

**Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут технологій
Кафедра геодезії, картографії та землеустрою**

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРІВ

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
для бакалаврів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Чернігів-2017

Математична обробка геодезичних вимірів. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для бакалаврів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

/Укл. Крячок С.Д.– Чернігів: ННІТ ЧНТУ, 2017 - 23 с.

Укладач: Крячок С. Д. к.т.н., доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою.

Рецензент: Терещук О. І., к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск: Корнієнко І. В., к.т.н., завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП..... | 4 |
| 1. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ..... | 4 |
| 2. ОСНОВНІ ПРАВИЛА ОБЧИСЛЕНЬ | 5 |
| 3. ЗАВДАННЯ ЗРІВНЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПОБУДОВ..... | 6 |
| 4.ЗРІВНЮВАННЯ ОКРЕМОГО ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ КОРЕЛАТНИМ МЕТОДОМ..... | 7 |
| 5. ОСОБЛИВОСТІ ЗРІВНЮВАННЯ ВИТЯГНУТОГО ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ..... | 11 |
| 6. ПРИКЛАД ЗРІВНЮВАННЯ ВИТЯГНУТОГО ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ | 17 |
| 7. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ..... | 21 |
| 8. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ..... | 22 |
| 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА..... | 23 |

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота спрямована на оволодіння студентами спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» методикою зрівнювання витягнутого полігонометричного ходу корелатним методом.

1. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розрахунково-графічна робота виконується з метою закріплення теоретичного матеріалу стосовно корелатного методу зрівнювання геодезичних мереж.

Завданням розрахунково-графічної роботи є засвоєння методики зрівнювання витягнутого полігонометричного ходу, аналогічного до того, який буде побудовано підчас навчальної геодезичної практики.

До початку виконання розрахунково-графічної роботи студенти ознайомлюються з теоретичною складовою корелатного методу зрівнювання, наведеного в лекційних матеріалах та специфікою корелатного методу стосовно зрівнювання окремого полігонометричного ходу витягнутої форми, наведеної у даних методичних вказівках. Студенти повинні знати мету і порядок виконання розрахунково-графічної роботи, розуміти формули, за якими обчислюються ті чи інші величини, дати відповіді на контрольні питання.

Розрахунково-графічна робота складається: з теоретичного обґрунтування методики зрівнювання витягнутого полігонометричного ходу; схеми полігонометричного ходу; розрахункової частини. Розрахунки виконуються згідно з варіантом, необхідні дані якого видаються викладачем. Всі обчислення виконуються у табличній формі, зразки яких наведено у прикладі зрівнювання витягнутого полігонометричного ходу.

Оформлення звіту виконується на аркушах формату А4 у друкованому або письмовому варіантах (розбірливо). Креслення виконуються чітко (можна олівцем).

Після виконання розрахунково-графічної роботи призначається її захист, термін якого завчасно повідомляється студентам. Неявка студента на захист розрахунково-графічної роботи в установлений термін з неповажної причини розглядається як нездача роботи і відмічається в заліково-екзаменаційній відомості, яка передається до деканату факультету.

За розрахунково-графічну роботу виставляється диференційована оцінка, яка враховує:

якість оформлення графічного матеріалу і розрахункової частини;

повноту і правильність відповідей студента на поставлені викладачем запитання;

своєчасність виконання етапів роботи та її захисту.

Контрольні питання містяться в кінці методичних вказівок.

2. ОСНОВНІ ПРАВИЛА ОБЧИСЛЕНЬ

У геодезії заокруглюють до парної цифри, якщо цифра, що відкидається, дорівнює п'яти : $5,85 \approx 5,8$; $5,75 \approx 5,8$.

Результатом геодезичних вимірювань та обчислень є значення фізичних величин, елементами яких є числа. Ці числа є, як правило, наближеними.

Значущими цифрами є всі цифри числа крім нулів зліва і тих нулів з правого боку, які замінюють заокруглені або невідомі цифри. Наприклад: кут 350° має три значущі цифри; кількість населення селища Нагорне складає близько 3550 мешканців, маємо три значущі цифри (3,5,5), оскільки остання цифра 0 є результатом заокруглення; похибка вимірювання відстані дорівнює 0,04 м – маємо одну значущу цифру (4).

У алгебраїчній сумі чисел зберігають стільки десяткових знаків, скільки їх має доданок з найменшим числом десяткових знаків. Наприклад: $11 + 3,5 = 14,5 \approx 14$.

При множенні і діленні наближених чисел результат містить стільки значущих цифр, скільки має компонента з найменшим числом значущих цифр. Наприклад: $2,5 \cdot 3 = 7,5 \approx 8$.

