

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. ОБРОБКА ДАНИХ ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ

5.1 Теоретична частина до лабораторної роботи № 5

Обробка даних теодолітного ходу належить до камеральних геодезичних робіт. Основна мета таких робіт полягає в отриманні планових координат точок теодолітного ходу.

В даній роботі пояснення щодо камеральної обробки польових матеріалів виконується на прикладі замкнутого теодолітного ходу.

Перед початком обробки даних викреслюють його схему за величинами середніх значень вимірних горизонтальних кутів (табл. 5.1) та довжин сторін ходу (табл. 5.2). На схемі проставляють номери станцій, значення кутів і довжин сторін (рис. 5.1).

Таблиця 5.1 – Дані вимірювання горизонтальних кутів

Станції, i	Позначення кутів, вимірних на станціях	Середні значення кутів, $\beta_{i \text{ вим}}$		
		°	'	°
1	512	142	11,0	142,18
2	123	85	17,5	85,29
3	234	125	49,0	125,82
4	345	94	10,5	94,18
5	451	92	34,0	92,57

Таблиця 5.2 – Дані вимірювання довжини сторін в природному стані в метрах (м) і у масштабі схеми (М 1:2000) в сантиметрах (см)

Позначення сторін, j	1-2	2-3	3-4	4-5	5-1	
Довжина сторін	$D_j, \text{м}$	145,54	108,13	170,95	149,20	121,07
	$l_j, \text{см}$	5,82	5,41	8,55	7,46	6,05

Після креслення схеми виконується подальша обробка матеріалів замкнутого теодолітного ходу. При обробці всі обчислення ведуться у відомості (згідно з прикладом у табл. 5.3), етапи яких описані нижче.

1. У відомості, складеній за формою табл. 5.3, яка показана нижче, в стовпчику **1** вказують номери станцій i в порядку їх зростання (від 1 до 5), у стовпчику **7** – позначення напрямку сторін j (1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-1), а у стовпчику **13** – довжину сторін D_j (в метрах).

2. У стовпчики **2** та **3** записують вимірні значення горизонтальних кутів $\beta_{i \text{ вим}}$, а в першій строчці стовпчиків **8** та **9** вказують вихідне значення дирекційного кута α_j сторони **1-2** (або її азимут A_j), яке дорівнює **355°40,0'**.

Таблиця 5.3 – Відомість обробки замкнутого теодолітного ходу

Номера станцій, i	Виміряні кути					Напрями сторін, j	Дирекційні кути сторін, α_j (азимуту, A_j)		Румби сторін, r_j			D_j , м	Прирости координат, м						Координати станцій, м	
	$\beta_{i \text{ вим}}$		$\nu_{\beta j}$	$\beta_{i \text{ вунр}}$			°	'	Чверть	°	'		Обчисленні			Виправленні				
	°	'	'	°	'								$\Delta X_{j \text{ обч}}$	$\nu_{\Delta X j}$	$\Delta Y_{j \text{ обч}}$	$\nu_{\Delta Y j}$	$\Delta X_{j \text{ вунр}}$	$\Delta Y_{j \text{ вунр}}$	X_i	Y_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	142	11,0	-0,4	142	10,6	1-2	355	40,0	ПнЗх	4	20,0	145,54	145,12	0,05	-11,00	0,00	145,17	-11,00	-267,75	46,50
2	85	17,5	-0,4	85	17,1	2-3	90	22,9	ПдСх	8	37,1	108,13	-0,72	0,04	108,13	0,00	-0,68	108,13	-122,58	35,50
3	125	49,0	-0,4	125	48,6	3-4	144	34,3	ПдСх	3	25,7	170,95	-139,30	0,06	99,10	0,00	-139,24	99,10	-123,26	143,63
4	94	10,5	-0,4	94	10,1	4-5	230	24,2	ПдЗх	5	24,2	149,20	-95,10	0,05	-114,97	0,00	-95,05	-114,97	-262,50	242,73
5	92	34,0	-0,4	92	33,6	5-1	317	50,6	ПнЗх	4	9,4	121,07	89,75	0,04	-81,26	0,00	89,79	-81,26	-357,54	127,76
$\Sigma \beta_{i \text{ вим}}$		$\Sigma \nu_{\beta j}$	$\Sigma \beta_{i \text{ вунр}}$		α_{1-2}					P	f_x	$\Sigma \nu_{\Delta X j}$	f_y	$\Sigma \nu_{\Delta Y j}$	$\Sigma \Delta X_{j \text{ вунр}}$	$\Sigma \Delta Y_{j \text{ вунр}}$	X_1	Y_1		
540		2,0	-2,0		355 40					694,89	-0,24	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	-267,75	46,50		
$\Sigma \beta_{i \text{ теор}}$		f_{β}	$f_{\beta \text{ зр}}$								$f_{P \text{ обч}}$		$f_{P \text{ відн}}$		$f_{P \text{ зр}}$					
540		0,0	2,0								0,2398		0,0003		0,0005					

