

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення лабораторних занять
і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГЕОДЕЗІЯ»

Змістовий модуль 4

Основи створення геодезичних мереж

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення лабораторних занять і організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Геодезія». Змістовий модуль 4. Основи створення геодезичних мереж (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. М. А. Кухар. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 63 с.

Укладач канд. техн. наук М. А. Кухар

Рецензент

С. Г. Нестеренко, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 28 серпня 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 12 Аналіз властивостей похибок геодезичних вимірювань	5
Лабораторна робота № 13 Визначення координат полярним способом....	14
Лабораторна робота № 14 Врівноваження теодолітних ходів.....	28
Лабораторна робота № 15 Врівноваження ходів планової знімальної основи.....	54
Список рекомендованих джерел.....	62

ВСТУП

Дисципліна «Геодезія» є нормативною дисципліною професійного спрямування для студентів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій.

Вона є базовою для подальшого вивчення більш вузьких дисциплін підготовки фахівців цього напрямку.

Методичні рекомендації містять завдання до лабораторних і розрахунково-графічних робіт. До кожної лабораторної роботи наведено рекомендації до виконання завдань з прикладами, а також дається посилання на додаткову літературу для самостійної роботи.

Основним завданням, яке має бути вирішено при виконанні лабораторних робіт, є закріплення та використання на практиці теоретичних знань, формування у студентів навичок роботи з планами й картами, вміння читати карту й вирішувати різноманітні завдання, які постають на виробництві перед фахівцями з геодезії, картографії та землеустрою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОХИБОК ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: навчитись виконувати математичну обробку результатів лабораторних вимірювань з геодезичними кутомірними приладами високої точності і усвідомити можливості підвищення надійності результатів при математичному опрацюванні в умовах, наближених до реальних.

Обладнання: теодоліт або тахеометр, штатив, підставка під штатив, мікрокалькулятор для інженерних розрахунків, олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

Частина 1

Завдання:

1. Привести геодезичний прилад у робоче положення.
2. Виконати вимірювання кута.
3. Розрахувати виміряні кути.
4. Визначити середньоквадратичну похибку кутових вимірювань.

Рекомендації до виконання завдань.

1. Перед встановленням теодоліта або тахеометра в робоче положення переконатись, що всі вузли приладу функціонують справно (гвинти не зірвані, скляні елементи не розбиті тощо), а штатив має всі необхідні елементи, які також функціонують справно. Установити прилад у робоче положення, за необхідності виконати перевірки та юстировку приладу. Точка стояння (станція) у кожної бригади своя: PP1, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6.

2. Виміряти за допомогою приладу кут, за яким будуть проводитися розрахунки. Виміряти цей кут необхідно шість разів, кожного разу змінюючи показник початкового відліку 1 – для цього необхідно збити лімб (залежить від приладу, який використовується, механізм цієї операції відрізняється), способом прийомів. Результати записати в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати багаторазових кутових вимірювань

Номер станції	Номер точки	Круг	Відліки за ГК (N ₁ , N ₂)		Кут з напівприйому		Кут з прийому (β)		δ _i	δ ² _i	Схема вимірювань
			°	'	°	'	°	'			
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									

Продовження таблиці 1

Номер станції	Номер точки	Круг	Відліки за ГК (N_1, N_2)		Кут з напівприйому		Кут з прийому (β)		δ_i	δ_i^2	Схема вимірювань
			°	'	°	'	°	'			
		КП									
		КЛ									

3. Розрахувати виміряні кути.

3.1. Взявши відлік на два напрямки, далі визначається кут між цими напрямками, від переднього (N_2) напрямку віднімається задній (N_1):

$$\beta_i^{КП/КЛ} = N_2 - N_1 . \quad (1)$$

3.2. Визначивши кути з напівприймів, знайдемо кути з прийомів:

$$\beta_i^{cp} = (N_{КЛ} + N_{КП}) / 2 . \quad (2)$$

4. Визначити середньоквадратичну похибку кутових вимірювань:

4.1. Обчислити суму виміряних кутів:

$$\sum_1^n \beta_i . \quad (3)$$

4.2. Обчислити найнадійніше значення як арифметичне середнє:

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_1^n \beta_i}{n}, \quad (4)$$

де β_i – значення виміряного кута;

n – кількість повторень.

4.3. Обчислити відхилення кожного результату від арифметичного середнього:

$$\delta_i = \beta_i - \bar{\beta}. \quad (5)$$

4.4. Обчислити квадрати відхилень:

$$\delta_i^2. \quad (6)$$

4.5. Обчислити суму квадратів відхилень:

$$\sum_1^n \delta_i^2 \quad (7)$$

4.6. Обчислити значення середньої квадратичної похибки вимірювання кута:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \delta_i^2}{n-1}} \quad (8)$$

Частина 2

Завдання:

1. Привести геодезичний прилад у робоче положення.
2. Виконати вимірювання кута.

3. Обробити результати вимірювань.

4. Виконати перевірку виконання геометричної умови для внутрішніх кутів трикутника.

5. Обчислити фактичну і допустиму кутові нев'язки.

Рекомендації до виконання завдань.

1. Перед встановленням теодоліта або тахеометра в робоче положення переконатись, що всі вузли приладу функціонують справно (гвинти не зірвані, скляні елементи не розбиті тощо), а штатив має всі необхідні елементи, які також функціонують справно. Установити прилад у робоче положення, за необхідності виконати перевірки та юстировку приладу. Точка стояння (станція) у кожної бригади своя: PP1, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6.

2. Виміряти за допомогою приладу кути трикутника (полігону), за яким будуть проводитися розрахунки. Кожен кут виміряти двічі. Різниця $\Delta\beta$ між значеннями виміряних кутів не може перевищувати $1,5m\beta$. Приклад проведення розрахунків подано у таблиці 2. Результати розрахунків за варіантом (де № – це номер варіанта) записати в таблицю 3. Схема вимірювань – на рисунку 1.

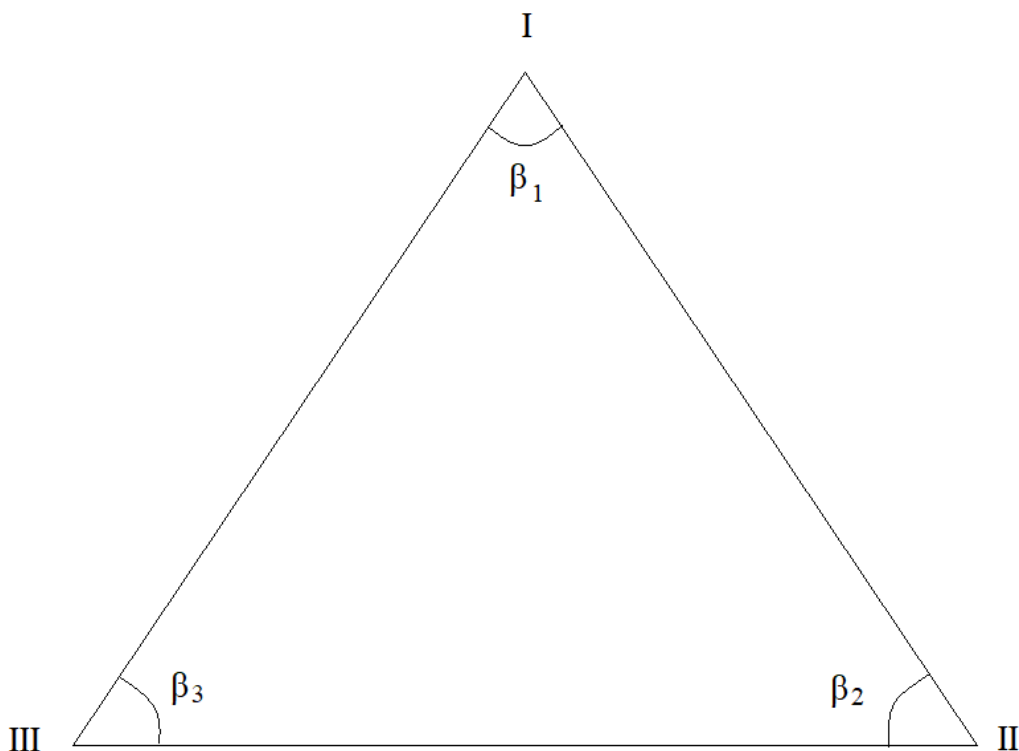


Рисунок 1 – Схема кутових вимірювань у полігоні

Таблиця 2 – Результати вимірювань (приклад)

Номер вершини кута	Напрямки	Вимірний напрямок (N)	$\beta_i = N_3 - N_{II}$	$\beta_{ср}$	$\beta_{вип}$
1	2	3	4	5	6
	II	171,7			
I			58,7		
	III	230,4		+0,2	
	II	262,9		58,5	58,7
I			58,3		
	III	321,2			
	I	42,8			
II			80,7		
	III	123,5		+0,2	
	I	64,6		80,6	80,8
II			80,5		
	III	145,1			
	II	121			
III			40,4		
	I	161,4		+0,2	
	II	146,9		40,3	40,5
III			40,2		
	I	187,1			
			Сума кутів (Σ)	179,4	180

Таблиця 3 – Результати вимірювань

Номер вершини кута	Напрямки	Вимірний напрямок (N)	$\beta_i = N_3 - N_{II}$	$\beta_{ср}$	$\beta_{вип}$
1	2	3	4	5	6
	II				
I					
	III				
	II				
I					
	III				
	I				
II					
	III				

Продовження таблиці 3 – Результати вимірювань

Номер вершини кута	Напрямки	Вимірний напрямок (N)	$\beta_i = N_3 - N_{II}$	β_{cp}	$\beta_{вип}$
	I				
II					
	III				
	II				
III					
	I				
	II				
III					
	I				
			Сума кутів (Σ)		

1. Обробити результати вимірювань.

1.1. Взявши відлік на два напрямки, далі потрібно визначити кут між цими напрямками:

$$\beta_i = N_3 - N_{II} \quad (9)$$

1.2. Далі визначається середнє значення кута між цими напрямками:

$$\beta_{cp} = (\beta_1^1 + \beta_1^2) / 2 \quad (10)$$

2. Перевірка виконання геометричної умови для внутрішніх кутів трикутника

2.1. Геометрична умова: теоретична сума кутів:

$$\sum_1^n \beta_{теор} = 180^\circ (n - 2) \quad (11)$$

2.2. Фактична сума кутів:

$$\sum_1^n \beta_{\text{факт}} = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n . \quad (12)$$

2.3. Фактична кутова нев'язка:

$$f_{\beta\phi} = \sum_1^n \beta_{\text{факт}} - \sum_1^n \beta_{\text{теор}} \quad (13)$$

Виконання геометричної умови: геометрична умова не виконана – маємо нев'язку $f_{\beta\phi}$.

3. Обчислити фактичну і допустиму кутові нев'язки

3.1. Допустима кутова нев'язка:

$$f_{\beta\text{дон}} = \pm m_{\beta} \sqrt{n}. \quad (14)$$

Умова допустимості $f_{\beta\text{дон}} \leq f_{\beta\text{дон}}$.

Умова допустимості виконується – кутові вимірювання виконані з прийнятною точністю, можна виконувати подальшу обробку.

3.2. Для виконання геометричної умови виконується виправлення вимірних кутів шляхом введення поправок p_{β} приблизно порівну на всі кути:

$$p_{\beta} \approx \frac{-f_{\beta\phi}}{n} \quad (15)$$

Контроль:

$$\sum P_{\beta} = -f_{\beta\phi}. \quad (16)$$

3.3. Виправлені кути:

$$\beta_{\text{вип}} = \beta_{\text{вим}} + p_{\beta}. \quad (17)$$

Контроль:

$$\sum \beta_{\text{вип}} = \sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ. \quad (18)$$

Питання для самоперевірки

1. Які бувають похибки?
2. Як визначити допустиме значення похибки?
3. Як залежить точність від кількості вимірювань?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПОЛЯРНИМ СПОСОБОМ

Мета роботи: навчитися визначати координати точки за допомогою полярної засічки в лабораторних умовах, використовуючи точні геодезичні прилади, виконувати розрахунки з результатами вимірювань та аналізувати похибки при визначенні координат полярним способом.

Обладнання: теодоліт або тахеометр, бусоль, штатив, підставка під штатив, нівелірна рейка, калькулятор для інженерних розрахунків, олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

Частина 1

Завдання:

1. Привести геодезичний прилад в робоче положення.
2. Вимірювання та розрахунок напрямку на магнітний азимут з використанням бусолі.
3. Визначення та розрахунок відстані від станції до точки, координати якої необхідно встановити.
4. За результатами вимірювань визначають дирекційний кут та координати точки.

Рекомендації до виконання завдань.

1. Перед встановленням теодоліта або тахеометра в робоче положення переконатись, що всі вузли приладу функціонують справно (гвинти не зірвані, скляні елементи не розбиті тощо), а штатив має всі необхідні елементи, які також функціонують справно. Установити прилад у робоче положення, при необхідності виконати перевірки приладу. Точка стояння (станція) у кожної бригади своя (табл. 4).

