

**ННІ «Інститут геології»
Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

**Тетяна МАЛІК
Дмитро ЛЯШЕНКО**

**Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни
«Інженерна геодезія»**

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами «Оцінка землі та нерухомого майна»,
«Геоінформаційні системи та технології»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2024

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна геодезія» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Оцінка землі та нерухомого майна», «Геоінформаційні системи та технології» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» / Т. Малік, Д. Ляшенко – електронне видання, Київ: ННІ «Інститут геології», 2024. – 34 с.

Автори:

Тетяна МАЛІК, кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформатики

Дмитро ЛЯШЕНКО, доктор географічних наук, доцент, професор кафедри геоінформатики

Рецензенти:

Олена НЕСТЕРЕНКО, кандидат технічних наук, професор, декан факультету Геоінформаційних систем та управління територіями Київського національного університету будівництва та архітектури

Юлія КРОШКА, кандидат технічних наук, зав. відділом інструментального контролю будівельно-монтажних робіт Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького»

Ігор КУРИЛЯК, кандидат технічних наук, заступник начальника центру геодезичних досліджень, завідувач лабораторії ДП «Науково-дослідний інститут»

Рекомендовано до публікації вченою радою ННІ «Інститут геології»
протокол N 2 від 24 вересня 2024 р.

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна геодезія» розроблені для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Оцінка землі та нерухомого майна», «Геоінформаційні системи та технології» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». В методичних рекомендаціях розглянуто основні практичні питання з трасування лінійних споруд, дослідження деформації інженерних споруд та створення проекту будівельної сітки. Наведено типові приклади для самостійної підготовки студентів та виконання ними практичних завдань.

© Т.М. Малік, 2024

© Д.О. Ляшенко, 2024

© ННІ «Інститут геології», 2024

Зміст

Вступ	4
I. Розрахунок та розпланування елементів перехідних і колової кривих	5
Практична робота 1. Розрахунок елементів колової кривої	5
Практична робота 2. Розрахунок пікетажу	7
Практична робота 3. Розрахунок елементів перехідної та колової кривих	9
II. Дослідження деформації інженерних споруд	13
Практична робота 4. Дослідження осідань споруд	13
Практична робота 5. Дослідження зсувів	16
III. Проект будівельної сітки	19
Практична робота 6. Проект будівельної сітки	19
Практична робота 7. Визначення класу або розряду для побудови будівельної сітки	27
Список рекомендованих джерел	33
Додатки	

Вступ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Інженерна геодезія» розроблені для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Оцінка землі та нерухомого майна», «Геоінформаційні системи та технології» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

В методичних рекомендаціях розглянуто основні практичні питання з трасування лінійних споруд, дослідження деформації інженерних споруд та створення проекту будівельної сітки. Наведено типові приклади для самостійної підготовки студентів та виконання ними практичних завдань.

Мета освітньої дисципліни – засвоєнні загальних відомостей з комплексу геодезичних та інженерно-геодезичних робіт, які проводять під час проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд; опануванні сучасними геодезичними приладами та методиками для створення опорних планово-висотних, розмічувальних мереж на будівельному майданчику; виконання геодезичного контролю точності геометричних параметрів будівель та виконання виконавчих геодезичних знімачів; використання сучасних вимог нормативної документації в галузі будівництва.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: вимоги до побудови планових інженерно-геодезичних мереж; способи побудови опорної інженерно-геодезичної мережі у вигляді будівельної сітки; вимоги та способи побудови висотної інженерно-геодезичної мережі; методи трасування лінійних споруд; вимоги до інженерно-геодезичного забезпечення проектування та будівництва інженерних споруд; види деформаційних зміщень інженерних споруд; методи вимірювання вертикальних, горизонтальних зміщень та кренів інженерних споруд;

вміти: проектувати та виконувати розрахунок точності планових та висотних інженерно-геодезичних мереж; розробляти та розраховувати проект будівельної сітки на основі сучасних наукових розробок та електронних приладів; складати розмічувальні креслення для винесення в природу головних, основних і інших осей інженерних споруд; виконувати розрахунок елементів колової кривої при трасуванні лінійних споруд; виконувати розрахунок пікетажу; визначати величини деформацій земної поверхні та інженерних споруд, розраховувати геометричні параметри зміщень.