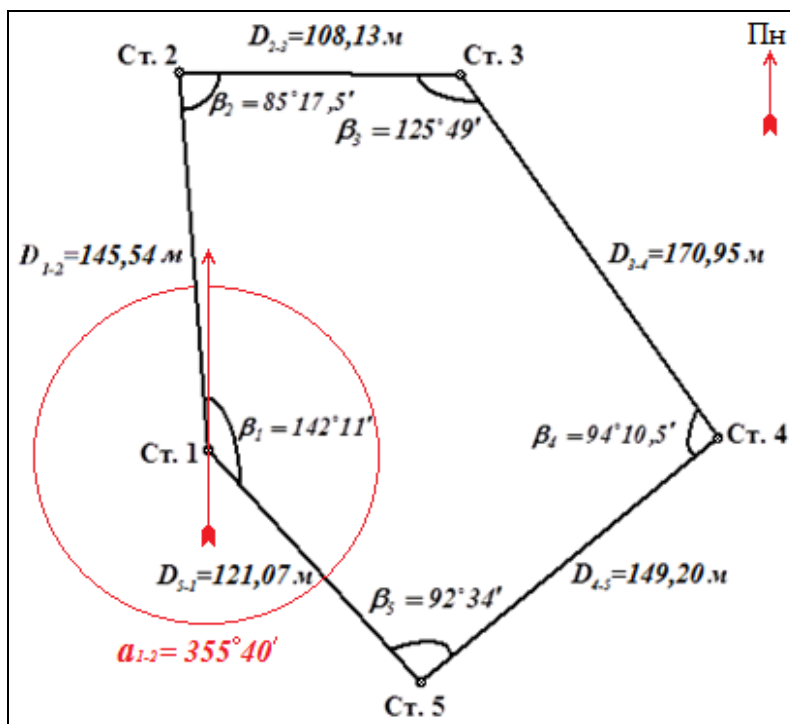


Рисунок 5.1 – Схема замкнутого теодолітного ходу (М 1:2000)

3. Знаходять та записують внизу відомості (таблиці) нев'язку вимірних кутів f_β , яка дорівнює різниці між вимірною сумою кутів $\Sigma\beta_{i \text{ вим}}$ та теоретичною $\Sigma\beta_{i \text{ теор}}$, які також записують внизу відомості (таблиці):

$$f_\beta = \Sigma\beta_{i \text{ вим}} - \Sigma\beta_{i \text{ теор}} = 540^\circ 2,0' - 540^\circ 0,0' = 2,0', \quad (5.1)$$

$$\text{де } \Sigma\beta_{i \text{ вим}} = 142^\circ 11,0' + 85^\circ 17,5' + 125^\circ 49,0' + 94^\circ 10,5' + 92^\circ 34,0' = 540^\circ 2,0';$$

$$\Sigma\beta_{i \text{ теор}} = 180^\circ \cdot (n - 2) = 180^\circ \cdot (5 - 2) = 180^\circ \cdot 3 = 540^\circ 0,0', \quad (5.2)$$

де n – число сторін теодолітного ходу (замкнутого полігону).

4. Обчислюють та записують внизу відомості (таблиці) граничну кутову нев'язку теодолітного ходу $f_{\beta \text{ гр}}$:

$$f_{\beta \text{ гр}} = 1' \cdot m^{0,5} = 1' \cdot 5^{0,5} = 2,2', \quad (5.3)$$

де m – число вимірних кутів.

