1,878		Rp22	2,7	+1,732		Rp22	1,7	+1,834	
Rp21	0,9	-1,509		Rp21	1,4	+0,970		Rp21	2,9	+2,775	
Rp20	1,9	-3,188		Rp20	2,1	-0,935		Rp20	1,4	-0,365	
M43	3,7	+3,928	102,143	M48	3,7	+2,839	113,063	M48	3,1	+2,346	117,847
Rp20				M43			114,529	Rp20			
M48	5,6	+8,080	106,318	Rp20	3,2	-4,327		M43	6,0	+3,701	119,183

Номер в списке 22				Номер в списке 23				Номер в списке 24			
№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м	№ знака	Расстояние $Li$ и $li$ , км	Превышение $hi$ , м	Высотные отметки $H_{исх.}$ , м
M51			124,201	M51			52,226	M51			115,056
Rp22	1,6	+0,472		Rp22	0,9	-0,750		Rp22	1,4	+0,883	
Rp21	1,0	+1,037		Rp21	1,5	-0,515		Rp21	1,0	+5,252	
Rp20	0,5	+0,623		Rp20	1,7	+0,686		Rp20	1,8	+3,337	
	3,8	-4,181		Rp20	3,9	-2,566		Rp20	5,1	+1,411	
M48			122,141	M48			49,072	M48			125,933
Rp20				M43			47,733	Rp20			
	2,6	-2,473		Rp20	4,7	+3,920		Rp20	3,8	-6,178	
M43			123,838	Rp20				M43			118,328

### Лабораторная работа №20

**Тема: «Вычисление высот точек теодолитно-высотного хода».**

**Задание.** Вычислить высоты точек съёмочного обоснования по результатам полевых измерений.

Для выполнения работы каждому студенту в соответствии с порядковым номером в списке группы выдаются данные полевых измерений теодолитно-высотного хода таблица 20.1.

Все вычисления выполняются в таблице 20.2, образец заполнения которой приведен ниже.

*Методические рекомендации к выполнению работы:*

Теодолитно-высотный ход является съёмочной геодезисткой сетью при съёмке рельефа с сечением 2м и более. В теодолитно-высотных ходах длины сторон измеряются мерной лентой или соответствующими по точности оптическими дальномерами либо тахеометрами, горизонтальные углы – техническим теодолитом, а превышения определяются методом тригонометрического нивелирования.



Таблица 20.1

Исходные данные. (Высота H<sub>Rp12</sub> = 112,10 м для всех студентов одинаковая).

Номер в списке группы 1				Номер в списке группы 2				Номер в списке группы 3				Номер в списке группы 4					
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона			
		γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.		
Rp12	145,23	+3	27	-3	27	Rp12	125,39	+4	27	-4	27	Rp12	125,39	+2	23	-2	24
1	136,17	-2	18	+2	18	1	166,23	-1	18	+1	18	1	166,23	-2	20	+2	19
2	156,32	+1	39	-1	40	2	147,17	+2	39	-2	40	2	147,17	+3	45	-3	44
3	157,90	+0	45	-0	45	3	132,12	+1	45	-1	45	3	132,12	+0	15	-0	14
4	174,23	+2	01	-2	01	4	155,22	+4	01	-4	01	4	155,22	+2	26	-2	27
Rp31						Rp31						Rp31					
H <sub>Rp31</sub> =131,28м				H <sub>Rp31</sub> =139,97м				H <sub>Rp31</sub> =127,51м				H <sub>Rp31</sub> =143,06м					
Номер в списке группы 5				Номер в списке группы 6				Номер в списке группы 7				Номер в списке группы 8					
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона			
		γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.		
Rp12	133,26	+2	25	-2	26	Rp12	119,12	+1	56	-1	55	Rp12	145,23	-6	27	+6	27
1	177,23	-2	15	+2	16	1	174,52	-4	45	+4	45	1	136,17	-2	18	+2	18
2	144,44	+2	33	-2	32	2	132,88	+6	32	-6	32	2	156,32	+4	39	-4	40
3	122,22	+2	52	-2	51	3	110,23	+5	47	-5	47	3	157,90	+1	45	-1	45
4	166,66	+2	27	-2	28	4	156,18	+1	58	-1	59	4	182,56	+3	01	-3	01
Rp31						Rp31						Rp31					
H <sub>Rp31</sub> =130,53м				H <sub>Rp31</sub> =133,48м				H <sub>Rp31</sub> =117,50м				H <sub>Rp31</sub> =122,66м					

Таблица 20.1

Исходные данные. (Высота  $H_{Rp12} = 112,10$  м для всех студентов одинаковая).