Таблиця 4 – Вихідні дані

Точка	X	Y	Точка	X	Y
PP1	0	0	PP4	9,521 8	5,588 7
PP2	4,111 8	1,230 8	PP5	4,029 5	3,998 9
PP3	9,558 2	0,004 9	PP6	-0,658 5	4,749 7

2. Вимірювання напрямку на магнітний азимут з використанням бусолі.

2.1. Після встановлення приладу в робоче положення до нього прикручують бусоль, магнітна стрілка якої показує на магнітну північ. Необхідно направити зорову трубу таким чином, щоб її вісь співпадала з віссю магнітної стрілки – з цього положення береться перший відлік, задній напрямок на магнітну північ. Другий відлік береться після наведення на точку, координати якої необхідно визначити – передній напрямок. Операцію повторюють тричі та знаходять середнє значення з трьох напівприймів. Результати занести в таблицю 5.

Таблиця 5 – Вимірювання магнітного азимуту за допомогою бусолі

Номер станції	Номер точки	Круг	Відліки за ГК (N ₁ , N ₂)		Кут з напівприйому		Кут з прийому (A _м)		Середнє значення (A _м)		Схема вимірювань
			°	'	°	'	°	'	°	'	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		КП									
		КЛ									

2.2. Взявши відлік на два напрямки, далі визначається кут з напівприйому між цими напрямками, від переднього (N_2) напрямку віднімається задній (N_1):

$$Am^{KP/KL} = N_2 - N_1 \quad (19)$$

2.3. Визначивши кути з напівприймів, знайдемо кути з прийомів:

$$Am_i^{cp} = (N_{KL} + N_{KP}) / 2 \quad (20)$$

2.4. Далі визначаємо середнє значення кута:

$$Am_{сep} = (Am_1 + Am_2 + Am_3) / 3 \quad (21)$$

3. Визначення відстані від станції до точки, координати якої необхідно визначити. Далі проводиться визначення горизонтального прокладення між станцією та передньою точкою, здійснюється вимірювання довжини між ними. Для цього використовується нівелірна рейка і теодоліт. Рейку встановлюють на точку, відстань до якої необхідно визначити. Визначають висоту приладу, центральною ниткою наводять на рейку, на значення висоти приладу. Беруть

відлік по нижній N_1 та верхній N_2 сітці віддалемірних ниток (рис. 2). Вимірювання провести три рази, при кожному вимірюванні змінюючи висоту приладу, результати записати в таблицю 6.

Таблиця 6 – Визначення відстані

№ з/п	Відліки на напрямок N_1 , мм	Відліки на напрямок N_2 , мм	$N_2 - N_1$, мм	Середнє значення, мм	Відстань, м
1					
2					
3					

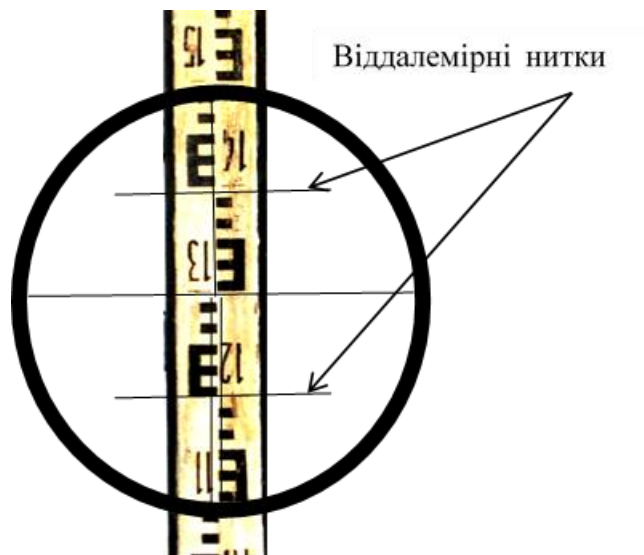


Рисунок 2 – Віддалемірні нитки при наведенні на рейку

- 3.1. Визначити різницю відліків: $|N_1 - N_2|_n$.
- 3.2. Знайти середнє значення відліків: $|N_1 - N_2|_{сер}$.
- 3.3. Далі знаходимо відстань:

$$d = 100 \cdot |N_1 - N_2|_{сер} \quad (22)$$

4. За результатами вимірювань визначають дирекційний кут та координати точки.

4.1. Знаючи значення магнітного азимуту, визначаємо істинний азимут:

$$A = A_m + \delta, \quad (23)$$

де A_m – магнітний азимут; A – істинний азимут; d – відхилення магнітної стрілки (це значення можна визначити, використавши «Калькулятор магнітного відхилення» (URL: <https://geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-en.php>), знаючи, що географічні координати Харкова: 50° північної широти і $36,25^\circ$ східної довготи).

4.2. Вирахувавши значення істинного азимуту, визначаємо значення зближення меридіанів:

$$\gamma = (L - L_0) \sin B, \quad (24)$$

де L – довгота даної точки; L_0 – довгота осьового меридіана зони, в якій розташована точка; B – широта даної точки.

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ, \quad (25)$$

$$N = \frac{L}{6} + 1 \quad (26)$$

4.3. Маючи всі необхідні дані, можливо вирахувати дирекційний кут:

$$\alpha = A - \gamma \quad (27)$$

4.4. Маючи дирекційний кут лінії, координати точки початку лінії та довжину, можемо знайти координати кінця лінії:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d \cdot \cos \alpha, \\ \Delta y &= d \cdot \sin \alpha, \\ X_{__} &= X_{PP} + \Delta x, \\ Y_{__} &= Y_{PP} + \Delta y. \end{aligned} \quad (28)$$

Частина 2

Завдання:

1. Визначити вихідні дані.

2. Визначення похибки при визначенні координат за результатами виконання полярної засічки.

3. Аналіз похибок при зміні довжини проєктної лінії та дирекційного кута.

Рекомендації до виконання завдань:

1. Вихідні дані. Похибка вимірювання кутів була визначена в лабораторній роботі 12, частина 1.

Це середньоквадратична похибка вимірювання кутів для конкретної бригади, у лабораторних умовах, з використанням одного приладу методом прийомів.

Для загальновиробничих вимог була розрахована середньоквадратична похибка для конкретного приладу за умови його повної справності – цю похибку вказано в технічному паспорті теодоліту. Для теодоліта 2Т30 вона становить **30''**, але для вирішення завдання будемо використовувати значення похибки, виміряне в лабораторних умовах m_{β} .

Таким же чином визначена похибка вимірювання відстаней нитяним віддалеміром, і вона становить $m_d = d/300$, де d – виміряна довжина лінії.

Довжину проєктної лінії d та дирекційний кут беремо з лабораторної роботи 13, частина 2.

2. Визначення похибки при визначенні координат за результатами виконання полярної засічки.

2.1. Нехай для визначення значення деякої величини u виміряні величини x, y, z, \dots , з якими величина, що визначається, зв'язана функцією взаємозв'язку:

$$u = f(x, y, z, \dots). \quad (29)$$

Якщо середньоквадратичні похибки виміряних величин рівні m_x, m_y, m_z, \dots , то середньоквадратична похибка величини, що визначається, виражена формулою:

$$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \dots \quad (30)$$

Для визначення похибки при визначенні координат полярним способом знадобляться наступні похідні функції:

$$u' = (kx)' = kx', \quad (31)$$

$$u' = (\cos x)' = -\sin x, \quad (32)$$

$$u' = (\sin x)' = \cos x, \quad (33)$$

2.2. Для розрахунку приростів координат використовуються формули:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d \cdot \cos \alpha, \\ \Delta y &= d \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (34)$$

2.2.1. Для визначення середньоквадратичної похибки виміряної величини Δx представимо у вигляді похідної функції:

$$\Delta x' = (d \cdot \cos \alpha)'. \quad (35)$$

Якщо середньоквадратична похибка виміряної величини рівна d , то середньоквадратична похибка величини, що визначається Δx , відповідно до (34), (35), виражена формулою:

$$\Delta x(d) = (d \cdot \cos \alpha)' = d' \cdot \cos \alpha = 1 \cdot \cos \alpha. \quad (36)$$

Якщо середньоквадратичні похибки виміряних величин рівні α , то середньоквадратична похибка величини, що визначається, V_x , відповідно до (34), (35), виражена формулою:

$$\Delta x(\alpha) = (d \cdot \cos \alpha)' = d \cdot (\cos \alpha)' = d \cdot (-\sin \alpha). \quad (37)$$

Знаючи середньоквадратичні похибки виміряних величин, які рівні $d \Rightarrow m_d$, $\alpha \Rightarrow m_\beta$ (середньоквадратичну похибку виміряних кутів представимо у вигляді радіан, де m_β представлена в секундах: $m_{\beta rad} = m_\beta / 206265''$) та похідні функцій (36) та (37), можемо визначити функцію середньоквадратичної похибки величини, що визначається $V_x \Rightarrow m_{V_x}$, відповідно до (33):

$$m_{\Delta x}^2 = ((1 \cdot \cos \alpha)^2 m_d^2) + ((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{\beta rad}^2). \quad (38)$$

Підставивши вихідні дані, можемо знайти похибку приростів координат по осі X.

2.2.2. Таким же чином визначаємо похідні функції та середньоквадратичну похибку координат по осі Y.

3. Аналіз похибок при зміні довжини проектної лінії та дирекційного кута.

Встановивши величину похибок визначення координат полярним способом для конкретного випадку, виконаємо аналіз отриманих результатів. Для цього скористаємось програмним забезпеченням Microsoft Excel.

3.1. Відкрийте нову книгу Excel. Створіть у ній дві таблиці (10 стовпчиків, 20 рядків). У таблицях заповнені вихідні дані – перші чотири стовпчики. Таблиці містять певні відмінності. Перша таблиця містить стовпчик, у якому змінюється довжина лінії від 5 м до 90 м з кроком у 5 м. Друга таблиця містить стовпчик дирекційного кута, який змінюється від 0 до 270 з кроком у 15 ° (3–4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	d	α	m _d	m β (секунд)	$((1 - \cos \alpha)^2 \cdot m_d^2)$	$((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{pmax}^2)$	m Δx			m Δy
2	5									
3	10									
4	15									
5	20									
6	25									
7	30									
8	35									
9	40									
10	45									
11	50									
12	55									
13	60									
14	65									
15	70									
16	75									
17	80									
18	85									
19	90									
20										

Рисунок 3 – Таблица аналізу впливу зміни довжини лінії на похибку

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
25	d	α	m _d	m β (секунд)	$((1 - \cos \alpha)^2 \cdot m_d^2)$	$((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{pmax}^2)$	m Δx			m Δy
26										
27	0									
28	15									
29	30									
30	45									
31	60									
32	75									
33	90									
34	105									
35	120									
36	135									
37	150									
38	165									
39	180									
40	195									
41	210									
42	225									
43	240									
44	255									
45	270									
46										

Рисунок 4 – Таблица аналізу впливу зміни дирекційного кута на похибку

3.2. Вносите свої вихідні дані в таблицю.

3.3. Далі формується формула для визначення похибки. Розглянемо формули Excel на прикладі формули (38): $m_{\Delta x}^2 = ((1 \cdot \cos \alpha)^2 m_d^2) + ((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{\beta rad}^2)$.

Спершу розділимо формулу на 3 частини. Де її перша частина $((1 \cdot \cos \alpha)^2 m_d^2)$ – це стовбець 5 таблиці, а друга частина $((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{\beta rad}^2)$ – стовбець 6 таблиці, третя частина – це знаходження квадратного кореня суми двох перших частин.

3.4. Далі кожен частину формули представимо у вигляді формули Excel і розберемо її.

Формули в Excel завжди починаються із знака «=». Як дані для формули можуть бути використанні як числа, так і комірки, у яких ці числа записані заздалегідь. При написанні формул потрібно уважно слідкувати за кількістю дужок – кількість відкритих дужок повинна відповідати кількості закритих дужок (рис. 5–7).

	A	B	C	D	E
	d	α	md	mβ (секунд)	$((1 \cdot \cos \alpha)^2 m_d^2)$
1					
2	5	11,1	0,01666667	124	<code>=1*COS(РАДИАНЫ(\$B\$2))^2*\$C\$2^2</code>
3	10				
4	15				

Рисунок 5 – Перша частина формули

	A	B	C	D	E	F
	d	α	md	mβ (секунд)		$((d \cdot (-\sin \alpha))^2 \cdot m_{\beta rad}^2)$
1						
2	5	11,1	0,016666667	124		<code>=A2*(-SIN(РАДИАНЫ(\$B\$2)))^2*(РАДИАНЫ(\$D\$2/3600))^2</code>

Рисунок 6 – Друга частина формули

	A	B	C	D	E	F	G
1	d	α	md	$m\beta$ (секунд)			$m\Delta x$
2	5	11,1	0,016666667	124	0,0002675	0,0000003	=КОРЕНЬ(E2+F2)
3	10						КОРЕНЬ(число)

Рисунок 7 – Третя частина формули

На рисунках 5–7 подано такі позначення:

- * – знак множення;
- COS() – визначає косинус числа (радіан) в дужках;
- РАДІАНИ() – переводить градуси (вказані в дужках) у радіани;
- ()^2 – підносить число в дужках до квадрату;
- B27 – вказує на конкретну комірку з даними, яка розташована в стовбці

B та рядку 27 (адреса комірки);

- \$C\$27 – вказує на конкретну комірку з даними, яка знаходиться в стовбці C та рядку 27, а знак \$ вказує про незмінність адреси комірки в формулі при використанні автозаповнення.