При зведенні до ступеня числа чи здобуття кореня результат повинен містити стільки значущих цифр, скільки їх має основа. Наприклад: $(2,5)^2 = 6,25 \approx 6,2$; $\sqrt{6,12} = 2,4739 \approx 2,47$.

Якщо необхідно провести ряд обчислень, то в усіх проміжних результатах слід зберегти на 1 чи 2 значущих цифр більше. Це ж стосується і знаходження рядів алгебраїчних сум, де потрібно зберегти на 1 чи 2 десяткових знаків більше. Тільки в кінцевому результаті відкидають зайву цифру.

3. ЗАВДАННЯ ЗРІВНЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПОБУДОВ

В геодезичних побудовах у вигляді трикутників триангуляції чи трилатерації, полігонометричних, теодолітних, нівелірних ходів вимірюють кути, лінії, перевищення, які називаються *елементами* мережі. Маємо k *необхідних* елементів, достатніх для визначення координат і висот пунктів. Вимірюють також додатково r елементів - ті кути, лінії, перевищення, які є *надлишковими*. У підсумку маємо $n = k + r$ елементів геодезичної мережі. Всі виміряні n елементів супроводжуються похибками, тому виміряне значення x_i елемента побудови відрізняється від дійсного чи істинного значення X_i на величину дійсної чи істинної похибки $\Delta_i = x_i - X_i$. Координати або висоти пунктів, що визначаються, зветься *параметрами* і є функціями вимірювальних елементів. Параметри y_i розраховуються за певними формулами, що в загальному вигляді можна записати $y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ та відрізняються від дійсних (істинних) значень $Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ на величину похибки $\Delta_{y_i} = y_i - Y_i$.

Визначення надлишкових елементів у геодезичних побудовах виконуються для контролю вимірювання, для підвищення точності, визначення найбільш правдоподібних (ймовірних) значень цих елементів та для оцінки точності результатів вимірювання.

Елементи геодезичних побудов зв'язані між собою різними геометричними умовами, які можна записати у вигляді $\varphi_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$. Ці рівняння називаються *умовними рівняннями* або *рівняннями зв'язку*. Після підстановки в такі рівняння виміряних значень елементів та обчислення параметрів отримаємо нев'язки $f_j = \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_i)$. Нев'язки обчислюються за правилом «є мінус повинно бути».

Вимірювання вважаються виконані вірно, якщо нев'язка за абсолютною величиною не перевищує допустимого значення. Для усунення нев'язок виконують зрівнювання геодезичних побудов, а також визначають достовірні значення елементів та виконується оцінка точності вимірювання елементів і обчислення параметрів.

4. ЗРІВНЮВАННЯ ОКРЕМОГО ПОЛІГОМЕТРИЧНОГО ХОДУ КОРЕЛАТНИМ МЕТОДОМ

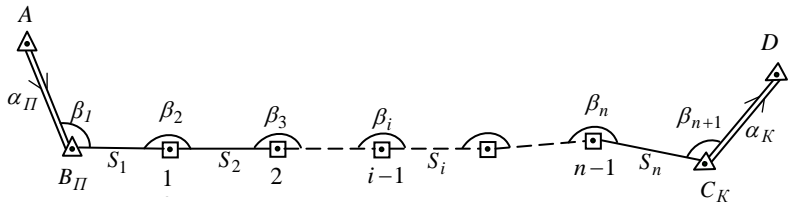


Рис.1. Окремий полігонометричний хід

Нехай є полігонометричний хід (рис.1), у якому виміряні ліві за напрямком ходу горизонтальні кути β_i та горизонтальні відстані S_i . Відомими є: координати x_{Π} та y_{Π} , початкового пункту старшого класу B_{Π} ; початковий дирекційний кут α_{Π} ; координати x_K і y_K кінцевого пункту старшого класу C_K та кінцевий дирекційний кут α_K . Дирекційні кути сторін ходу

визначаються для лівих за ходом вимірюваних кутів β_i за відомою формулою

$$\alpha_i = \alpha_{II} + \sum_{i=1}^i \beta_i - 180^\circ i . \quad (1)$$

Координати пунктів обчислюються за відомими формулами

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta x_i = x_{i-1} + S_i \cos \alpha_i \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta y_i = y_{i-1} + S_i \sin \alpha_i \end{aligned} \right\} . \quad (2)$$