Оцінювання здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (друга редакція)» http://nmc.univ.kiev.ua/docs/Polozhennia-pro-organizatsiyu-osvitniogo-procesu-11_04_2022.pdf.

I. Розрахунок та розпланування елементів перехідних і колової кривих

Практичні роботи з дисципліни **інженерна геодезія** студент оформлює у вигляді розрахунково-графічної роботи як це наведено в рішенні нульового варіанту в методичних вказівках.

Варіант розрахункової роботи студент обирає по номеру списку в журналі, або викладач видає особисто.

При виконанні трасувальних робіт для будівництва залізниць, автомобільних доріг, транспортно-автомобільних розв'язок, монорейкових доріг, метрополітенів та ін. доводиться мати справу з кривими дільницями. Для таких дільниць потрібно знаходити як елементи колової кривої, так і загальні елементи колової та двох перехідних кривих, а також обчислювати новий пікетаж на цих кривих.

З методичної точки зору задачі ілюструються конкретними прикладами, порядком їх розв'язання, точністю та контролем обчислень.

В табл. 1.1. знаходяться варіанти вихідних даних для розв'язку практичних робіт 1-3.

Табл. 1.1

Варіанти вихідних даних

1. Радіус колової кривої	$R = 100m + 1m \cdot N$; N – порядковий номер студента в журналі
2. Кут повороту траси, або вершина кута ВК	$\varphi = 60^{\circ}00' + 3' \cdot N$
3. Пікетаж вершини кута ВК	$ПК\ ВК = ПК\ 26 + 46,57m + 121m \cdot N$
4. Довжина перехідної кривої	$l = 50m$ постійна величина для всіх варіантів

Практична робота 1. Розрахунок елементів колової кривої

Завдання 1. Виконати розрахунок елементів колової кривої як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту. Накреслити схему елементів колової кривої.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Вихідні дані:

Радіус колової кривої $R = 250m$;

кут повороту траси $\varphi = 29^{\circ}17'38'' = 29,293886$;

Пікет вершини кута повороту траси $ПК\ ВК = ПК = пік\ 26 + 46,570m$;

Довжина перехідної кривої $l = 50m$.

На рис. 1.1. наведено схему елементів колової кривої на якій позначено: ВК – вершина кута повороту траси, ПК – початок колової кривої, КК – кінець колової кривої, Т – тангенс, Б – бісектриса, D – домір.

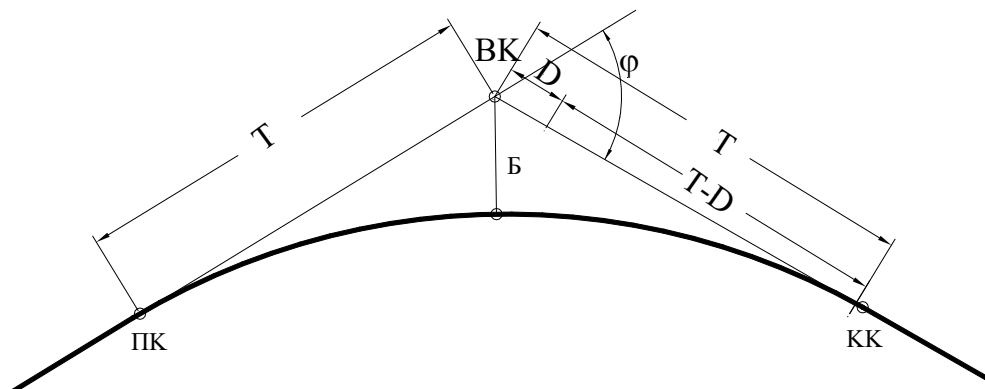


Рис. 1.1. Елементи колової кривої

1. Визначення довжин тангенса за формулою

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} = 65,338_9 \text{ м.}$$

2. Довжина бісектриси обчислюється за формулою

$$B = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\phi}{2}} - 1 \right) = 8,397_3 \text{ м.}$$