- SIN() – визначає синус числа (радіан) у дужках;
- / – знак ділення;
- КОРІНЬ() – знаходить квадратний корінь числа в дужках.

3.5. Коли вихідні дані і формули були внесені у відповідні комірки, щоб не повторювати внесення формул у кожен стовбець вручну, використовується спеціальна функція.

Спочатку виділяється комірка з формулою, далі курсор наводиться на нижній правий кут комірки та затискається ліва кнопка миші (рис. 8).

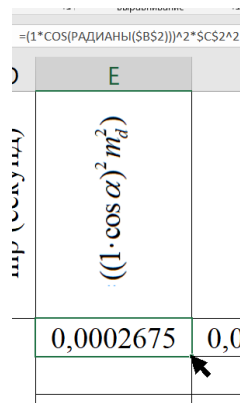


Рисунок 8 – Крок 1 автозаповнення формул

Далі курсор по стовпчику протягують вниз до останнього рядка та відпускають ліву кнопку миші (рис. 9).

	A	B	C	D	E
26	d	α	m _d	m _β (секунд)	(1 · cos α) ² · m _d ²
27		0			0,1111111
28		15			0,1036681
29	100	30	0,333333333	124	0,0833333
30		45			0,0555556
31		60			0,0277778
32		75			0,0074430
33		90			

Рисунок 9 – Крок 2 автозаповнення формул

Функції першої і наступних формул залишаються без змін, адреси комірок зі знаком \$ також не змінюються, а комірки без знака \$ змінюють адресу (рис. 10).

d	α	md	$m\beta$ (секунд)	$((1 - \cos \alpha)^2 m_{\beta}^2)$
0			$= (1 * \text{COS}(\text{РАДИАНЫ}(B27)))^2 * \$C\$27^2$	
15				0,1036681
30				0,0833333
45				0,0555556
60				0,0277778
75				0,0074430
90				

Рисунок 10 – Автозаповнені формули

Таким чином визначаються похибки координат по осі X для аналізу по довжині лінії та дирекційному куту.

3.6. Розрахувавши похибки, будемо графік. Спочатку виділяємо дані стовпчика із розрахованими похибками, вибираємо вкладку «Вставка», «Графік» та обираємо тип графіка (рис. 11–12).

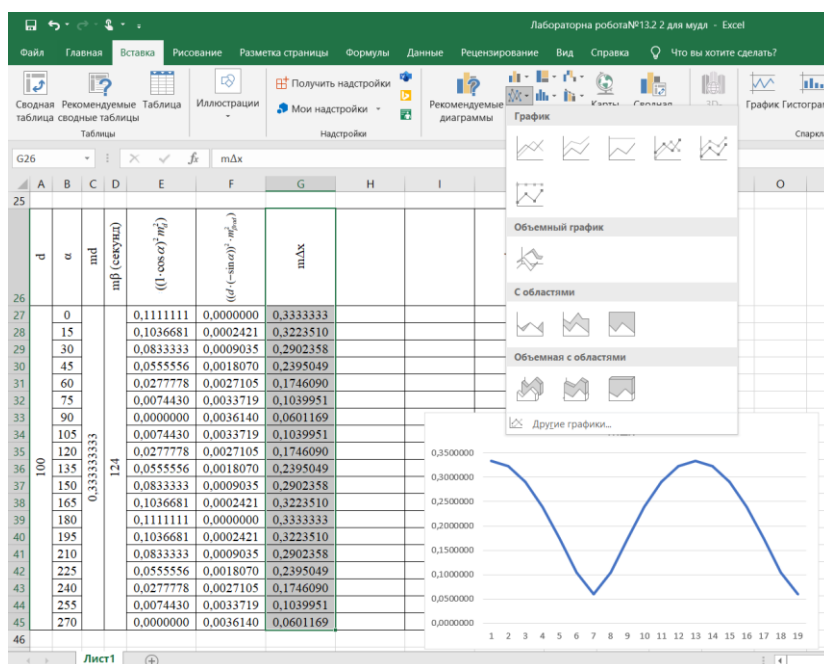


Рисунок 11 – Побудова графіка характеристики зміни похибки при зміні дирекційного кута

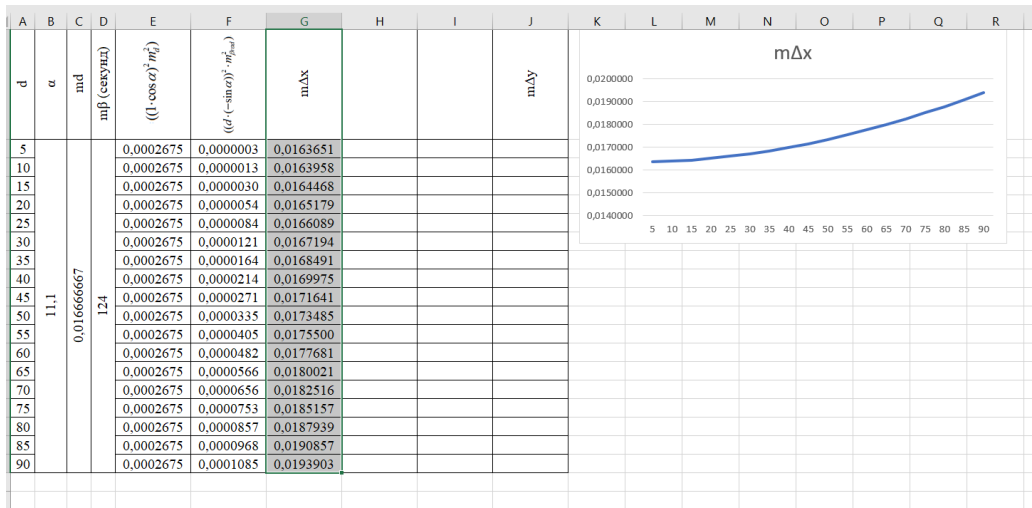


Рисунок 12 – Графік характеристики зміни похибки при зміні довжини проєктної лінії

3.7. Таблиці Excel з розібраними вище формулами представлені на платформі Moodle. Вносимо свої дані, далі такими же чином визначаємо похибку для координат по осі Y та будуємо графік.

Питання для самоперевірки

1. Що таке нев'язка?
2. Як виконується зйомка полярним способом?
3. Що таке магнітний азимут?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ВРІВНОВАЖЕННЯ ТЕОДОЛІТНИХ ХОДІВ

Мета роботи: навчитися розв'язувати пряму геодезичну задачу в лабораторних умовах, виконувати врівноваження замкнутого і розімкнутого теодолітних ходів планової знімальної основи.

Обладнання: теодоліт або тахеометр, штатив, підставка під штатив, нівелірна рейка, калькулятор для інженерних розрахунків, олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

Пояснення до виконання роботи. Якщо Ви бачите в вихідних даних завдання знак «#» – цей знак замінити на номер варіанту за списком при виконанні цього завдання. Завдання виконуються послідовно; вказується текст завдання та формули для розрахунків, якщо вони використовуються; відповіді та розрахунки проводяться за варіантом у виділеному для цього місці – після тексту завдання. Рекомендації до виконання завдань та приклади слугують лише для ознайомлення з особливостями процесу виконання завдань та послідовністю розрахунків цих завдань.

Частина 1

Завдання:

1. Привести геодезичний прилад у робоче положення.
2. Виконати вимірювання та розрахунок елементів для вирішення прямої геодезичної задачі.
3. За результатами вимірювань розв'язати пряму геодезичну задачу.

Зуваження: необхідно роздруковувати схему тільки для своєї бригади.

Послідовність виконання завдань лабораторної роботи:

1. Перед встановленням теодоліта або тахеометра в робоче положення переконатись, що всі вузли приладу функціонують справно (гвинти не зірвані, скляні елементи не розбиті тощо), а штатив має всі необхідні елементи, які також

функціонують справно. Установити прилад у робоче положення, за необхідності виконати перевірки приладу. Точка стояння (станція) у кожної бригади своя: PP1, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6.

2. Вимірювання кута та довжини.

2.1. Виміряти кут між двома напрямками (для кожної бригади свій – рисунок 13–18) способом прийомів, за годинниковою стрілкою від початкового напрямку (задній). Ця лінія має відомий дирекційний кут та прямокутні координати станції. Результати вимірювань занести в таблицю 7.

Таблиця 7 – Вихідні дані

Дирекційний кут лінії між точками		X	Y	Визначити прямокутні координати точки (передній)
станція	вихідний напрямок (задній)			
Для бригади № 1				
PP1				T8
	T6	10,422 3	4,892 4	
Для бригади № 2				
PP2				T4
	T6	10,422 3	4,892 4	
Для бригади № 3				
PP3				T2
	T1	-1,535 7	5,866 1	
Для бригади № 4				
PP4				T3
	T1	-1,535 7	5,866 1	
Для бригади № 5				
PP5				T6
	T1	-1,535 7	5,866 1	
Для бригади № 6				
PP6				T7
	T3	4,651 5	-1,587	