Якщо у формулах (1) та (2) використати істинні (без помилкові) значення кутів $\beta_i = B_i$ та істинні значення приростів координат $\Delta x_i = \Delta X_i$, $\Delta y_i = \Delta Y_i$, обчислені за істинними значеннями ліній $S_i = \bar{S}_i$, то для кінцевого дирекційного кута та пункту утворяться умови дирекційних кутів, в яких n - число вимірюваних ліній

$$\alpha_K = \alpha_{II} + \sum_{i=1}^{n+1} B_i - 180^\circ (n+1) , \quad (3)$$

абсцис

$$X_K = X_{II} + \sum_1^n \Delta X_i , \quad (4)$$

і ординат

$$Y_K = Y_{II} + \sum_1^n \Delta Y_i . \quad (5)$$

Умовні рівняння, відповідно, матимуть вигляд

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{n+1} B_i - 180^\circ (n+1) - (\alpha_K - \alpha_{II}) &= 0, \\ \sum_1^n \Delta X_i - (X_K - X_{II}) &= 0, \\ \sum_1^n \Delta Y_i - (Y_K - Y_{II}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Підстановка у (6) вимірних значень кутів β_i та відстаней S_i , за якими обчислюються прирости Δx_i та Δy_i дозволяє обчислити кутову нев'язку f_β та нев'язки приростів координат f_x і f_y

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i - 180^\circ (n+1) - (\alpha_K - \alpha_{II}) &= f_\beta, \\ \sum_1^n \Delta x_i - (X_K - X_{II}) &= f_x, \\ \sum_1^n \Delta y_i - (Y_K - Y_{II}) &= f_y. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

У формулі (7) величини: α_K , α_{II} , X_K , Y_{II} , X_{II} , Y_K - мають значення, які належать пунктам старших класів по відношенню до даного полігонометричного ходу, похибки визначення яких вважаються несуттєвими, а тому наведені дирекційні кути та прирости прирівнюються до постійних величин. Тому після диференціювання рівнянь формули (7) отримаємо

$$\left. \begin{aligned} [d\beta] + f_\beta &= 0 \\ [d\Delta x] + f_x &= 0 \\ [d\Delta y] + f_y &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Якщо врахувати, що

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= S \cos \alpha \\ \Delta y &= S \sin \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

то диференціали по приростам координат набудуть вигляду

$$d\Delta x = \cos \alpha \cdot dS - S \sin \alpha \frac{d\alpha}{\rho} = \cos \alpha \cdot dS - \Delta y \frac{d\alpha}{\rho}, \quad (10)$$

$$d\Delta y = \sin \alpha \cdot dS + S \cos \alpha \frac{d\alpha}{\rho} = \sin \alpha \cdot dS + \Delta x \frac{d\alpha}{\rho}. \quad (11)$$

Значення диференціалів $d\alpha$ можна виразити через $d\beta$ у формулах (10) та (11), якщо продиференціювати формулу (1). Тоді отримаємо систему умовних рівнянь поправок у лінійному вигляді

$$\left. \begin{aligned} [d\beta] &= 0 \\ [\cos \alpha \cdot dS] - \frac{1}{\rho} [\Delta y \cdot d\beta] + f_x &= 0 \\ [\sin \alpha \cdot dS] + \frac{1}{\rho} [\Delta x \cdot d\beta] + f_y &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

У першому рівнянні системи $f_\beta = 0$, оскільки перед процедурою зрівноваження у виміряні кути вводяться первинні поправки, так що $[d\beta] = -f_\beta$. По виправленим в такий спосіб кутам визначаються дирекційні кути і прирости координат.

Після перетворень, заміни $d\beta = v$ - поправки у виміряні кути, $dS = \omega$ - поправки у виміряні відстані та введення центрованих координат ξ_i, η_i точок ходу

$$\xi_i = x_i - X_{Ц}, \quad (13)$$

$$\eta_i = y_i - Y_{Ц}, \quad (14)$$

де

$$X_{Ц} = \frac{[x]}{n+1}, \quad (15)$$

$$Y_{Ц} = \frac{[y]}{n+1}, \quad (16)$$

отримаємо систему перетворених умовних рівнянь поправок

$$\left. \begin{aligned} [v] &= 0 \\ [\cos \alpha \cdot \omega] + \frac{1}{\rho} [\eta \cdot v] + f_x &= 0 \\ [\sin \alpha \cdot dS] - \frac{1}{\rho} [\xi \cdot v] + f_y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

5. ОСОБЛИВОСТІ ЗРІВНЮВАННЯ ВИТЯГНУТОГО ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ

Для витягнутого полігонометричного ходу можливі наступні спрощення. Будемо вважати, що пункти ходу обчислюються за вимірними кутами та лініями і знаходяться на новій осі абсцис X' (рис. 2), яка бере початок від центру пункту $B_{л}$. Вісь ординат Y' перпендикулярна до неї. Довжина перпендикуляра, опущеного

з фактичної кінцевої точки C_K на вісь X' , дорівнює u - є *поперечним зсувом* ходу, а відстань від основи перпендикуляра до кінцевої точки ходу C'_K , координати якої отримані за розрахунками, є *поздовжнім зсувом* t .