3. Довжина колової кривої визначається за формулою

$$K = R \cdot \frac{\pi \cdot \phi^\circ}{180^\circ} = 127,818_7 \text{ м.}$$

4. Величина доміру обчислюється за формулою

$$D = R \cdot \left(2 \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} - \frac{\pi \cdot \phi^\circ}{180^\circ} \right) = 2,859_1 \text{ м.}$$

5. Контрольне рівняння

$$D = 2T - K = 2,859_1 \text{ м.}$$

Завдання 2. Виконати розрахунок нових значень елементів зміщеної колової кривої з урахуванням перехідних кривих як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту. Накреслити схему переміщення центру перехідної кривої (рис. 1.2).

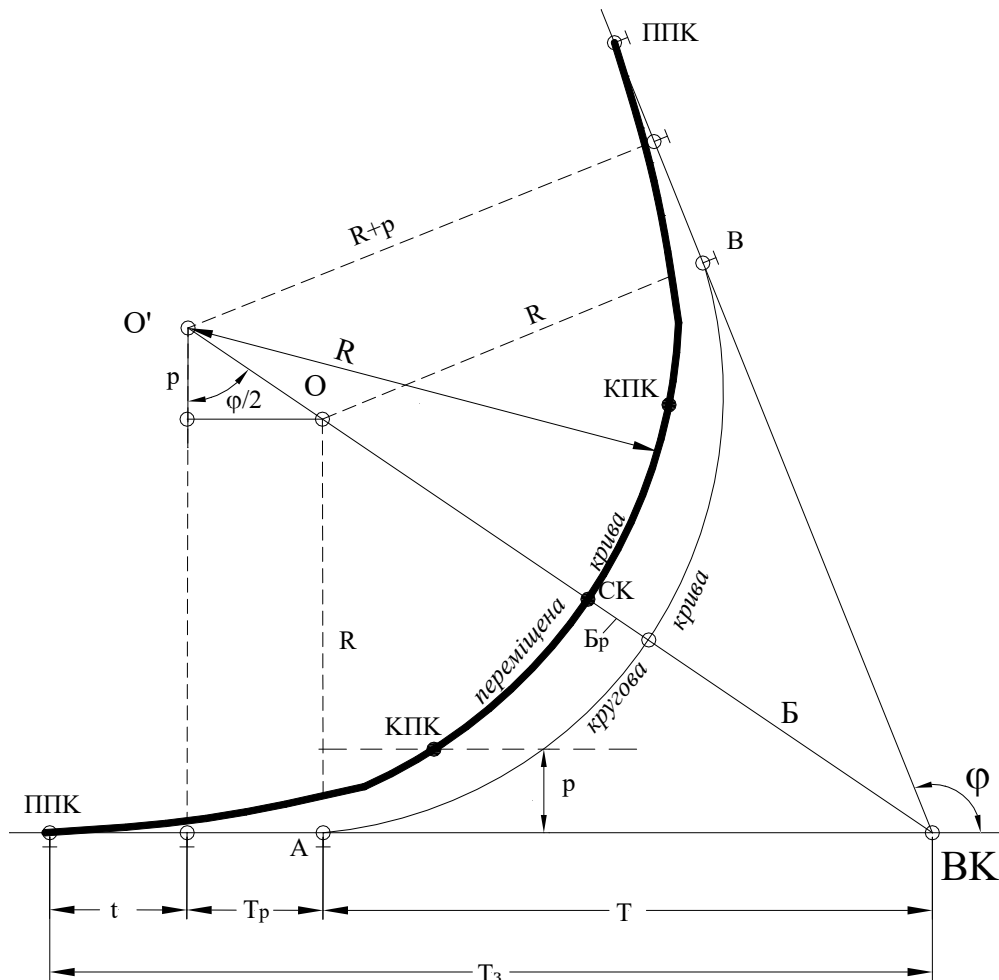


Рис. 1.2. Переміщення центру перехідної кривої

Приклад розв'язання нульового варіанту.