Для бригады № 1

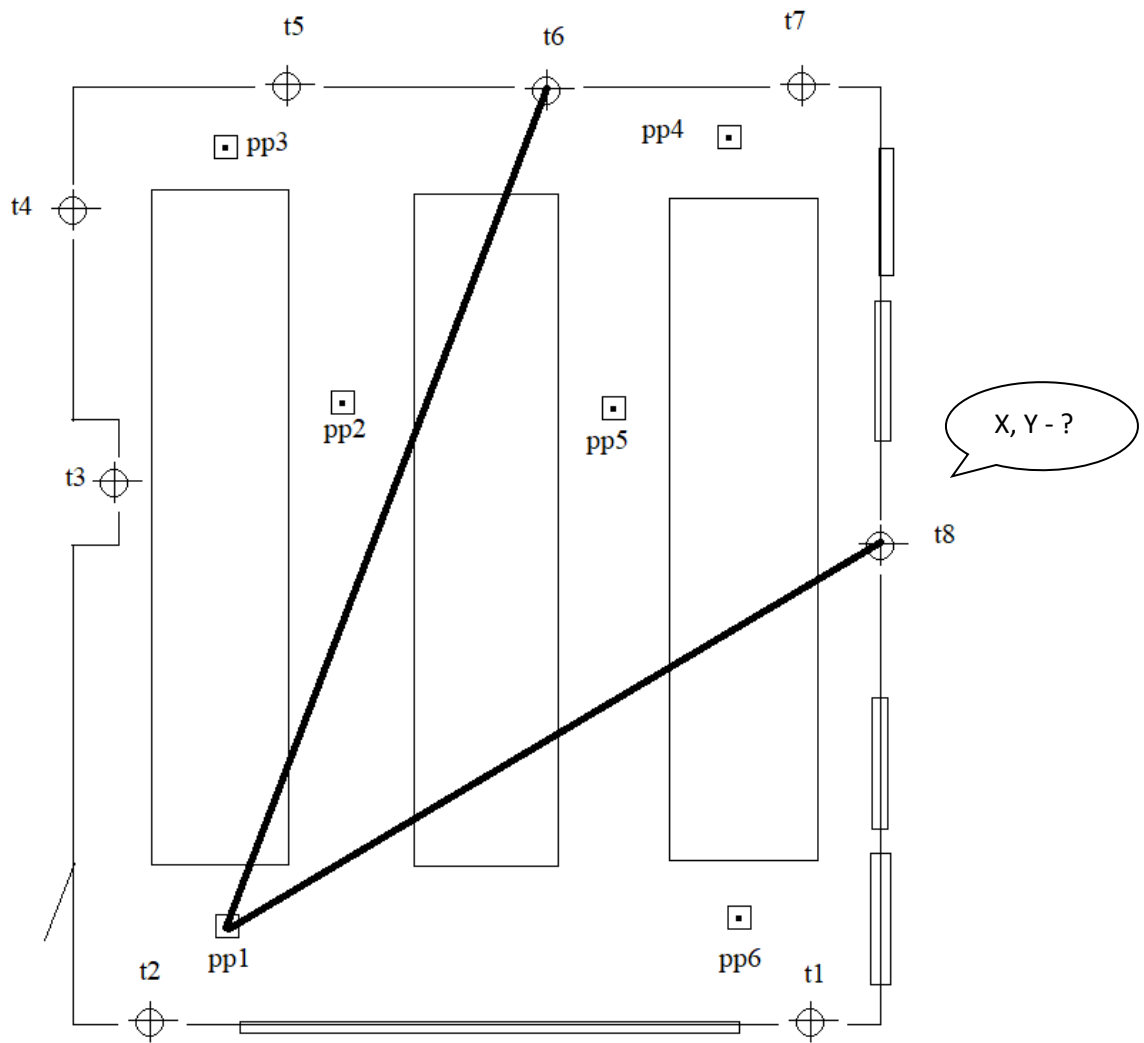


Рисунок 13 – Схема кута

Для бригады № 2

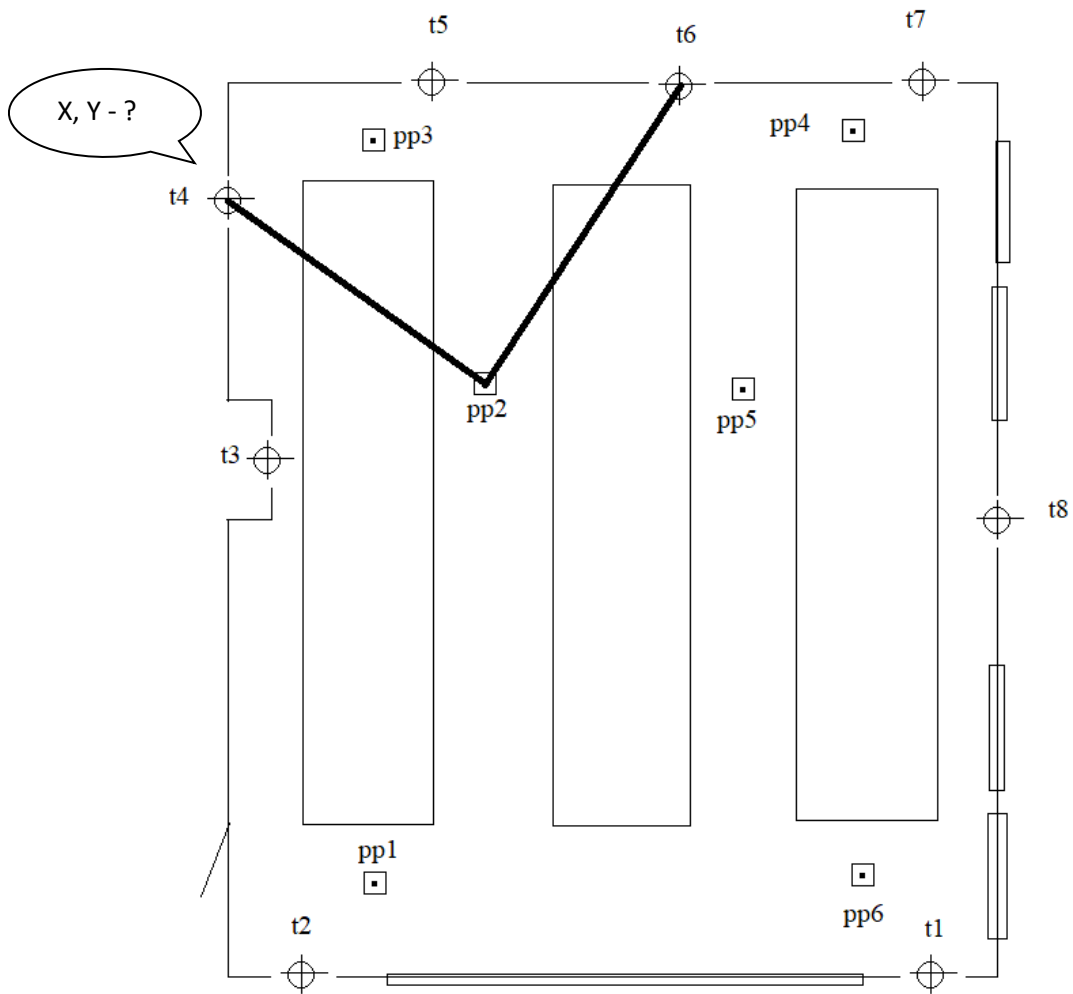


Рисунок 14 – Схема кута

Для бригады № 3

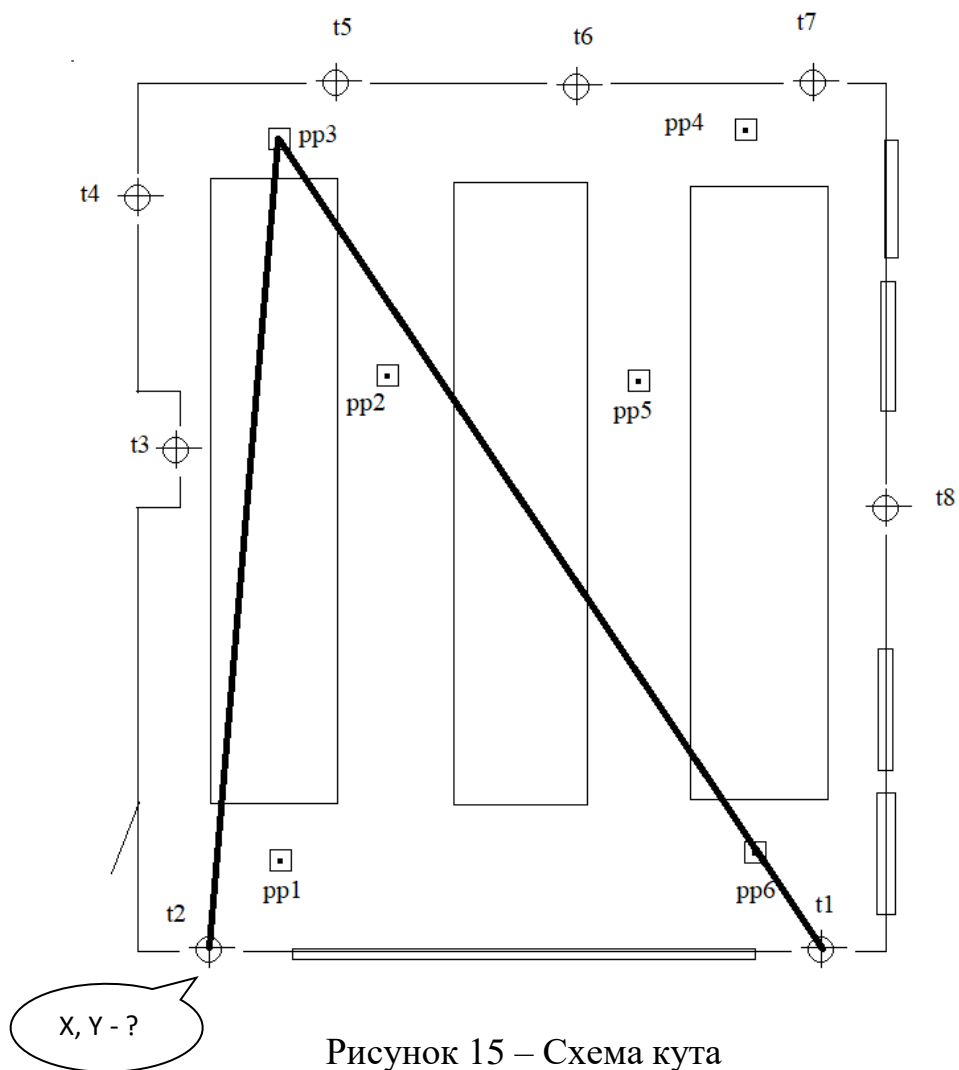


Рисунок 15 – Схема кута

Для бригады № 4

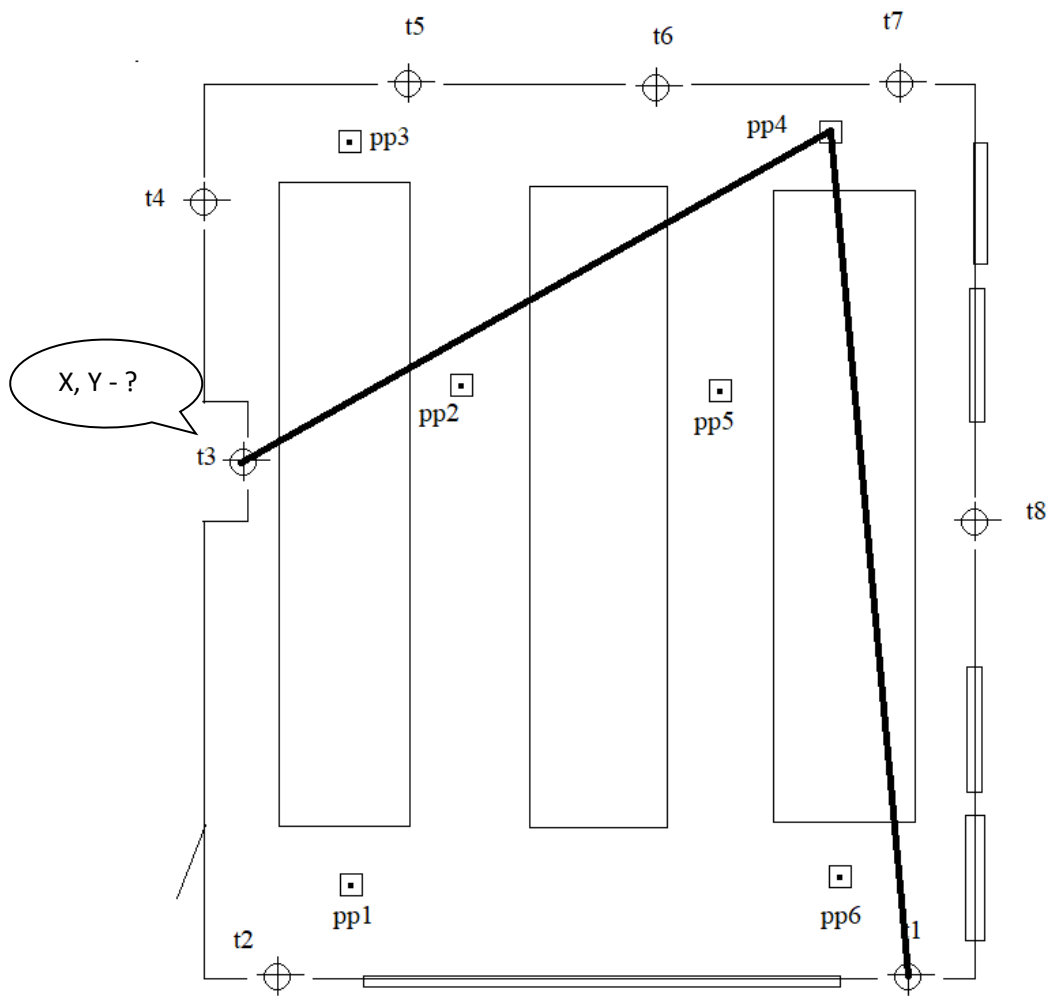


Рисунок 16 – Схема кута

Для бригады № 5

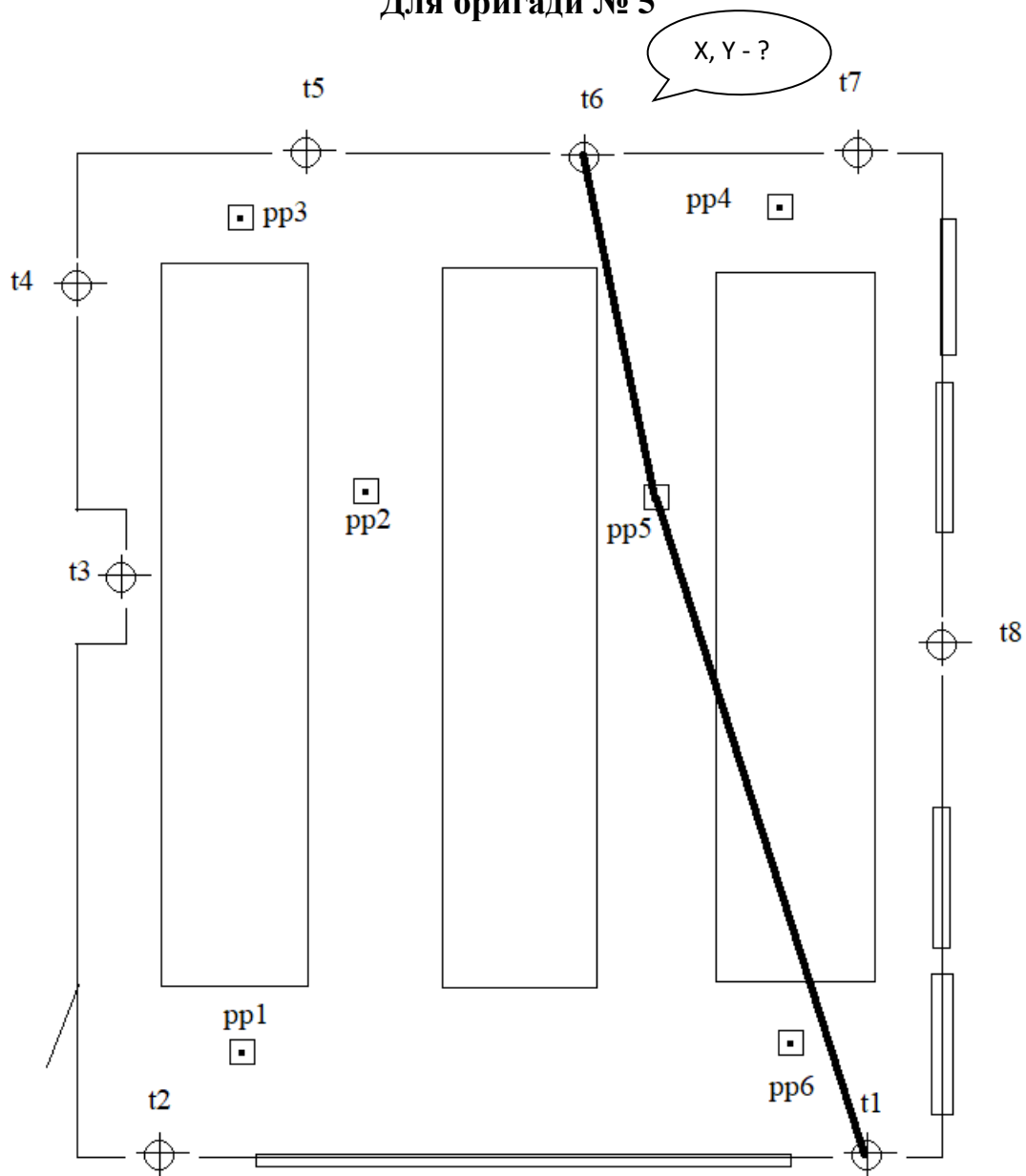


Рисунок 17 – Схема кута

Для бригады № 6

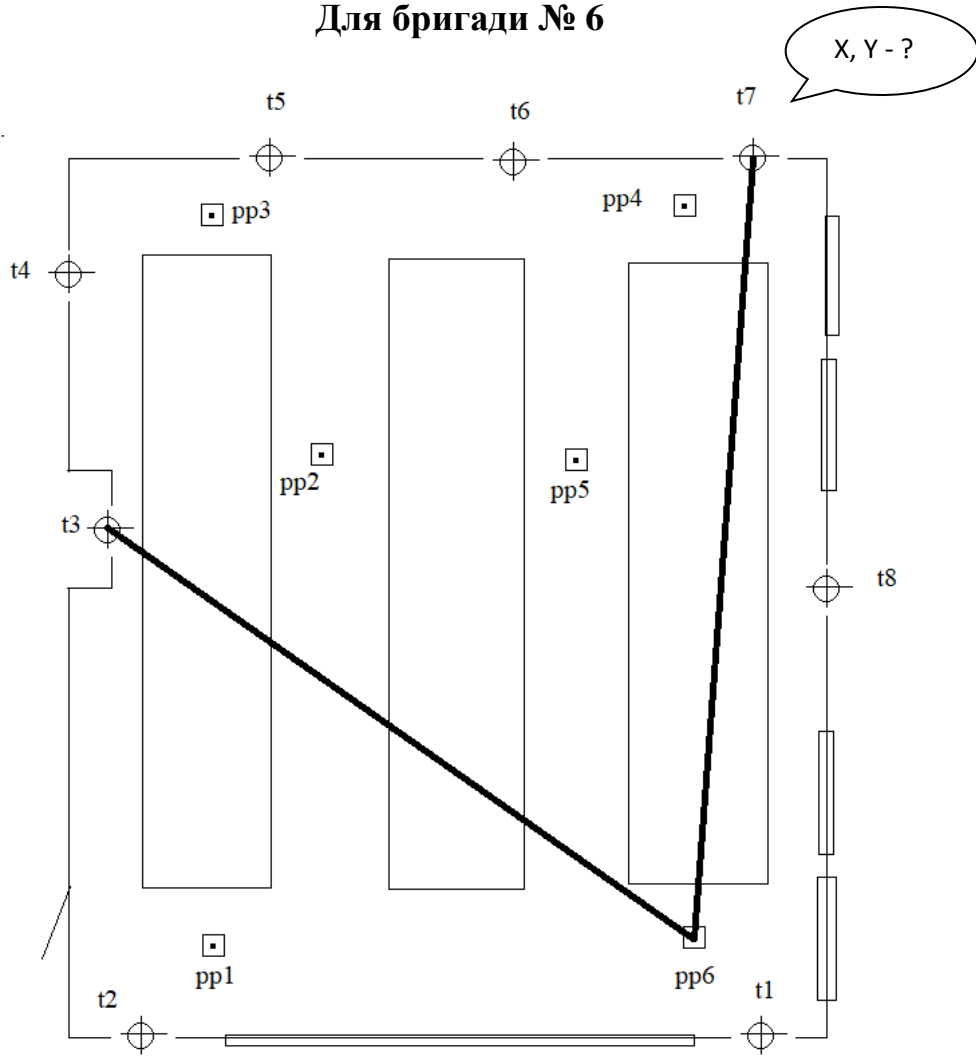


Рисунок 18 – Схема кута

Таблиця 8 – Кутові виміряні способом прийомів

Номер станції	Номер точки	Круг	Відліки за ГК (N1, N2)		Кут з напівприйому		Кут з прийому (β)		Середнє значення (β)		Схема вимірювань
			°	'	°	'	°	'	°	'	
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									
		КП									
		КЛ									

2.2. Взявши відлік на два напрямки, далі визначається кут між цими напрямками, від переднього (N_2) напрямку віднімається задній (N_1):

$$\beta_i^{КП/КЛ} = N_2 - N_1 \quad (39)$$

2.2. Визначивши кути з напівприймів, знайдемо кути з прийомів:

$$\beta_i^{cp} = (N_{КЛ} + N_{КП}) / 2 \quad (40)$$

2.3. Далі визначаємо середнє значення кута:

$$\beta_{\text{сеп}} = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) / 3 \quad (41)$$

2.4. Опісля проводимо визначення горизонтального прокладення між станцією та передньою точкою, проводиться вимірювання довжини між ними. Для цього використовується нівелірна рейка і теодоліт. Рейку встановлюють на точку, відстань до якої необхідно визначити, визначають висоту приладу, центральною ниткою наводять на рейку, на значення висоти приладу. Беруть відлік по нижній N_1 та верхній N_2 сітці віддалемірних ниток (рис. 19). Вимірювання провести три рази, при кожному вимірюванні змінюючи висоту приладу, результати записати в таблицю 9.

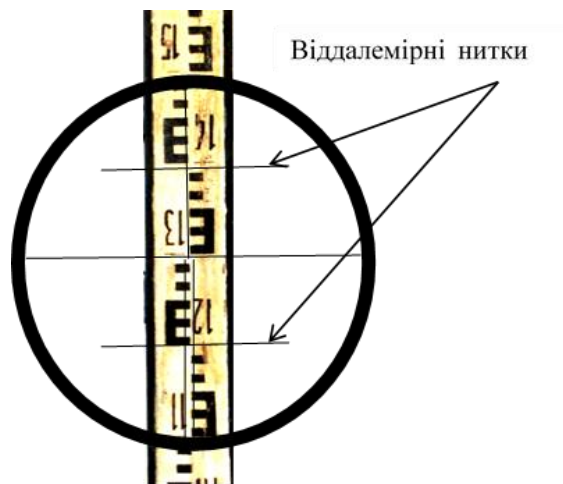


Рисунок 19 – Віддалемірні нитки при наведені на рейку

Таблиця 9 – Визначення відстані

№ з/п	Відліки на напрямок N_1 , мм	Відліки на напрямок N_2 , мм	$N_2 - N_1$, мм	Середнє значення, мм	Відстань, м
1					
2					
3					

2.5. Визначити різницю відліків: $|N_1 - N_2|_n$.

2.6. Знайти середнє значення відліків: $|N_1 - N_2|_{\text{сеп}}$.

2.7. Далі знаходимо відстань:

$$d = 100 \cdot |N_1 - N_2|_{сер}, \quad (42)$$

3. За результатами вимірювань розв'язати пряму геодезичну задачу.

Таблиця 10 – Вихідні та результуючі дані для розв'язання прямої геодезичної задачі (заповнити)

Відомо:	
X_{PP}	
Y_{PP}	
X_T	
Y_T	
Виміряти:	
$\alpha_{задня}$	
β	
Знайти:	
$\alpha_{передня}$	
$X_{передня}$	
$Y_{передня}$	

3.1. Визначаємо дирекційний кут заднього напрямку за координатами відомих точок:

$$r_{задня} = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (43)$$

3.2. Вимірявши кут між двома напрямками, визначаємо дирекційний кут переднього напрямку:

$$\alpha_{передня} = \alpha_{задня} + \beta \quad (44)$$