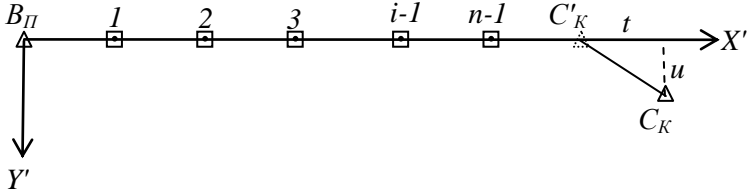


Рис. 2. Система координат витягнутого полігонометричного ходу

Тоді можна прийняти, що

$$\left. \begin{array}{l} f_x = t \\ f_y = u \end{array} \right\} \quad (18)$$

Крім того, дирекційні кути α_i сторін такого ходу дорівнюють нулю, а отже $\cos \alpha_i = 1$, $\sin \alpha_i = 0$. Ординати точок ходу $y_i = 0$, тому центровані ординати, які обчислюються за формулами (14) та (16), теж дорівнюють нулю. У підсумку система перетворених умовних рівнянь поправок виду (17) значно спроститься та прийме вигляд

$$\left. \begin{array}{l} [v] = 0 \\ [\omega] + t = 0 \\ -\frac{1}{\rho} [\xi \cdot v] + u = 0 \end{array} \right\} \quad (19)$$

Утворимо систему нормальних рівнянь корелат у загальному вигляді для полігонометричного ходу

$$\left. \begin{aligned} [qaa]k_1 + [qab]k_2 + [qac]k_3 &= 0 \\ [qab]k_1 + [qbb]k_2 + [qbc]k_3 + f_x &= 0 \\ [qac]k_1 + [qbc]k_2 + [qcc]k_3 + f_y &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (20)$$

де $q_i = \frac{1}{P_i}$ - зворотні ваги вимірних елементів, a_i, b_i, c_i - коефіцієнти умовних рівнянь поправок, k_i - корелати (невідомі множники).

Для випадку витягнутого полігонометричного ходу, з огляду на систему перетворених умовних рівнянь поправок виду (19), коефіцієнти a_i, b_i, c_i матимуть значення, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти перетворених умовних рівнянь поправок

| Номери умовних рівнянь поправок | Для поправок v_i у кути ($i=1, 2, \dots, n+1$) | Для поправок ω_i у відстані ($i=1, 2, \dots, n$) |
|---------------------------------|--|---|
| 1 | $a_i = 1$ | $a_i = 0$ |
| 2 | $b_i = 0$ | $b_i = 1$ |
| 3 | $c_i = -\frac{1}{\rho} \xi_i$ | $c_i = 0$ |

Ваги сторін полігонометричного ходу дорівнюють

$$P_{S_i} = \frac{c}{\mu^2 \cdot S_i}, \quad (21)$$

де c - довільний коефіцієнт, μ - коефіцієнт випадкового впливу лінійних вимірювань.

Прийmemo $c = \mu^2$, тоді зворотні ваги сторін з огляду на формулу (21) дорівнюють

$$q_i = \frac{1}{P_i} = \frac{\mu^2 \cdot S_i}{\mu^2} = S_i. \quad (22)$$

З урахуванням значень коефіцієнтів a_i, b_i, c_i , наведених у табл. 1 та формул (18), (22), система нормальних рівняння корелат для витягнутого полігонометричного ходу прийме вигляд

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 0 \\ [S]k_2 + t &= 0 \\ \frac{q}{\rho^2} [\xi^2] k_3 + u &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (23)$$

З рівнянь системи (23) отримаємо з урахуванням зворотних ваг для кутів q_β :

$$k_2 = -\frac{t}{[S]}, \quad (24)$$

$$k_3 = -\frac{\rho^2 \cdot u}{q_\beta \cdot [\xi^2]}. \quad (25)$$

З огляду на загальний вигляд рівняння переходу від корелат до поправок V_i у виміряні елементи

$$V_i = q_i (a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3), \quad (26)$$

та значень коефіцієнтів a_i, b_i, c_i , наведених у табл. 1, отримаємо формули для обчислення поправок у кути

$$v_i = \left(-q_\beta \frac{\xi_i}{\rho} \right) \cdot \left(-\frac{\rho^2 \cdot u}{q_\beta [\xi^2]} \right) = \rho \frac{u}{[\xi^2]} \xi_i, \quad (27)$$

та лінії

$$\omega = -\frac{t}{[S]} S_i. \quad (28)$$

Останнім кроком є визначення зв'язку між поперечним та повздовжнім зсувами кінцевої точки ходу та нев'язками по осях координат.