5. Якщо нев'язка вимірних кутів f_β не перевищує граничної кутової нев'язки теодолітного ходу $f_{\beta \text{ гр}}$ (у прикладі: $2,0' \leq 2,2'$), то її рівномірно розподіляють (додають) із зворотним знаком в усі кути, використовуючи кутові поправки $v_{\beta j}$ (стовпчик 4), які визначаються за формулою:

$$v_{\beta j} = -f_\beta / m = -2,0' / 5 = -0,4'. \quad (5.4)$$

6. Обчислюють виправлені горизонтальні кути (стовпчики 5 та 6):

$$\beta_{i \text{ випр}} = \beta_{i \text{ вим}} + \nu_{\beta j}. \quad (5.5)$$

Далі здійснюють контроль правильності розподілу нев'язок $\nu_{\beta j}$ у кути ходу ($\Sigma \nu_{\beta j} = -f_{\beta} = -2,0'$) та обчислення суми виправлених кутів $\beta_{i \text{ випр}}$ ($\Sigma \beta_{i \text{ випр}} = \Sigma \beta_{i \text{ теор}} = 540^{\circ}0,0'$), а результати записують внизу стовпчиків 4-6.

7. Після вказаного контролю розраховують дирекційні кути α_j всіх сторін ходу (стовпчики 8 та 9) за формулою:

$$\alpha_{j+1} = \alpha_j + 180^{\circ} - \beta_{i+1}, \quad (5.6)$$

де β_{i+1} – виправлене значення кута між j -ю та $(j+1)$ -ю сторонами.

Контролем вірності обчислення дирекційних кутів сторін замкнутого ходу є повторне отримання дирекційного кута сторони 1-2: $\alpha_{1-2} = 355^{\circ}40,0'$, який записують в останній строчці стовпчиків 8 та 9.

8. Обчислюють румби сторін r_j за відомими співвідношеннями між дирекційними кутами та румбами (якщо $\alpha_j = 0-90^{\circ}$, то чверть ПнСх, $r_j = \alpha_j$; якщо $\alpha_j = 90-180^{\circ}$, то чверть ПдСх, $r_j = 180^{\circ} - \alpha_j$; якщо $\alpha_j = 180-270^{\circ}$, то чверть ПдЗх, $r_j = \alpha_j - 180^{\circ}$; якщо $\alpha_j = 270-360^{\circ}$, то чверть ПнЗх, $r_j = 360^{\circ} - \alpha_j$) для кожної з чотирьох чвертей та записують отримані значення у стовпчики 10, 11 та 12.

9. Обчислюють прирости координат всіх станцій (пряма геодезична задача) теодолітного ходу (стовпчики 14 та 16):

$$\Delta X_{j \text{ обч}} = D_j \cdot \cos \alpha_j \quad (5.7)$$

i

$$\Delta Y_{j \text{ обч}} = D_j \cdot \sin \alpha_j, \quad (5.8)$$

де D_j – виміряні довжини сторін теодолітного ходу, м; α_j – значення дирекційних кутів в градусах (мінути переводять в частки градуса).

10. Визначають лінійні нев'язки f_x (для осі X) та f_y (для осі Y) шляхом обчислення сум приростів у напрямку ходу по кожній осі прямокутної системи координат (відповідно, $\Sigma \Delta X_{j \text{ обч}}$ та $\Sigma \Delta Y_{j \text{ обч}}$) і порівнюють отримані обчисленні суми приростів координат з теоретичними, які для замкнутого теодолітного ходу дорівнюють нулю ($\Sigma \Delta X_{j \text{ теор}} = \Sigma \Delta Y_{j \text{ теор}} = 0,00$ м), тому внизу стовпчиків 14 та 16 будуть записані лінійні нев'язки, розраховані за формулами:

$$f_x = \Sigma \Delta X_{j \text{ обч}} = 145,12 + (-0,72) + (-139,30) + (-95,10) + 89,75 = -0,24, \quad (5.9)$$

$$f_y = \Sigma \Delta Y_{j \text{ обч}} = (-11,00) + 108,13 + 99,10 + (-114,97) + (-81,26) = 0,00. \quad (5.10)$$

11. Знаходять та записують внизу відомості (таблиці) абсолютну лінійну нев'язку теодолітного ходу $f_{P\text{ абс}}$ за формулою:

$$f_{P\text{ абс}} = (f_x^2 + f_y^2)^{0,5} = (-0,24^2 + 0,00^2)^{0,5} = 0,2398. \quad (5.11)$$

12. Обчислюють і записують внизу відомості (таблиці) відносну нев'язку теодолітного ходу $f_{P\text{ відн}}$, яка не повинна перевищувати граничне значення $f_{P\text{ зр}}$ (тобто, $f_{P\text{ відн}} \leq f_{P\text{ зр}}$, де $f_{P\text{ зр}} = 1/2000 = 0,0005$):

$$f_{P\text{ відн}} = f_{P\text{ абс}} / P = 0,2398 / 694,89 = 0,0003, \quad (5.12)$$

де P – периметр теодолітного ходу, м.