3.3. Маючи дирекційний кут лінії координати точки початку лінії, можемо знайти координати кінця лінії:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d \cdot \cos \alpha_{задня}, \\ \Delta y &= d \cdot \sin \alpha_{задня}, \\ X_{передня} &= X_{PP} + \Delta x, \\ Y_{передня} &= Y_{PP} + \Delta y. \end{aligned} \quad (45)$$

Частина 2

Завдання

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Провести обробку результатів польових вимірювань.

Рекомендації до виконання завдань.

1. Визначити свій варіант згідно зі списком групи. Вихідні дані для проведення камеральних робіт (табл. 11).

Таблиця 11 – Результати польових вимірювань

Номер точки	Горизонтальне прокладення	Вимірний кут		Дирекційний кут		Координати	
		°	'	°	'	X	Y
№	d, м						
PP1						453,64+11·#	786,56+14·#
	65,16			65+2·#	20+#		
PP2		80	17,5				
	156,14						
1		94	15,5				
	57,1						
2		140	50				
	83,6						
3		94	7				
	119,16						
PP1		130	32,5				

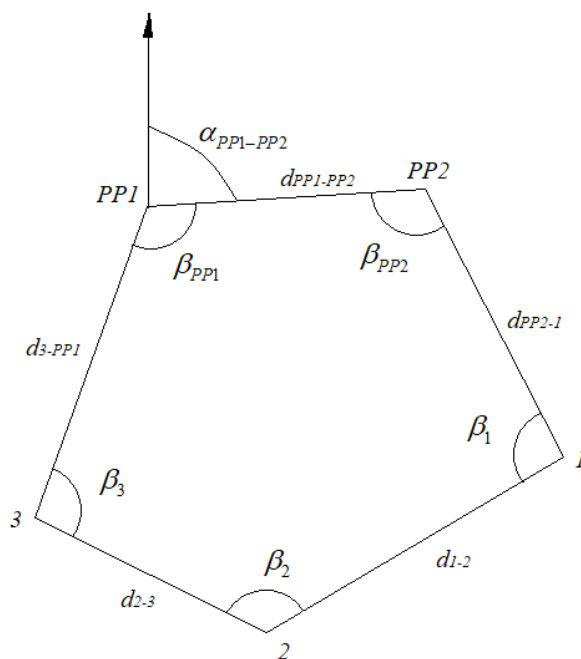


Рисунок 20 – Схема замкнутого теодолітного ходу

Таблиця 12 – Відомість обчислення координат точок теодолітного полігону

Номер точки	Горизонтальне прокладення	Вимірний кут		Поправки	Виправлений кут		Дирекційний кут		Прирости координат				Виправлені прирости координат		Координати	
		°	'		'	°	'	°	'	Δx	поправ-ка по Δx	Δy	поправ-ка по Δy	Δx	Δy	X
№	d, м	°	'	'	°	'	°	'	Δx	поправ-ка по Δx	Δy	поправ-ка по Δy	Δx	Δy	X	Y
1	2	3		4	5		6								11	12
PP1	65,16															
PP2	156,14	80	17,5													
1	57,1	94	15,5													
2	83,6	140	50													
3	119,16	94	7													
PP1		130	32,5													
	Σd	$\Sigma \beta$							$\Sigma \Delta x$		$\Sigma \Delta y$		$\Sigma \Delta x$	$\Sigma \Delta y$		

2. Обробка результатів польових вимірювань теодолітного ходу.

2.1. Обробка кутових вимірювань:

2.1.1. Фактична сума кутів багатокутника:

$$\sum \beta_{\text{факт}} = \beta_{pp1} + \beta_{pp2} + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \quad (46)$$

2.1.2. Теоретична сума кутів многокутника, що описує замкнутий теодолітний хід:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180(n-2) \quad (47)$$

2.1.3. Відхилення суми виміряних кутів від теоретичної обчислюють за формулами:

$$f_{\beta\text{факт}} = \sum \beta_{\text{факт}} - \sum \beta_{\text{теор}} \quad (48)$$

$$f_{\beta\text{дон}} = 2t\sqrt{n}, \quad (49)$$

де n – кількість точок ходу.

2.1.4. Поправки у виміряні β кути вводяться з оберненим знаком:

$$p_i^\beta = -\frac{f_\beta}{n} \quad (50)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.1.5. Сума поправок до виміряних β кутів повинна дорівнювати нев'язці з оберненим знаком **Контроль**:

$$f_{\beta\text{факт}} = -\sum p_i^\beta \quad (51)$$

2.1.6. Вносять поправки до виміряних β кутів – отримують виправлені кути β :

$$\beta_i^{вип} = \beta_i + p_i^\beta \quad (52)$$

Результати розрахунків занести в таблицю 12.