На рис. 3 зображено довільний полігонометричний хід, пункти якого обчислені у системі координат X, Y початкової точки B_{II} за виміряними значеннями кутів та відстаней.

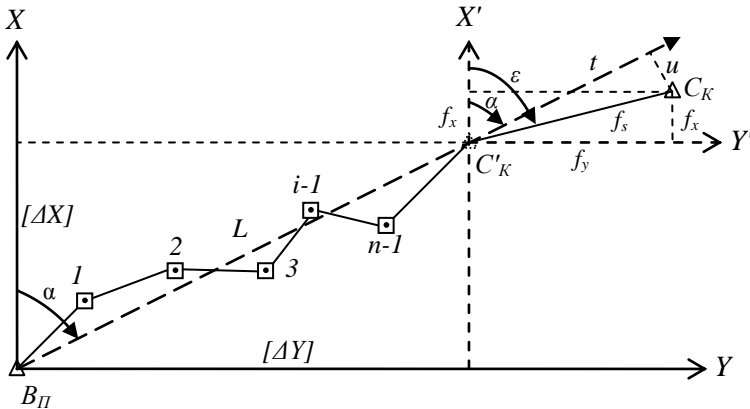


Рис. 3. Зв'язок між зсувами t та u і нев'язками f_x і f_y

Через похибки вимірювання кутів та відстаней координати кінцевої точки не співпадуть з дійсними і кінцева точка займе положення C'_K . Сполучимо початкову точку B_{II} та кінцеву C'_K прямою. Відстань між цими точками дорівнюватиме L , яка є

замикальною ходу. Проекції замикальної L на координатні осі (див. рис. 3) дорівнюють $[\Delta X]$, $[\Delta Y]$ та пов'язані з дирекційним кутом α замикальної наступними співвідношеннями

$$\sin \alpha = \frac{[\Delta Y]}{L}, \quad (29)$$

$$\cos \alpha = \frac{[\Delta X]}{L}. \quad (30)$$

З рис. 3 видно, що

$$t = f_s \cdot \cos(\varepsilon - \alpha) = f_s \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha + f_s \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \alpha, \quad (31)$$

$$u = f_s \cdot \sin(\varepsilon - \alpha) = f_s \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \alpha - f_s \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \alpha. \quad (32)$$

Але (див. рис 3)

$$f_s \cdot \cos \varepsilon = f_x, \quad (33)$$

$$f_s \cdot \sin \varepsilon = f_y. \quad (34)$$

Підстановка (29), (30), (33), (34) у (31) та (32) дозволяє виразити поздовжній t та поперечний u зсуви ходу через нев'язки f_x, f_y по координатних осях X, Y

$$t = f_x \frac{[\Delta X]}{L} + f_y \frac{[\Delta Y]}{L} = \frac{f_x \cdot [\Delta X] + f_y \cdot [\Delta Y]}{L}, \quad (35),$$

$$u = f_y \frac{[\Delta X]}{L} - f_x \frac{[\Delta Y]}{L} = \frac{f_y \cdot [\Delta X] - f_x \cdot [\Delta Y]}{L}. \quad (36)$$