Номер в списке группы 9				Номер в списке группы 10				Номер в списке группы 11				Номер в списке группы 12					
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона			
		$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.		
Rp12	125,39	+4	23	-4	24	Rp12	123,56	+1	27	-1	27	Rp12	133,26	+3	25	-3	26
1	166,23	-4	20	+4	19	1	144,72	-4	18	+4	18	1	177,23	-3	15	+3	16
2	155,13	+4	45	-4	44	2	139,17	+4	39	-4	40	2	144,44	+3	33	-3	32
3	132,12	+4	15	-4	14	3	146,21	+0	45	-0	45	3	122,22	+3	52	-3	51
4	155,22	+4	26	-4	27	4	182,23	+1	01	-1	01	4	166,66	+3	27	-3	28
Rp31						Rp31						Rp31					
H <sub>Rp31</sub> =143,99М				H <sub>Rp31</sub> =120,94М				H <sub>Rp31</sub> =137,35М				H <sub>Rp31</sub> =147,38М					
Номер в списке группы 13				Номер в списке группы 14				Номер в списке группы 15				Номер в списке группы 16					
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона			
		$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.			$\nu$ пр.	$\nu$ об.		
Rp12	123,17	+3	27	-3	27	Rp12	123,17	+4	27	-4	27	Rp12	123,17	+2	23	-2	24
1	156,79	-2	18	+2	18	1	156,79	-1	18	+1	18	1	156,79	-2	20	+2	19
2	151,36	+1	39	-1	40	2	151,36	+2	39	-2	40	2	151,36	+3	45	-3	44
3	112,30	+0	45	-0	45	3	112,30	+1	45	-1	45	3	112,30	+0	15	-0	14
4	146,89	+3	01	-3	01	4	146,89	+4	01	-4	01	4	146,89	+2	26	-2	27
Rp31						Rp31						Rp31					
H <sub>Rp31</sub> =126,93М				H <sub>Rp31</sub> =139,01М				H <sub>Rp31</sub> =127,63М				H <sub>Rp31</sub> =140,64М					

Таблица 20.1

Исходные данные. (Высота НRp12 = 112,10 м для всех студентов одинаковая).

Номер в списке группы 17				Номер в списке группы 18				Номер в списке группы 19				Номер в списке группы 20											
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона									
		γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.								
Rp12	123,17	+2	25	-2	26	Rp12	123,17	+1	56	-1	55	Rp12	123,17	-6	27	+6	27	Rp12	123,17	+3	27	-3	27
1	156,79	-2	15	+2	16	1	156,79	-4	45	+4	45	1	156,79	-2	18	+2	18	1	156,79	-1	18	+1	18
2	151,36	+2	33	-2	32	2	151,36	+6	32	-6	32	2	151,36	+4	39	-4	40	2	151,36	+3	39	-3	40
3	112,30	+2	52	-2	51	3	112,30	+5	47	-5	47	3	112,30	+1	45	-1	15	3	112,30	+2	45	-2	45
4	146,89	+2	27	-2	28	4	146,89	+1	58	-1	59	4	146,89	+3	01	-3	01	4	146,89	+1	01	-1	01
Rp31						Rp31						Rp31						Rp31					
НRp31=129,87м				НRp31=137,09м				НRp31=115,50м				НRp31=133,76м											
Номер в списке группы 21				Номер в списке группы 22				Номер в списке группы 23				Номер в списке группы 24											
Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона		Номер точки	Горизонтальное проложение d, м	Углы наклона									
		γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.			γ пр.	γ об.								
Rp12	123,17	+3	23	-3	14	Rp12	123,17	+1	27	-1	27	Rp12	123,17	+3	25	-3	26	Rp12	123,17	+5	56	-5	55
1	156,79	-4	20	+4	19	1	156,79	-4	18	+4	18	1	156,79	-3	15	+3	16	1	156,79	-5	45	+5	45
2	151,36	+2	45	-2	44	2	151,36	+4	39	-4	40	2	151,36	+3	33	-3	32	2	151,36	+5	32	-5	32
3	112,30	+0	15	-0	14	3	112,30	+0	45	-0	45	3	112,30	+3	52	-3	51	3	112,30	+5	47	-5	47
4	146,89	+1	26	-1	27	4	146,89	+1	01	-1	01	4	146,89	+3	27	-3	28	4	146,89	+5	58	-5	59
Rp31						Rp31						Rp31						Rp31					
НRp31=119,08м				НRp31=119,96м				НRp31=129,37м				НRp31=150,61м											

Тахеометрический ход служит для сгущения съемочной сети и отличается от теодолитно-высотного тем, что стороны в нем измеряются обычно с помощью нитяного дальномера.

Перед началом измерений выполняют поверки и юстировки теодолита, определяют МО вертикального круга. Теодолит устанавливают на одной из точек хода в рабочее положение и измеряют высоту прибора ( $i$ ) с точностью до 1 см. На задней и передней точках хода устанавливается рейка или вешка с отмеченной высотой прибора.

Измерение горизонтальных углов выполняется одним полным приемом. Вертикальные углы измеряют при двух положениях зрительной трубы (КЛ и КП) в прямом и обратном направлениях при этом визирование выполняется на высоту прибора. Если высота визирования ( $V$ ) отличается от высоты прибора, тогда к вычисленному превышению необходимо прибавлять разность ( $i-V$ ). Контролем правильности измерений вертикального угла служит постоянство МО, колебание которого не должно превышать  $1'$ .