2.1.7. **Контроль.** Сума виправлених кутів β повинна дорівнювати теоретичній сумі кутів:

$$\sum \beta_i^{вип} = \sum \beta_i^{теор} \quad (53)$$

2.2. Визначення дирекційних кутів.

2.2.1. Позначити на схемі дирекційні кути всіх точок теодолітного ходу (рис. 21):

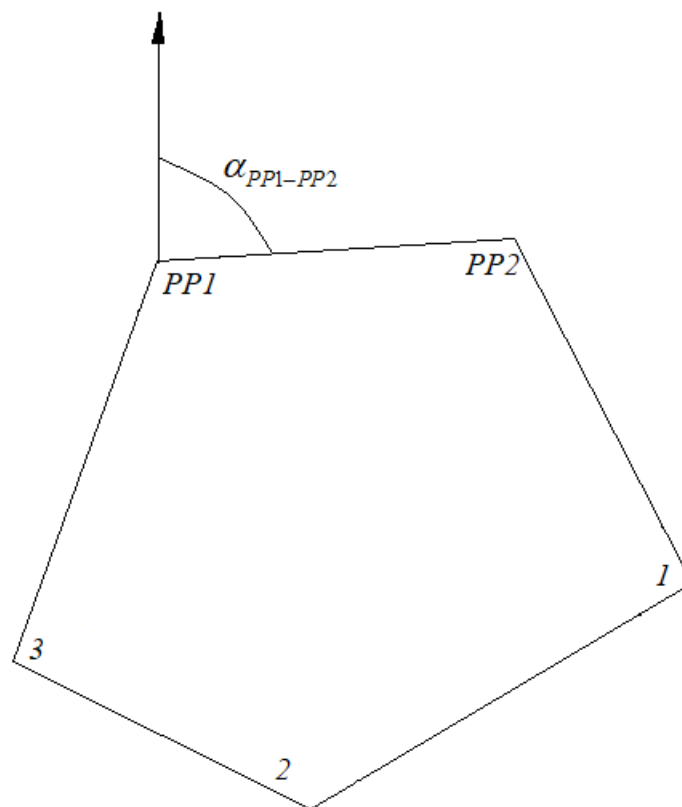


Рисунок 21 – Схема дирекційних кутів теодолітного ходу

2.2.2. Після ув'язування вимірних кутів обчислюють дирекційні кути, використовуючи значення початкового дирекційного кута α_{1-2} і виправлених кутів β теодолітного ходу:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^0 + \beta_i^{ліб} \quad (54)$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^0 - \beta_i^{np} \quad (55)$$

Контроль. Розрахований за формулою кут α_{1-2} повинен дорівнювати вихідному куту α_{1-2} .

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.3. За визначеними дирекційними кутами сторін теодолітного полігону α і горизонтальними проєкціями ліній d обчислюють приріст координат:

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (56)$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (57)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.4. У зімкнутому ході сума приростів координат по осі X та по осі Y теоретично повинна дорівнювати нулю:

$$\sum_{теор} \Delta x_i = 0, \quad (58)$$

$$\sum_{теор} \Delta y_i = 0, \quad (59)$$

Практично ж через неминучі похибки при вимірюванні, особливо сторін теодолітного ходу, вона не дорівнює нулю. Тоді різниця фактичної та теоретичної суми приростів координат буде дорівнювати нев'язці:

$$f_x = \sum_{факт} \Delta x_i - \sum_{теор} \Delta x_i, \quad (60)$$

$$f_y = \sum_{факт} \Delta y_i - \sum_{теор} \Delta y_i, \quad (61)$$

Абсолютну нев'язку в приростах координат обчислюють за формулою:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (62)$$

Поділивши абсолютну нев'язку на суму сторін замкнутого теодолітного ходу, дістають відносну нев'язку, яка характеризує точність виконання польових вимірювань:

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{\sum d} \quad (63)$$

2.2.5. Якщо відносна нев'язка теодолітного ходу менша за допустиму:

$$f_{відн} \leq f_{доп}, \quad (64)$$

$$f_{доп} = 2000$$

то обчислені прирости координат виправляють по осі X на величину f_x , а по осі Y – на величину f_y .

2.2.6. Поправки вводять у прирости координат з оберненим знаком пропорційно до довжин:

$$p_i^x = -\frac{f_x \cdot d_i}{\sum d} \quad (65)$$

$$p_i^y = -\frac{f_y \cdot d_i}{\sum d} \quad (66)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.7. Сума поправок до виміряних приростів координат повинна дорівнювати нев'язці з оберненим знаком. **Контроль:**

$$f_x = -\sum p_i^x \quad (67)$$

$$f_y = -\sum p_i^y \quad (68)$$

2.2.8. Поправки округлюють до 0,01 м. Знайдені поправки алгебраїчно підсумовують з відповідними координатами і отримують виправлені прирости координат.

$$\Delta x_i^{sum} = \Delta x_i + p_{xi}, \quad (69)$$

$$\Delta y_i^{sum} = \Delta y_i + p_{yi}, \quad (70)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.9. Сума виправлених приростів для теодолітного полігону повинна дорівнювати нулю **Контроль**:

$$\sum \Delta x_i^{sum} = 0 \quad (71)$$

$$\sum \Delta y_i^{sum} = 0 \quad (72)$$

2.2.10. За виправленими приростами координат від початкової точки з відомими координатами послідовно обчислюють координати всіх точок ходу за формулами:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta x_{i-1} \quad (73)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta y_{i-1} \quad (74)$$

Контроль. У результаті розраховані координати точки РР1 повинні дорівнювати заданим координатам точки РР1.

Результати розрахунків занести в таблицю.

Частина 3

Завдання

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Провести обробку результатів польових вимірювань.
3. Зробити висновок про проведену роботу.

Рекомендації до виконання завдань.

1. Визначити свій варіант згідно зі списком групи. Вихідні дані для проведення камеральних робіт (табл. 13–14).

Таблиця 13 – Результати польових вимірювань (вихідні дані)

Номер точки	Горизонтальне прокладення	Вимірний кут		Дирекційний кут		Координати			
		№	d, м	°	'	°	'	X початкове	Y початкове
PP1						11	12		
	87,16			128+#	30-#	X	Y		
1		219	17,5						
	156,14								
2		94	15,5						
	107,1								
3		216	50						
	123,6								
4		85	7						
	139,16			23+#	58-#				
PP2						X кінцеве	Y кінцеве		

Таблиця 14 – Результати польових вимірювань (вихідні дані)

Варіант #	X початкове	Y початкове	Варіант #	X початкове	Y початкове
Варіант	X кінцеве	Y кінцеве	Варіант	X кінцеве	Y кінцеве
1	-70,77	602,79	16	19,36	677,28
2	-65,1	608,47	17	25,83	681,44
3	-59,39	614,06	18	32,37	685,5
4	-53,64	619,55	19	38,97	689,49
5	-47,85	624,92	20	45,64	693,37
6	-42	630,2	21	52,38	697,17
7	-36,1	635,38	22	59,19	700,87
8	-30,17	640,42	23	66,09	704,49
9	-24,16	645,38	24	73,05	708,01
10	-18,12	650,25	25	80,09	711,45
11	-12,02	654,99	26	87,2	714,81
12	-5,87	659,65	27	94,42	718,09
13	0,36	664,21	28	101,7	721,28
14	6,62	668,67	29	109,06	724,39
15	12,97	673,02	30	116,52	727,44

Таблиця 15 – Відомість обчислення координат точок теодолітного полігону

Номер точки	Горизонтальне прокладення	Вимірний кут		По-правка	Виправлений кут		Дирекційний кут		Прирости координат				Виправлені прирости координат		Координати	
		°	'		°	'	°	'	Δx	поп-правка по Δx	Δy	поп-правка по Δy	Δx	Δy	X	Y
№	d, м	°	'	'	°	'	°	'	Δx	поп-правка по Δx	Δy	поп-правка по Δy	Δx	Δy	X	Y
1	2	3		4	5		6								11	12
PP1																
	87,16															
1	156,14	219	17,5													
2	107,1	94	15,5													
3	123,6	216	50													
4	139,16	85	7													
PP2																
	Σd	Σβ		fβ					ΣΔx	fx	ΣΔy	fy	ΣΔx	ΣΔy		

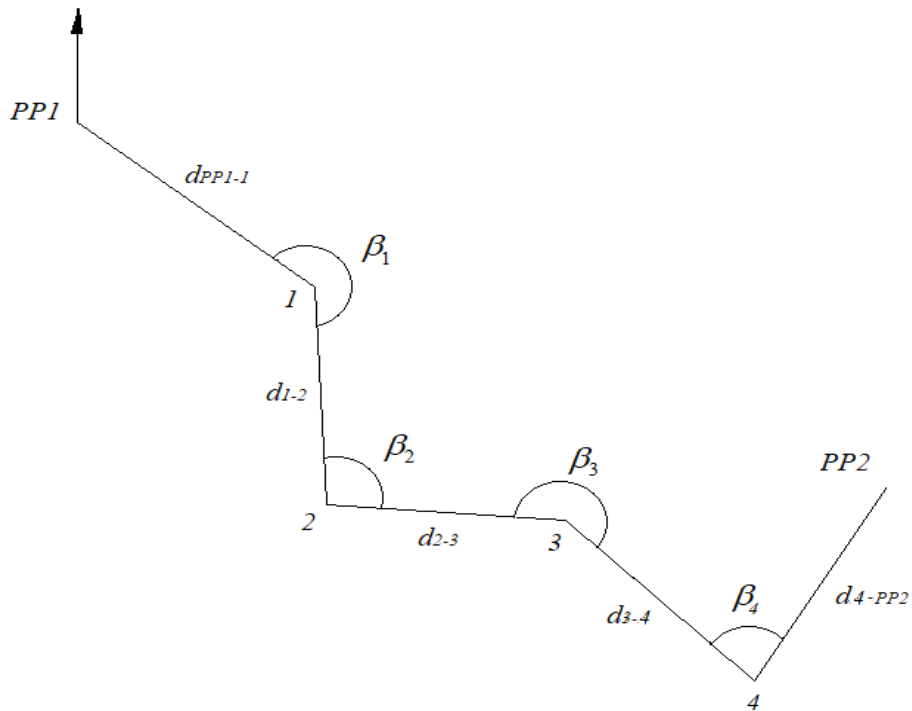


Рисунок 22 – Схема розімкнутого теодолітного ходу

2. Обробка результатів польових вимірювань теодолітного ходу.

2.1. Обробка кутових вимірювань.

2.1.1. Фактична сума кутів багатокутника:

$$\sum \beta_{\text{факт}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 \quad (75)$$

2.1.2. Теоретична сума кутів багатокутника, що описує розімкнутий теодолітний хід:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{кінцеве}} - \alpha_{\text{початкове}} \quad (76)$$

2.1.3. Відхилення суми виміряних кутів від теоретичної обчислюють за формулою:

$$f_{\beta_{\text{факт}}} = \sum \beta_{\text{факт}} - \sum \beta_{\text{теор}} \quad (77)$$

2.1.4. Поправки у виміряні β кути вводяться з оберненим знаком:

$$p_i^\beta = -\frac{f_\beta}{n} \quad (78)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.1.5. Сума поправок до виміряних β кутів повинна дорівнювати нев'язці з оберненим знаком **Контроль**:

$$f_{\beta\text{факт}} = -\sum p_i^\beta \quad (79)$$

2.1.6. Вносять поправки до виміряних β кутів – отримують виправлені кути β :

$$\beta_i^{\text{вип}} = \beta_i + p_i^\beta \quad (80)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.1.7. **Контроль**. Сума виправлених кутів β повинна дорівнювати теоретичній сумі кутів:

$$\sum \beta_i^{\text{вип}} = \sum \beta_i^{\text{теор}} \quad (81)$$

2.3. Визначення дирекційних кутів.