6. ПРИКЛАД ЗРІВНЮВАННЯ ВИТЯГНУТОГО ПОЛІГОНОМЕТРИЧНОГО ХОДУ

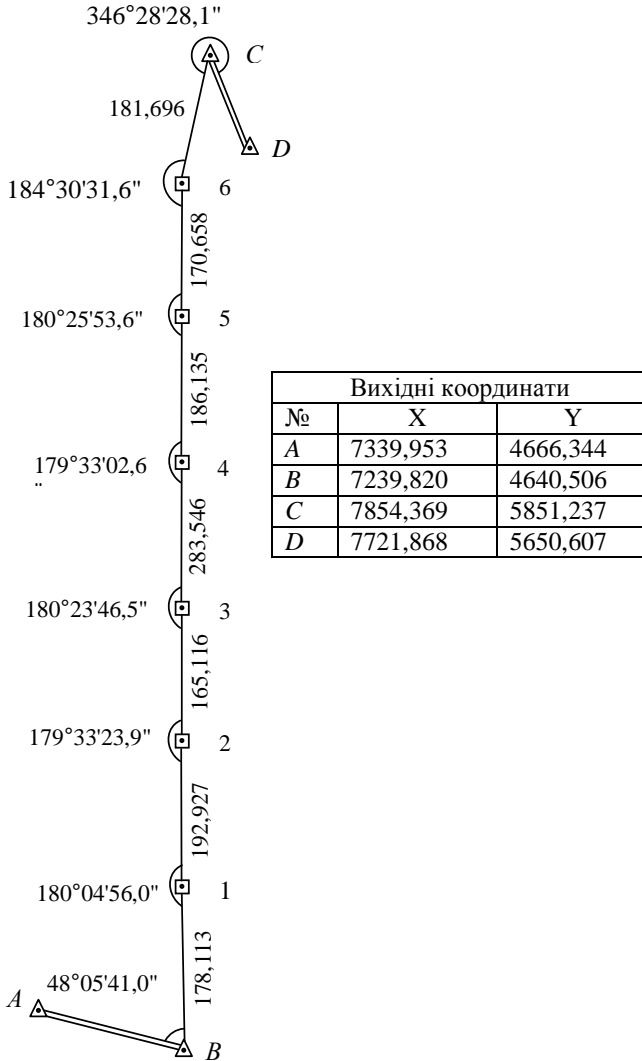


Рис. 4. Схема полігонометричного ходу

Таблиця 2

Обчислення наближених приростів координат пунктів полігонометричного ходу

| № | Виміряні кути β_i | Дирекційні кути α_i | Виміряні довжини S_i | Зрівноваж. довжини | Наближені прирости координат | |
|---------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|------------|
| | | | | | ΔX | ΔY |
| <i>A</i> | | | | | | |
| | -3 | 194°28'08,4" | | | | |
| <i>B</i> | 48°05'41,0" | | | | | |
| | +4,6 | +4,6 | +0,013 | | | |
| | -3 | 62 33 46,4 | 178,113 | 178,126 | +82,070 | +158,078 |
| 1 | 180 04 56,0 | | | | | |
| | +3,4 | +8,0 | +0,014 | | | |
| | -3 | 62 38 39,4 | 192,927 | 192,941 | +88,653 | +171,352 |
| 2 | 179 33 23,9 | | | | | |
| | +2,1 | +10,1 | +0,012 | | | |
| | -3 | 62 12 00,3 | 165,116 | 165,128 | +77,008 | +146,059 |
| 3 | 180 23 46,5 | | | | | |
| | +1,0 | +11,1 | +0,020 | | | |
| | -3 | 62 35 43,8 | 283,546 | 283,566 | +130,510 | +251,726 |
| 4 | 179 33 02,6 | | | | | |
| | -0,9 | +10,2 | +0,013 | | | |
| | | 62 08 43,4 | 186,135 | 186,148 | +86,968 | +164,569 |
| 5 | 180 25 53,6 | | | | | |
| | -2,2 | +8,0 | +0,012 | | | |
| | -3 | 62 34 34,0 | 170,658 | 170,670 | +78,600 | +151,480 |
| 6 | 184 30 31,6 | | | | | |
| | -3,4 | +4,6 | +0,013 | | | |
| | -3 | 67 05 03,6 | 181,696 | 181,709 | +70,748 | +167,356 |
| <i>C</i> | 349 28 28,1 | | | | | |
| | -4,6 | 0,0 | | | | |
| | | 236 33 29,7 | | | | |
| <i>D</i> | | | | | | |
| $\Sigma\beta$ | 1482°05'43,3" | [S] | 1358,191 | $\Delta X, Y$ | +614,554 | +1210,620 |
| $f\beta$ | +22,0" | L | 1357,770 | $X_K - X_{II}$ | +614,549 | |
| f_{np} | ±28" | α_L | 63°05'18" | $Y_K - Y_{II}$ | | +1210,731 |
| | | | | $f_{\Delta X, Y}$ | +0,005 | -0,111 |
| | | | | f_S | 0,111 | |
| | | | | $f_S : S$ | 1:12224 | |
| | | | | t/u | -0,09672 | -0,05464 |