13. Якщо відносна нев'язка теодолітного ходу $f_{P\text{ відн}}$ не перевищує граничного значення $f_{P\text{ зр}}$ (у прикладі: $0,0003 < 0,0005$), то лінійні нев'язки f_x та f_y розподіляється, відповідно, по осях X та Y в усі прирости ходу, шляхом введення поправок $v_{\Delta X_j}$ та $v_{\Delta Y_j}$ (стовпчики **15** та **17**), величини яких пропорційні довжинам сторін D_j , а знак – зворотній до знаку відповідних нев'язок f_x та f_y , і далі для кожної станції теодолітного ходу визначаються виправленні прирости координат $\Delta X_{j\text{ випр}}$ та $\Delta Y_{j\text{ випр}}$ (стовпчики **18** та **19**):

$$v_{\Delta X_j} = -D_j \cdot f_x / P \quad (5.13)$$

і

$$v_{\Delta Y_j} = -D_j \cdot f_y / P, \quad (5.14)$$

$$\Delta X_{j\text{ випр}} = \Delta X_{j\text{ обч}} + v_{\Delta X_j} \quad (5.15)$$

та

$$\Delta Y_{j\text{ випр}} = \Delta Y_{j\text{ обч}} + v_{\Delta Y_j}. \quad (5.16)$$

Для контролю вірності визначення виправлених приростів координат обчислюють і записують (в останній строчці стовпчиків **18** та **19**) їх суми, які для замкнутого теодолітного ходу дорівнюють теоретичній величині, тобто нулю: $\Sigma \Delta X_{j\text{ випр}} = \Sigma \Delta X_{j\text{ теор}} = \Sigma \Delta Y_{j\text{ випр}} = \Sigma \Delta Y_{j\text{ теор}} = 0,00$ м.

14. З використанням визначених виправлених приростів координат $\Delta X_{j\text{ випр}}$ та $\Delta Y_{j\text{ випр}}$ (стовпчики **18** та **19**) і вихідних координат **1**-ї станції (вершини) теодолітного ходу ($X_1 = -267,75$ м, $Y_1 = 46,50$ м), які записують у першій строчці стовпчиків **20** та **21**, розраховують координати всіх інших станцій (вершин) ходу X_i та Y_i (стовпчики **20** та **21**):

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_{j\text{ випр}} \quad (5.17)$$

та

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_{j\text{ випр}}, \quad (5.18)$$

де $\Delta X_{j\text{ випр}}$ та $\Delta Y_{j\text{ випр}}$ – прирости координат, відповідно, по осях X та Y , між $(i-1)$ -ю та i -ю станціями (вершинами полігону) теодолітного ходу.

Контролем правильності розрахунку координат станцій (вершин полігону) замкнутого теодолітного ходу є повторне отримання координат станції (вершини) **1**: $X_1 = -267,75$ м, $Y_1 = 46,50$ м, які записують в останній строчці, відповідно, стовпчиків **20** та **21**.

Після обчислення координат станцій (вершин полігону) замкнутого теодолітного ходу можна розрахувати площу отриманого багатокутника (полігона). Найчастіше ця задача виконується аналітичним способом.

Обчислення площі полігона замкнутого теодолітного ходу виконується за формою табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Обчислення площі полігона S (у м² та га) замкнутого теодолітного ходу

Станція, i	Координати, м		Різниці		Добутки	
	X_i	Y_i	$X_{i-1} - X_{i+1}$	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1})$
1	2	3	4	5	6	7
1	-267,75	46,50	-234,96	-92,26	24702,6150	-10925,6400
2	-122,58	35,50	-144,49	97,13	-11906,1954	-5129,3950
3	-123,26	143,63	139,92	207,23	-25543,1698	20096,7096
4	-262,50	242,73	234,28	-15,87	4165,8750	56866,7844
5	-357,54	127,76	5,25	-196,23	70160,0742	670,7400
Сума:			0,00	0,00	61579,1990	61579,1990
			Площа (S , м ²):		30789,5995	30789,5995
			Площа (S , га):		3,08	3,08

Примітка:

вершини пронумеровані за ходом годинникової стрілки (відповідно до схеми на рис. 5.1).