Горизонтальные проложения определяются по формуле  $d = D \cdot \cos \nu$ , а превышения по формуле  $h = d \cdot \operatorname{tg} \nu$ , где  $D$  – наклонная длина;  $\nu$  – угол наклона.

После окончания полевых измерений выполняют вычисления высот точек. Для этого в ведомость вычисления высот точек (табл. 14.2) выписывают горизонтальные проложения  $d$  измеренные углы наклона  $\nu$  и высотные отметки исходных реперов. Для всех студентов высота репера  $H_{Rp12} = 112,10$  м. Значения горизонтальных проложений, углов наклона и высоту  $H_{Rp31}$  каждый студент выписывает из таблицы 20.1 по номеру в списке группы.

По исходным данным, заполненным в графах 1, 2, 3, 4 вычисляем превышения в прямом и обратном направлении  $h_{np.}$  и  $h_{об.}$  (графы 5, 6), знаки превышений соответствуют знакам углов наклона.

По абсолютным значениям превышений вычисляем средние превышения  $h_{cp.} = (h_{np.} + h_{об.})/2$ , при этом знак среднего превышения должен соответствовать знаку  $h_{np.}$

Вычисляем сумму горизонтальных проложений  $\Sigma d$  и средних превышений  $\Sigma h_{cp.}$ , а затем фактическую  $f_h$  и допустимую  $f_{h доп.}$  невязки по формулам:  $f_h = \Sigma h_{cp.} - (H_{Rp31} - H_{Rp12})$ ;

$$f_{h доп.} = \frac{0,04 \cdot \frac{\Sigma d}{100}}{\sqrt{N}},$$

где  $N$  – число средних превышений.

В примере  $f_h = +18,22 - (130,32 - 122,10) = -0,11$  м.

Таблица 20.2

Ведомость вычисления высот точек теодолитно-высотного хода.

Номер точки	Горизонтальное проложение $d$ , м	Углы наклона		Превышения $h=d \operatorname{tg} v$ , м					Высота $H$ , м
		$v_{np.}$	$v_{об.}$	$h_{np.}$	$h_{об.}$	$h_{cp.}$	$\delta h$	$h_{ис.}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rp12	138,64	+3°27'	-3°27'	+8,35	-8,35	+8,35	+0,01	+8,36	112,10
1	146,90	-2°18'	+2°18'	-5,86	+5,86	-5,86	+0,02	-5,84	120,36
2	174,55	+1°39'	-1°40'	+5,03	-5,06	+5,05	+0,03	+5,08	114,62
3	157,90	+0°45'	-0°45'	+2,05	-2,05	+2,05	+0,02	+2,07	119,68
4	161,36	+3°01'	-3°01'	+8,52	-8,52	+8,52	+0,03	+8,55	121,75
Rp31									130,32

$$\Sigma d = 779,35$$

$$\Sigma = +18,11 \quad +0,11$$

$$H_{31} - H_{12} = +18,22$$

$$f_h = -0,11$$

$$f_{h_{дон.}} = 0,14$$

$$f_{h_{дон.}} = \frac{0,04 \cdot 7,8}{\sqrt{5}} = 0,14 \text{ м.}$$

Для уравнивания невязку  $f_h$  распределяем пропорционально длинам сторон  $d$  с противоположным знаком, т.е. вычисляем поправки  $\delta h$  (графа 8). Прибавляя эти поправки к  $h_{cp.}$ , получаем исправленные превышения  $h_{ис.}$  (графа 9), а по формуле  $H_n = H_{n-1} + h_{ис.}$  Получаем окончательное значение высот точек 1, 2, 3 и 4 (графа 10). Контролем является вычисленное значение  $H_{Rp31}$ .

## Список литературы

1. Поклад Г.Г. Геодезия: учебн. пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: –2011. – 538 с.
2. Попов В.Н. Геодезия: учебник для вузов / В.Н. Попов, С.И. Чекалин. – М.: «Горная книга», 2007.
3. Ключин Е.Б. Инженерная геодезия / Е.В. Ключин, Д.Ш. Мехелев – М.: Высшая школа, 2000. – 464 с.
4. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98), затверджена наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.04.1998 №56 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>
5. Практикум по инженерной геодезии: учебное пособие для вузов / Б.Б. Данилевич, В.Ф. Лукьянов и др.; под редак. Е.Е. Новака – М.: Недра, 1987. – 538 с.
6. Справочник по инженерной геодезии / под ред. Н.Г. Ведуева. / Киев, «Вища школа», 1978. – 376 с.
7. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001. – 256 с.

**Бормотов** Олександр Владиславович  
**Трегуб** Микола Володимирович  
**Гойчук** Алла Петрівна

## **ГЕОДЕЗИЯ**

### **Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт**

для студентів, що володіють англійською мовою, спеціальностей:

192 Будівництво та цивільна інженерія,  
184 Гірництво\* Будівельні геотехнології та геомеханіка,  
193 Геодезія та землеустрій

(російською мовою)

Підписано до друку 16.09.2019. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,9.  
Обл.-вид. арк. 8,9. Тираж 30 пр. Заказ № .

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.