$$\alpha_L = \arctg(+1210,731)/(+614,549) = 64^\circ 05' 18''$$

$$L = \sqrt{(1210,731)^2 + (614,549)^2} = 1357,770$$

Таблиця 3

Обчислення кінцевих координат пунктів полігонометричного ходу

| № | Умовні абсциси | Центровані умовні абсциси | ξ^2 | Зрівноважені прирости координат | | Кінцеві координати | |
|----------|----------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------------------|-----------------|
| | X' | $\xi, м$ | | ΔX | ΔY | X | Y |
| A | | | | | | | |
| B | 0 | -681 | 463761 | | | 7239,820 | 4640,506 |
| | | | | +82,072 | +158,092 | | |
| 1 | +178 | -503 | 252004 | | | 7321,892 | 4798,598 |
| | | | | +88,652 | +171,368 | | |
| 2 | +371 | -310 | 96100 | | | 7410,544 | 4969,966 |
| | | | | +77,006 | +146,073 | | |
| 3 | +536 | -145 | 21 025 | | | 7487,550 | 5116,039 |
| | | | +130,50 3 | +251,751 | | | 4 +8 20 4 |
| | | | | +86,966 | +164,584 | | |
| 5 | +1006 | +325 | 105625 | | | 7705,019 | 5532,374 |
| | | | | +78,600 | +151,494 | | |
| 6 | +1177 | +496 | 246016 | | | 7783,619 | 5683,868 |
| | | | | +70,650 | +167,369 | | |
| C | +1358 | +678 | 459 684 | | | 7854,369 | 5851,237 |
| | | | | | | | |
| D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Σ | +5447 | -1 | 1663536 | | | | |
| X'_y | +681 | | | | | | |

Поздовжній зсув:

$$t = \frac{f_x [\Delta X] + f_y [\Delta Y]}{L} = \frac{(+0,005)(+614,554) + (-0,111)(+1210,620)}{1358} = -0,09672 \text{ м};$$

поперечний зсув

$$u = \frac{f_y [\Delta X] - f_x [\Delta Y]}{L} = \frac{(-0,111)(+614,554) - (+0,005)(+1210,620)}{1358} = -0,05464 \text{ м}.$$

Контроль обчислення: $f_s = \sqrt{t^2 + u^2} = \sqrt{(-0,09672)^2 + (+0,05464)^2} = 0,111 \text{ м}.$ Поправки у лінії: $\omega_i = -(t/L) \cdot S_i = -(-0,09672/1358) \cdot S_i = +0,00007122 \cdot S_i.$

Поправки у кути: $v_i'' = \rho(u/\xi^2) \xi_i = 206265 \cdot 0,054641663536 \xi_i = -0,00677 \cdot \xi_i$

Поправки у дирекційні кути: $\delta_n'' = [v_i'']_{i=1}^n$. **Контроль:** $[\omega] = -t$; $[v''] = [\delta''] = 0$.

Таблиця 4

Обчислення кутів між замикальною та стороною полігонометричного ходу та умовних ординат пунктів

| № | Дирекційні кути сторін ходу | Кут між замикальною і стороною ходу $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_L$ | Виміряні довжини, S_i , м | Умовні значення ординат, $Y_i = S_i \cdot \sin \Delta\alpha_i$, м |
|----------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| <i>B</i> | | | | |
| | 62°33'46" | -0°31'32" | 178,113 | -1,6 |
| 1 | | | | |
| | 62 38 39 | -0 26 39 | 192,927 | -1,5 |
| 2 | | | | |
| | 62 12 00 | -0 53 18 | 165,116 | -2,6 |
| 3 | | | | |
| | 62 35 44 | -0 29 34 | 283,546 | -2,4 |
| 4 | | | | |
| | 62 08 43 | -0 56 35 | 186,135 | -3,1 |
| 5 | | | | |
| | 62 34 34 | -0 30 44 | 170,658 | -1,5 |
| 6 | | | | |
| | 67 05 04 | +3 59 46 | 181,696 | +12,7 |
| <i>C</i> | | | | |
| Σ | | | 1358,288 | |

За першим критерієм визначення форми ходу кути між замикальною L та будь якою стороною ходу не перевищує 24° (табл. 3).

За другим критерієм визначення форми ходу зберігається співвідношення

$$\frac{[S]}{L} = \frac{1358288}{1357770} = 1,0004 \leq 1,3$$

За третім критерієм визначення форми ходу жодна з точок ходу не повинна виходити за межі коридору шириною $2a$, вісь якого проходить через замикальну L .

$$a = \frac{L}{8} = \frac{1357,770}{8} = 170 \text{ м}$$

Умовні ординати мають максимальне значення за абсолютною величиною 12,7 м < 170 м (див. табл. 3), тобто: всі точки ходу знаходяться в межах коридору.

Висновок: Всі три критерії виконуються, хід вважається витягнутим.

7. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

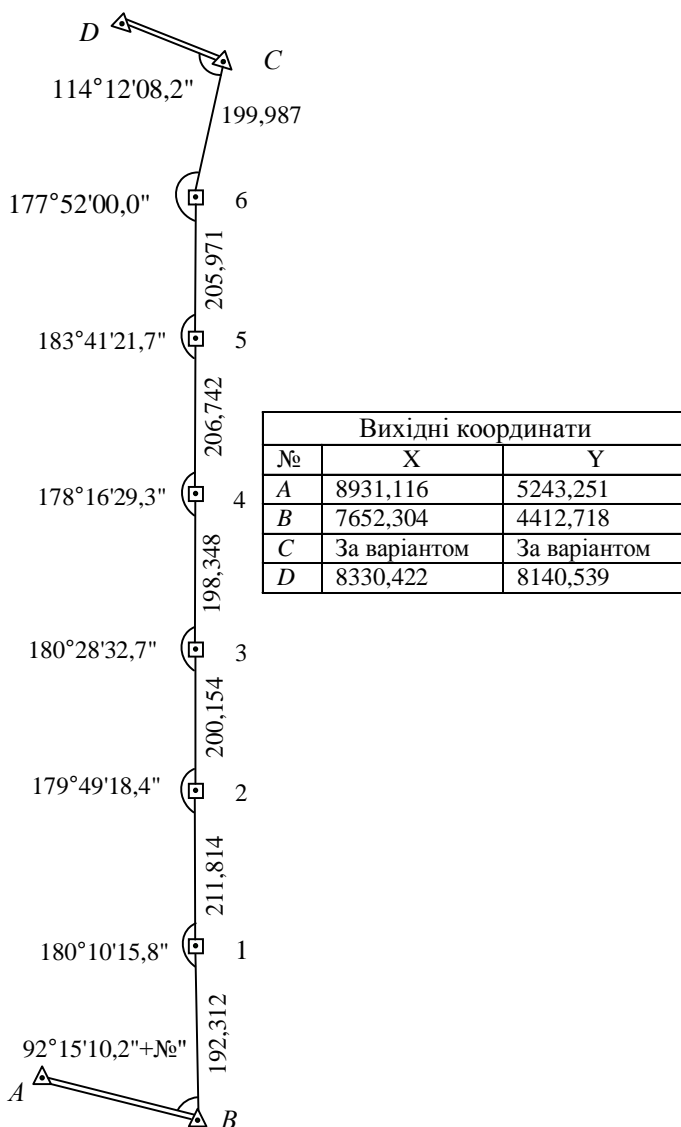


Рис. 5. Схема полігонометричного ходу

8. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які цифри у числах є значущими?
2. Назвіть правила результатів обчислень з наближеними числами.
3. Що є елементами геодезичної побудови та що є необхідними і надлишковими елементами?
4. Що є параметрами геодезичної побудови?
5. Вкажіть елементи та параметри у планових та висотних геодезичних мережах.
6. Який загальний вигляд мають умовні рівняння (рівняннями зв'язку)?
7. За яким правилом обчислюються нев'язки?
8. З якою метою виконуються зрівнювання геодезичних побудов?
9. Який вигляд мають умовні рівняння для окремого полігонометричного ходу?
10. За якими формулами обчислюються нев'язки для окремого полігонометричного ходу?
11. Який вигляд має система умовних лінійних рівнянь поправок для окремого полігонометричного ходу?
12. За якими формулами обчислюється центр ваги полігонометричного ходу?
13. Який вигляд має система перетворених умовних рівнянь поправок?
14. Дайте схему системи координат витягнутого полігонометричного ходу та вкажіть на ній поперечний та поздовжній зсуви і замикальну ходу.
15. Який вигляд має система нормальних рівнянь корелат у загальному вигляді для полігонометричного ходу?
16. Який вигляд має система нормальних рівнянь корелат для витягнутого полігонометричного ходу?
17. Який вигляд має рівняння переходу від корелат до поправок у виміряні елементи у загальному випадку?
18. Дайте схему зв'язку між поперечним та поздовжнім зсувами кінцевої точки ходу та нев'язками по осях координат.
19. Вкажіть основні етапи технології зрівнювання окремого полігонометричного ходу витягнутої форми.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Островський, А. Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія, частина II: Підручник для вузів / Заг. ред. А.Л.Островського. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.–508 с.
2. Войтенко, С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів: Навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К.: КНУБА, 2003.- 216 с.
3. Крячок, С.Д. Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами / С. Д. Крячок, Л.С. Мамонтова // Вісн. геодез.ї та картограф. – 2014. - №5. – С.9-12.
4. Крячок, С.Д. Зрівноваження полігонометричних мереж, побудованих зустрічними ходами / С. Д. Крячок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». Чернігів: ЧНТУ, 2015.- №1 (77). – С.108- 114.