Перед початком розрахунків площі з табл. 5.3 у стовпчик **1** табл. 5.4 переписують номери станцій i , а у стовпчики **2** і **3** – їх прямокутні координати (X_i та Y_i). Подальші обчислення виконують у стовпчиках **4-7** за етапами та формулами, які наведені нижче.

1. Якщо станції полігона (вершини багатокутника) пронумеровані за ходом годинникової стрілки (як на рис. 5.1), то обчислення його площі виконується за етапами та формулами, які наведені нижче.

1.1. Розраховують різниці $X_{i-1} - X_{i+1}$ та $Y_{i+1} - Y_{i-1}$, значення яких записують, відповідно, у стовпчики **4** та **5**, наприклад:

$$X_5 - X_2 = -357,54 - (-122,58) = -234,96 \text{ – для станції } \mathbf{1};$$

$$X_1 - X_3 = -267,75 - (-123,26) = -144,49 \text{ – для станції } \mathbf{2} \text{ і т. д.}$$

Для контролю правильності розрахунку різниць обчислюють і записують в строчці «Сума:» стовпчиків 4 та 5 їх суми, які мають дорівнювати нулю: $\Sigma(X_{i-1} - X_{i+1}) = \Sigma(Y_{i+1} - Y_{i-1}) = 0$.

1.2. Розраховують добутки $X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})$ та $Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1})$, значення яких записують, відповідно, у стовпчики 6 та 7, наприклад:

$$X_1 \cdot (Y_2 - Y_5) = -267,75 \cdot (-92,26) = 24702,6150 - \text{для станції 1};$$

$$X_2 \cdot (Y_3 - Y_1) = -122,58 \cdot (97,13) = -11906,1954 - \text{для станції 2 і т. д.}$$

Для контролю правильності розрахунку добутків обчислюють і записують в строчці «Сума:» стовпчиків 6 та 7 їх суми, які мають дорівнювати друг другу: $\Sigma X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1}) = \Sigma Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1})$.

1.3. Обчислюють величини площі полігона замкнутого теодолітного ходу, які записують в строчку «Площа (S , м²):» стовпчиків 6 та 7:

$$S = \Sigma X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1}) / 2 = 61579,1990 / 2 = 30789,5995 \text{ м}^2 \quad (5.19)$$

та

$$S = \Sigma Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1}) / 2 = 61579,1990 / 2 = 30789,5995 \text{ м}^2. \quad (5.20)$$

Для визначення площі полігона в гектарах (1 га = 10000 м²) ділять величину площі, обчислену в м², на 10000 і записують отримане значення в строчку «Площа (S , га):» стовпчиків 6 та 7: $30789,5995 \text{ м}^2 / 10000 \approx 3,08 \text{ га}$.

2. Якщо станції полігона (вершини багатокутника) пронумеровані проти ходу годинникової стрілки, то розрахунок його площі виконується за іншими формулами:

$$S = \Sigma X_i \cdot (Y_{i-1} - Y_{i+1}) / 2 \quad (5.21)$$

та/або

$$S = \Sigma Y_i \cdot (X_{i+1} - X_{i-1}) / 2. \quad (5.22)$$

5.2 Практична частина до лабораторної роботи № 5

Завдання 1. З використанням даних вимірювань горизонтальних кутів та довжин сторін замкнутого теодолітного ходу (**Додаток В, табл. В.1**) самостійно здійсніть підготовчі обчислення (за формою табл. 5.1 та 5.2) і зробіть схему даного ходу (за формою рис. 5.1) на аркуші паперу формату А4 (210 мм на 297 мм) у масштабі 1:2000 (в 1 сантиметрі 20 метрів).

Завдання 2. З використанням вихідних даних (**Додаток В, табл. В.1**) самостійно обробіть відомість (за формою табл. 5.3) та обчисліть площу полігона замкнутого теодолітного ходу (за формою табл. 5.4).

Завдання 3. Під час аудиторних занять (або самостійно) ознайомтесь з комп'ютерним програмним забезпеченням для автоматичної обробки відомості та обчислення площі полігона замкнутого теодолітного ходу, а також в усній формі опишіть послідовність креслення схеми й етапів подальшої обробки матеріалів даного ходу.