2.3.1. Позначити на схемі дирекційні кути всіх точок теодолітного ходу:

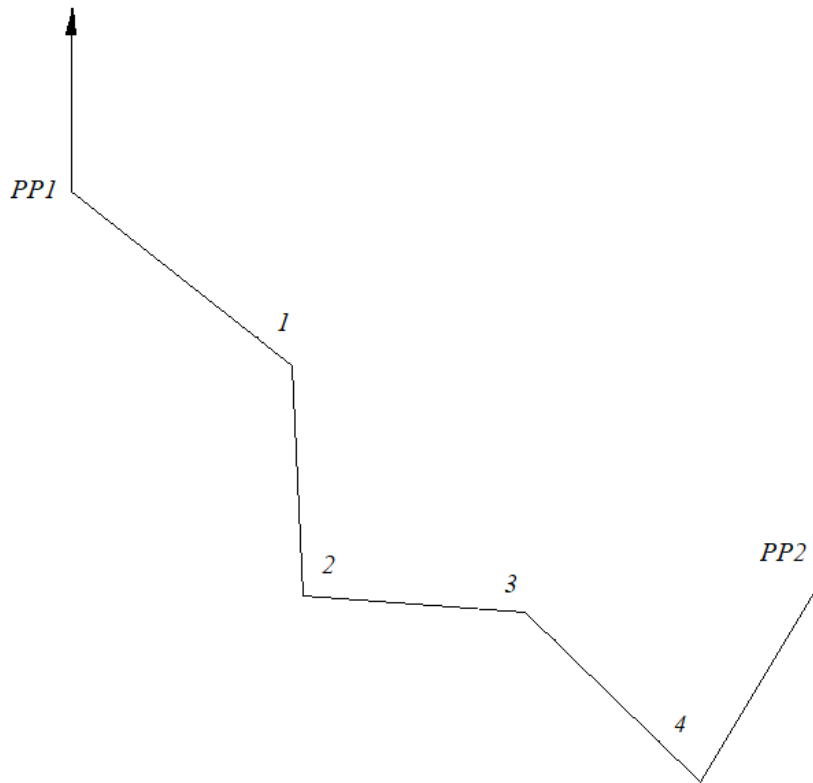


Рисунок 23 – Схема дирекційних кутів розімкнутого теодолітного ходу

2.3.2. Після ув'язування виміряних кутів обчислюють дирекційні кути, використовуючи значення початкового дирекційного кута α_{1-2} і виправлених кутів β теодолітного ходу:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^0 + \beta_i^{ліб} \quad (82)$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^0 - \beta_i^{пр} \quad (83)$$

Контроль. Розрахований за формулою кут α_{4-PP2} повинен дорівнювати вихідному куту α_{4-PP2} .

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.3.3. За визначеними дирекційними кутами сторін теодолітного полігону α і горизонтальними проєкціями ліній d обчислюють приріст координат:

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (84)$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (85)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.3.4. У розімкнутому ході сума приростів координат по осі X та по осі Y теоретично повинна дорівнювати різниці координат кінцевої та початкової точок ходу:

$$\sum_{теор} \Delta x_i = X_{кінцева} - X_{початкове}, \quad (86)$$

$$\sum_{теор} \Delta y_i = Y_{кінцева} - Y_{початкове} \quad (87)$$

Практично ж через неминучі похибки при вимірюванні, особливо сторін теодолітного ходу, має певне відхилення. Тоді різниця фактичної та теоретичної суми приростів координат буде дорівнювати нев'язці:

$$f_x = \sum_{факт} \Delta x_i - \sum_{теор} \Delta x_i, \quad (88)$$

$$f_y = \sum_{факт} \Delta y_i - \sum_{теор} \Delta y_i, \quad (89)$$

Абсолютну нев'язку в приростах координат обчислюють за формулою:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (90)$$

Поділивши абсолютну нев'язку на суму сторін теодолітного ходу, дістають відносну нев'язку, яка характеризує точність виконання польових вимірювань:

$$f_{відн} = \frac{f_{абс}}{\sum d} \quad (91)$$

2.3.5. Якщо відносна нев'язка теодолітного ходу менша за допустиму:

$$f_{відн} \leq f_{дон}, \quad (92)$$

$$f_{дон} = 2000$$

то обчислені прирости координат виправляють по осі X на величину f_x , а по осі Y – на величину f_y .

2.3.6. Поправки вводять у прирости координат з оберненим знаком пропорційно до довжин:

$$p_i^x = -\frac{f_x \cdot d_i}{\sum d} \quad (93)$$

$$p_i^y = -\frac{f_y \cdot d_i}{\sum d} \quad (94)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.7. Сума поправок до вимірних приростів координат повинна дорівнювати нев'язці з оберненим знаком. **Контроль:**

$$f_x = -\sum p_i^x \quad (95)$$

$$f_y = -\sum p_i^y \quad (96)$$

2.2.8. Поправки округлюють до 0,01 м. Знайдені поправки алгебраїчно підсумовують з відповідними координатами і отримують виправлені прирости координат.

$$\Delta x_i^{sum} = \Delta x_i + p_{xi}, \quad (97)$$

$$\Delta y_i^{sum} = \Delta y_i + p_{yi}, \quad (98)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

2.2.10. **Контроль:** сума виправлених приростів для теодолітного полігону повинна дорівнювати різниці координат кінцевої та початкової точок ходу (формули 14.43–14.44).

2.2.11. За виправленими приростами координат від початкової точки з відомими координатами послідовно обчислюють координати всіх точок ходу за формулами:

$$X_i = X_{i-1} + \Delta x_{i-1}^{вин} \quad (99)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta y_{i-1}^{вин} \quad (100)$$

Результати розрахунків занести в таблицю.

У результаті розраховані координати точки РР2 повинні дорівнювати заданим координатам точки РР2.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає розв'язання прямої та оберненої геодезичних задач?
2. Що таке теодолітний хід?
3. У чому різниця в замкненому і розімкненому теодолітному ході?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ВРІВНОВАЖЕННЯ ХОДІВ ПЛАНОВОЇ ЗНІМАЛЬНОЇ ОСНОВИ

Мета роботи: навчитися виконувати врівноваження теодолітних ходів з однією вузловою точкою.

Обладнання: олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

Пояснення до виконання роботи. Якщо Ви бачите в вихідних даних завдання знак «#» – цей знак замінити на номер варіанту за списком при виконанні цього завдання. Завдання виконуються послідовно; вказується текст завдання та формули для розрахунків, якщо вони використовуються; відповіді та розрахунки проводяться за варіантом у виділеному для цього місці – після тексту завдання. Рекомендації до виконання завдань та приклади слугують лише для ознайомлення з особливостями процесу виконання завдань та послідовністю розрахунків цих завдань.

Завдання.

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Провести обробку результатів польових вимірювань.
3. Зробити висновок про проведену роботу.

Рекомендації до виконання завдань.

Зрівнювання системи теодолітних ходів виконують у такій послідовності:

1. Схема з'єднань і стан польових вимірювань показані на рисунку 24. Вихідні дані довжин і кутів брати зі схеми. Координати вихідних пунктів беруться з таблиці 16 і перераховуються залежно від варіанта за формулами.

$$X_{\text{нова}} = X_{\text{вихідна}} + (10 \cdot \#) \cdot \cos(5 \cdot \#)^\circ \quad (101)$$

$$Y_{\text{нова}} = Y_{\text{вихідна}} + (10 \cdot \#) \cdot \sin(5 \cdot \#)^\circ \quad (102)$$

Таблиця 16 – Вихідні дані

Номер пункта	Координати, м	
	X	Y
A	4519,83	5204,38
B	4584,11	5462,18
C	6014,73	6171,34
D	5612,65	6165,08
E	4858,23	7006,76
F	4897,84	6685,61

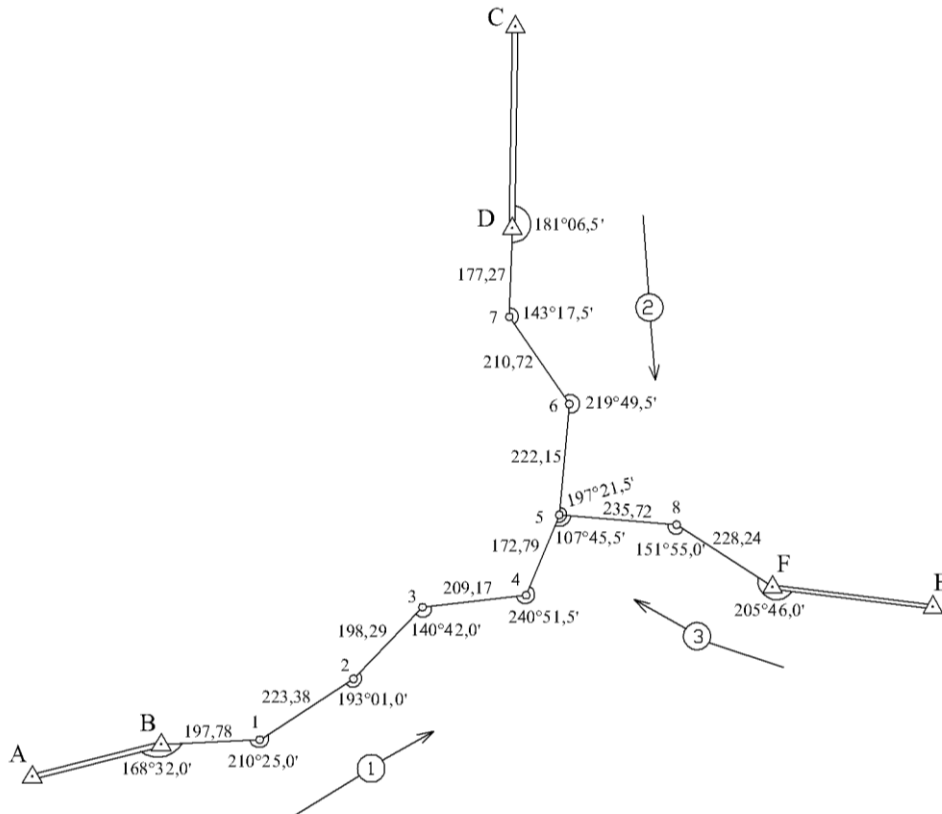


Рисунок 24 – Схема теодолітних ходів

2. Послідовність обробки.

2.1. Вибравши вузлову лінію, наприклад, пінію 4–5, підраховують суми вимірних кутів по кожному ходу: $\Sigma \beta_1$, $\Sigma \beta_2$, $\Sigma \beta_3$

2.2. По всіх трьох ходах обчислюють значення дирекційного кута вузлової лінії 4–5 Обчислення ведуть за формулами:

$$\alpha'_{4-5} = \alpha_{DA} + 180^\circ n_1 - \Sigma \beta_1 \quad (103)$$

$$\alpha''_{4-5} = \alpha_{PB} + 180^\circ n_2 - \Sigma \beta_2 \quad (105)$$

$$\alpha'''_{4-5} = \alpha_{EC} + 180^\circ n_3 - \Sigma \beta_3 \quad (106)$$

$n_1; n_2; n_3$ – число кутів у кожному ході.

Якщо в теодолітних ходах виміряно кути, розташовані зліва за ходом, тоді обчислення дирекційного кута вузлової лінії виконують за формулою:

$$\alpha_K = \alpha_{\Pi} + \Sigma \beta - 180^\circ n \quad (107)$$

2.3. Із обчислених трьох значень дирекційних кутів вузлової лінії 4–5 обчислюють його найімовірніше значення.

$$\alpha_0 = \frac{\alpha'_{4-5} P_1 + \alpha''_{4-5} P_2 + \alpha'''_{4-5} P_3}{P_1 + P_2 + P_3} = \alpha + \frac{[\varepsilon P]}{[P]}; \quad (108)$$

де P_1, P_2, P_3 – ваги дирекційних кутів, обчислені по кожному ходу із співвідношення:

$$P_1 = \frac{C}{n_1}; \quad P_2 = \frac{C}{n_2}; \quad P_3 = \frac{C}{n_3}. \quad (109)$$

де C – довільний коефіцієнт, який обирається так, щоб ваги виражалися числами, близькими до одиниці.

Для зручності обчислень « C » взято рівним 20. Схема обчислення найімовірнішого значення дирекційного кута лінії 4–5 і оцінки точності приведена в таблиці 17.

Таблиця 17 – Зрівнювання дирекційного кута і оцінка точності

Номер ходу	Значення дирекційного кута лінії 4-5		Число кутів	Вага P	α_0		Відхилення обчислюваного кута від наближеного значення	$P\varepsilon$	f	f^2	Pf^2
1	153	45	5	4	$\alpha + \frac{[\varepsilon P]}{[P]}$		2	8	-0,9	0,81	3,24
2	333	44,3	4	5			1,3	6,5	-0,2	0,04	0,2
3	333	43,1	4	5	333	44,1	0,1	0,5	1,0	1,00	5
α	333	43		$[P] = 14$	$[P\varepsilon]/[P] = +1,1'$			$[P\varepsilon] = 15$			$[Pf^2] = 8,44$

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pf^2]}{n-1}} = 2,1'$$

$$M_\alpha = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} = 0,6'$$

2.4. Відхилення дирекційних кутів обчислюють за формулою:

$$\varepsilon_i = \alpha_i - \alpha_0 \quad (i = 1, 2, 3). \quad (110)$$

2.5. Обчислюють кутові нев'язки в ходах, користуючись формулами:

– якщо в ходах виміряно кути, розташовані справа за ходом:

$$f_{\beta_1} = \alpha_0 - \alpha'_{4-5}; \quad f_{\beta_2} = \alpha_0 - \alpha''_{4-5}; \quad f_{\beta_3} = \alpha_0 - \alpha'''_{4-5} \quad (111)$$

– якщо в ходах виміряно кути, розташовані зліва за ходом:

$$f_{\beta_i} = \alpha'_i - \alpha_0. \quad (112)$$

2.6. За обчисленими нев'язками виконують оцінку точності вимірювання кутів.

Обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги дирекційного кута вузлової лінії μ і середню квадратичну помилку найімовірнішого значення дирекційного кута вузлової лінії M_α .

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pf_\beta^2]}{n-1}} \quad (113)$$

$$M_\alpha = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} \quad (114)$$

де n – число ходів у системі.

2.7 Якщо обчислені нев'язки не перевищують допустимої величини, їх розподіляють порівну на всі кути ходу з протилежними знаками (рис. 25).

Величини допустимих нев'язок підраховують за формулою:

$$f_{\beta_{\text{оон}}} = \pm 1' \sqrt{n} \quad (115)$$

де n – число кутів у ході.

№ точок	Виміряні кути		Виправлені кути		Дирекційні кути		Довжина лінії	Прирости координат, м				Координати			
								обчислені, м		виправлені, м		x	y		
	°	'	°	'	°	'		Δx	Δy	Δx	Δy				
(праві) Хід 1															
Д					99	34.5									
A	142	+0.2 27.0	142	27.2	137	07.3	295.45	-0.01 -216.51	+0.08 +201.05	-216.52	+201.13	5117517.39	6385495.34		
1	198	+0.1 35.0	198	35.1	118	32.2	318.30	-0.01 -152.06	+0.09 +279.62	-152.07	+279.71	300.87	696.47		
2	142	+0.2 0.5	142	0.7	156	31.5	267.40	-0.01 -245.27	+0.08 +106.52	-245.28	+106.60	5116148.80	976.18		
3	184	+0.2 49.0	184	49.2	151	42.3	353.20	-0.02 -311.00	+0.09 +167.43	-311.02	+167.52	903.52	6386082.78		
4	177	+0.2 58.0	177	58.2	153	44.1	333.15	-0.01 -298.74	+0.09 +147.41	-298.75	+147.50	592.50	250.30		
5												293.75	397.80		
$\Sigma_{\beta_1} = 845$ $f_{\beta} = -0.9$	49.5	$f_{\beta_{\text{оон}}} = \pm 1.0 \sqrt{5} = \pm 2.2$		$n=5$			$[d_1] = 1567.50$	$[\Delta x_1] = -1223.58$ $f_{x_1} = +0.06$	$[\Delta y_1] = +902.03$ $f_{y_1} = -0.43$	$f_{S_1} = \frac{1}{[d_1]} = \frac{1}{3600}$					
(праві) Хід 2															
Р					328	25.3									
B	201	+0.1 51.5	201	51.6	306	33.7	196.18	+0.08 +116.84	-0.08 -157.60	+116.92	-157.68	5115854.86	6386968.02		
7	167	+0.1 36.5	167	36.5	318	57.2	387.75	+0.15 +292.40	-0.15 -254.63	+292.55	-254.78	971.78	810.34		
6	218	+0.1 24.0	218	24.1	280	33.1	160.40	+0.06 +29.36	-0.07 -157.69	+29.42	-157.76	5116264.33	555.56		
5	120	49.0	126	49.0	333	44.1				+438.89	-570.22	293.75	397.80		
4															
$\Sigma_{\beta_2} = 714$ $f_{\beta} = -0.2$	41.0	$f_{\beta_{\text{оон}}} = \pm 1.0 \sqrt{4} = \pm 2.0$		$n=4$			$[d_2] = 744.33$	$[\Delta x_2] = +438.60$ $f_{x_2} = -0.29$	$[\Delta y_2] = -569.92$ $f_{y_2} = +0.30$	$f_{S_2} = \frac{1}{[d_2]} = \frac{1}{1800}$					
(праві) Хід 2															
Е					63	50.6									
C	189	-0.2 40.5	189	40.3	54	10.3	279.40	-0.11 +163.53	+0.04 +226.51	+163.42	+226.55	5115726.56	6385714.97		
8	185	-0.3 48.0	185	47.7	48	22.6	304.50	-0.12 +202.26	+0.06 +227.61	+202.14	+227.67	889.98	941.52		
9	179	-0.2 49.0	179	48.8	48	33.8	304.85	-0.12 +201.75	+0.06 +228.55	+201.63	+228.61	5116092.12	6386169.19		
5	254	-0.3 50.0	254	49.7	333	44.1				+567.19	+682.83	293.75	397.80		
4															
$\Sigma_{\beta_3} = 810$ $f_{\beta} = +1.0$	07.5	$f_{\beta_{\text{оон}}} = \pm 1.0 \sqrt{4} = \pm 2.0$		$n=4$			$[d_3] = 888.75$	$[\Delta x_3] = +567.54$ $f_{x_3} = +0.35$	$[\Delta y_3] = +682.67$ $f_{y_3} = -0.16$	$f_{S_3} = \frac{1}{[d_3]} = \frac{1}{2300}$					
		$f_{\beta_{\text{оон}}} = \pm 1.0 \sqrt{4} = \pm 2.0$		$n=4$				$f_{S_3} = \sqrt{0.12} = \pm 0.38$							

Рисунок 25 – Зрівнювання теодолітних ходів з однією вузловою точкою

За виправленими кутами і дирекційними кутами вихідних ліній обчислюють дирекційні кути всіх ліній у ходах.

2.9. Користуючись формулами $\Delta x = d \cos \alpha$; $\Delta y = d \sin \alpha$, обчислюють прирости координат по всіх сторонах ходів.

2.10. Підраховують суми обчислених приростів координат по кожному ходу: $[\Delta x_1]$; $[\Delta y_1]$; $[\Delta x_2]$; $[\Delta y_2]$; $[\Delta x_3]$; $[\Delta y_3]$ і довжини ходів $[d_1]$; $[d_2]$; $[d_3]$.

2.11. За координатами вихідних пунктів і сумами приростів координат по ходах обчислюють координати вузлової точки X_5 і Y_5 по кожному ходу (рис. 26).

$$X'_5 = X_A + [\Delta X_1]$$

$$Y'_5 = Y_A + [\Delta Y_1]$$

$$X''_5 = X_B + [\Delta X_2]; \quad Y''_5 = Y_B + [\Delta Y_2]$$

$$X'''_5 = X_C + [\Delta X_3]; \quad Y'''_5 = Y_C + [\Delta Y_3]$$

Хід	Координати, м	d , км	Вага $P = \frac{1}{d}$	ϵ	$P\epsilon$	f_x см	f_y , см	f_x^2	f_y^2	Pf_x^2	Pf_y^2
	x										
1	5116293.81	1.6	0.6	+0.81	+0.49	+6	-43	36	1849	22	1109
2	293.46	0.7	1.4	+0.46	+0.64	-29	+30	841	900	1177	1260
3	294.10	0.9	<u>1.1</u>	+1.10	<u>+1.21</u>	+35	-16	1225	256	<u>1348</u>	<u>282</u>
x_0	5116293.00		3.1		+2.34					2547	2651
			$\frac{[P\epsilon]}{[P]} = +0.75$			$\mu_x = \sqrt{\frac{2547}{2}} = \pm 36 \text{ см}$ $M_x = \pm \frac{36}{\sqrt{3.1}} = \pm 20 \text{ см}$ $\mu_y = \sqrt{\frac{2561}{2}} = \pm 36 \text{ см}$ $M_y = \pm \frac{36}{\sqrt{3.1}} = \pm 20 \text{ см}$					
	y										
1	6386397.37	1.6	0.6	+0.37	+0.22						
2	398.10	0.7	1.4	+1.10	+1.54						
3	397.64	0.9	<u>1.1</u>	+0.64	<u>+0.70</u>						
y_0	6386397.00		3.1		+2.46						
y_5	6386397.80										

Рисунок 26 – Зрівнювання координат вузлової точки і оцінка точності

Обчислюють ваги ходів:

$$P_1 = \frac{1}{[d_1]}; \quad P_2 = \frac{1}{[d_2]}; \quad P_3 = \frac{1}{[d_3]} \quad (116)$$

та їх суми.

2.12. Обчислюють найімовірніше значення координат вузлової точки за формулами:

$$X_5 = \frac{X'_5 P_1 + X''_5 P_2 + X'''_5 P_3}{P_1 + P_2 + P_3} = X_0 + \frac{[\varepsilon P]}{[P]}; \quad \varepsilon = X_i - X_0 \quad (117)$$

$$Y_5 = \frac{Y'_5 P_1 + Y''_5 P_2 + Y'''_5 P_3}{P_1 + P_2 + P_3} = Y_0 + \frac{[\varepsilon P]}{[P]}; \quad \varepsilon = Y_i - Y_0 \quad (118)$$

2.13. Обчислюють нев'язки в приростах координат кожного ходу:

$$f_{X_1} = X'_5 - X_5 \quad f_{Y_1} = Y'_5 - Y_5 \quad (118)$$

$$f_{X_2} = X''_5 - X_5 \quad f_{Y_2} = Y''_5 - Y_5 \quad (120)$$

$$f_{X_3} = X'''_5 - X_5 \quad f_{Y_3} = Y'''_5 - Y_5 \quad (121)$$

2.14. Виконують оцінку точності обчислення найімовірнішого значення координат вузлової точки. Обчислюють середньоквадратичну помилку одинці ваги μ і середньоквадратичну помилку координат M .

$$\mu_X = \sqrt{\frac{[Pf_X^2]}{n-1}} \quad \mu_Y = \sqrt{\frac{[Pf_Y^2]}{n-1}} \quad (122)$$

$$M_X = \frac{\mu_X}{\sqrt{[P]}} \quad M_Y = \frac{\mu_Y}{\sqrt{[P]}} \quad (123)$$

де n – число ходів.

2.15. Величини нев'язок кожного ходу вписують у відомість обчислення

координат точок теодолітних ходів і підраховують їх абсолютні і відносні величини по кожному ходу за формулами:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad f_{\text{від}} = \frac{f_s}{[d]} \quad (124)$$

Величини відносних помилок повинні бути в межах $\frac{1}{3000} - \frac{1}{1000}$.

2.16. Якщо відносні помилки в ходах не перевищують допуски, то нев'язки в приростах координат розподіляють у відповідні прирости з оберненими знаками пропорційно до довжин ліній і підраховують суми виправлених приростів координат кожного ходу. Вони повинні дорівнювати різниці координат кінцевих точок, тобто:

$$[\Delta X_{1\text{вм}}] = X_5 - X_A \quad [\Delta Y_{1\text{вм}}] = Y_5 - Y_A \quad (125)$$

$$[\Delta X_{2\text{вм}}] = X_5 - X_B \quad [\Delta Y_{2\text{вм}}] = Y_5 - Y_B \quad (126)$$

$$[\Delta X_{3\text{вм}}] = X_5 - X_C \quad [\Delta Y_{3\text{вм}}] = Y_5 - Y_C \quad (127)$$

2.17. За виправленими приростами координат і вихідними координатами точок теодолітних ходів обчислюють координати всіх точок ходів. Контролем правильності обчислення координат точок є співпадіння координат вузлової точки X_5 і Y_5 .

Питання для самоперевірки

1. Що таке вузлова точка?
2. У чому особливість теодолітного ходу з однією вузловою точкою?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дистанційний курс на платформі Moodle. Геодезія (Модуль 1 Геодезичні вимірювання) [Електрон. ресурс] / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Харків, 2024. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=1732>, вільний (дата звернення: 02.02.2024). – Назва з екрана.
2. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 [Електрон. ресурс] : Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті міністрів України. № 56 від 09.04.98. – Електрон. текст. дані. – Київ, 1998. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>, вільний (дата звернення: 02.02.2024). – Назва з екрана..
3. Гончаренко О. С. Геодезичне забезпечення землевпорядкування : [Електрон. ресурс] : конспект лекцій / О. С. Гончаренко. – Електрон. текст. дані. – Київ, 2020. – 129 с. – Режим доступу : http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/Konspekt_lekcii/Zemlya_Goncharenko.pdf, вільний (дата звернення: 02.02.2024). – Назва з екрана.
4. Калинич І. В. Топографія. Лабораторний практикум / І. В. Калинич, М. Р. Ничвид, І. І. Калинич. – Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2020. – 176 с.
5. Рева М. П. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезія та землевпорядкування» / М. П. Рева, Ю. В. Орешніков. – Дніпропетровськ, 2011. – 39 с.
6. Панчук Ю. М. Лабораторний практикум з інженерної геодезії : навч. посіб. / Ю. М. Панчук, О. Є. Янчук. – Рівне, 2010. – 135 с.
7. Шаульський Д. В. Конспект лекцій з дисципліни «Основи геодезії» (для студентів 1 і 3 курсів денної форми навчання, напряму підготовки 6.060102 «Архітектура» спеціальності «Містобудування») / Д. В. Шаульський ; Харків. нац. акад. міськ. гос-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 55 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення лабораторних занять
і організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ГЕОДЕЗІЯ»
Змістовий модуль 4
Основи створення геодезичних мереж

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Укладач **КУХАР** Максим Анатолійович

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *М. А. Кухар*

План 2021, поз. 516М

Підп. до друку 31.05.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,8.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.