1. Переміщення колової кривої визначається з виразу:

$$P = \frac{l^2}{24 \cdot R} \left(1 - \frac{l^2}{112 \cdot R^2} \right) = 0,416_5 \text{ м.}$$

2. Доповнення до тангенса знаходиться за формулою:

$$t = \frac{l}{2} \left(1 - \frac{l^2}{120 \cdot R^2} \right) = 24,991_1 \text{ м.}$$

3. Довжина зміненого тангенса кривої:

$$T' = T + T_p = T + p \cdot \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} = 65,447_8 \text{ м,}$$

$$T_p = p \cdot \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} = 0,108_9 \text{ м.}$$

4. Загальний тангенс знаходиться за рівнянням:

$$T_3 = T' + t = 90,438_9 \text{ м.}$$

5. Значення бісектриси з урахуванням переміщення визначається за формулою:

$$B_3 = B + \frac{p}{\cos \phi/2} = 8,827_8 \text{ м.}$$

6. Оскільки дві перехідні криві за рахунок переміщення центра колової кривої скорочують її, то за формулою Г.П. Левчука загальна довжина зміщеної колової та двох перехідних кривих складатиме:

$$K_3 = K + l = 177,817_7 \text{ м.}$$

7. Новий домір знаходиться з рівняння:

$$D_3 = 2T_3 - K_3 = 3,060_1 \text{ м.}$$

8. Контрольне рівняння:

$$D_3 = D + 2 \cdot T_p - (l - 2t) = 3,059_1 \text{ м.}$$

Як видно з контрольного рівняння та попереднього значення доміру, що існує розбіжність в один мм. Ця розбіжність пояснюється неточністю отриманих формул, які викладені в підручнику за авторством Л.П. Левчука та у цій задачі. Практично така розбіжність незначна і нею можна знехтувати.

Практична робота 2. Розрахунок пікетажу

Завдання 1. Виконати розрахунок пікетажу на перехідні криві та переміщену колову криву для характерних точок як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту. Кожен студент за своїм варіантом креслить необхідні елементи загальної кривої з нанесенням пікетажу характерних точок загальної кривої. Розраховані елементи для виконання практичної роботи потрібно брати із завдання 2 практичної роботи 1, а пікетаж вершини кута ВК береться із завдання 1.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Позначимо слово пікетаж скорочено *пик*. Розраховані елементи взяті із завдання 2 практичної роботи 1, пікетаж вершини кута ВК взято із завдання 1 $\text{пикВК} = \text{пик}26 + 46,570 \text{ м}$. На рис. 1.3 показані всі необхідні елементи пікетажу характерних точок загальної кривої.

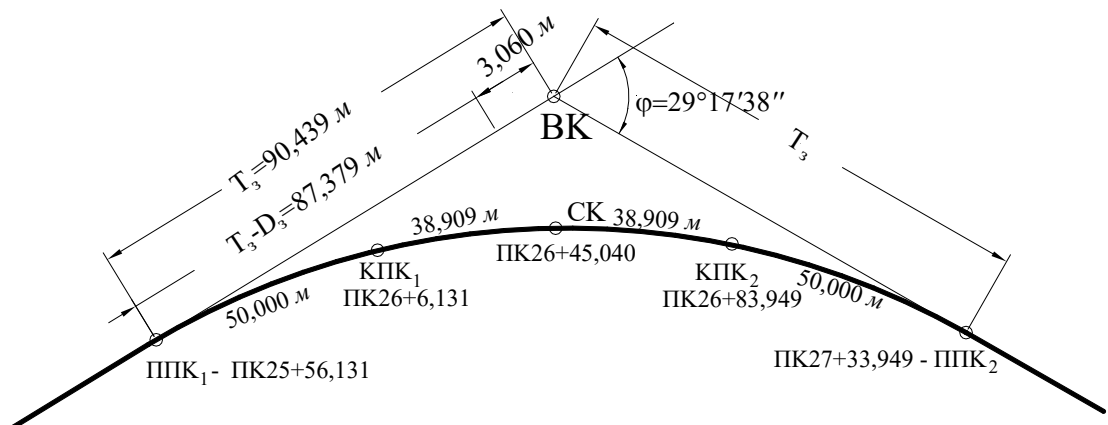


Рис 1.3. Пікетаж характерних точок загальної кривої

1. Знаходження пікетажу початку перехідної кривої один $ППК_1$ та початку перехідної кривої два $ППК_2$:

$$нікППК_1 = нікВК - T_3 = нік26 + 46,570м - 90,439м = нік25 + 56,13 м;$$

$$нікППК_2 = нікВК + (T_3 - D_3) = нік26 + 46,570м + 87,379 = \underline{нік27 + 33,949м}.$$

Контроль:

$$нікППК_2 = нікППК_1 + K_3 = нік25 + 56,13 м + 177,818м = \underline{нік27 + 33,949м}.$$

2. Обчислення пікетажу точок кінця першої перехідної кривої (початок кривої $ПК$), середини кривої $СК$ та кінця другої перехідної кривої $КПК_2$ (кінець кривої $КК$):

$$нікКПК_1 = нікППК_1 + 50м = нік25 + 56,131м + 50м = нік26 + 6,131м;$$

$$нікСК = нікКПК_1 + \frac{K_3 - 100}{2} = нік26 + 6,131м + \frac{177,817_7 - 100}{2} =$$

$$= нік26 + 45,040м;$$

$$нікКПК_2 = нікСК + \frac{K_3 - 100}{2} = нік26 + 45,40м + \frac{177,817_7 - 100}{2} =$$

$$= нік26 + 83,949м.$$

Контроль:

$$нікППК_2 = нікКПК_2 + 50м = нік26 + 83,949м + 50м = \underline{нік27 + 33,949м}.$$

Завдання 2. Виконати детальне розпланування перехідних кривих способом прямокутних координат як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту, а саме для перехідної кривої $l = 50м$ визначити прямокутні координати п'яти точок при довжинах $S = 10 м, 20 м, 30 м, 40 м$ та $50м$.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Прямокутні координати обчислюються за формулами

$$\left. \begin{aligned} x &= S \cdot \left(1 - \frac{S^4}{40C^2} \right), \\ y &= \frac{S^3}{6C} \left(1 - \frac{S^4}{56C^2} \right). \end{aligned} \right\}$$

У цих формулах постійна величина $C = R \cdot l = 250 \cdot 50 = \underline{125 \cdot 10^2}$. Для перехідної кривої $l = 50м$ визначимо прямокутні координати п'яти точок при довжинах $S = 10 м, 20 м, 30 м, 40 м$ та $50 м$.

1. $S = 10м$

$$x = 10 \cdot \left(1 - \frac{10^4}{40 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 10,000_0м;$$

$$y = \frac{10^3}{6 \cdot 125 \cdot 10^2} \left(1 - \frac{10^4}{56 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 0,013_3м.$$

2. $S = 20м$

$$x = 20 \cdot \left(1 - \frac{20^4}{40 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 19,999_5м;$$

$$y = \frac{20^3}{6 \cdot 125 \cdot 10^2} \left(1 - \frac{20^4}{56 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 0,106_7м.$$

3. $S = 30м$

$$x = 30 \cdot \left(1 - \frac{30^4}{40 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 29,996_1м;$$

$$y = \frac{30^3}{6 \cdot 125 \cdot 10^2} \left(1 - \frac{30^4}{56 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 0,360_0м.$$

4. $S = 40м$

$$x = 40 \cdot \left(1 - \frac{40^4}{40 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 39,983_6м;$$

$$y = \frac{40^3}{6 \cdot 125 \cdot 10^2} \left(1 - \frac{40^4}{56 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 0,853_{1M}.$$

$$5. \quad S = 50_{M}$$

$$x = 50 \cdot \left(1 - \frac{50^4}{40 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 49,950_{M};$$

$$y = \frac{50^3}{6 \cdot 125 \cdot 10^2} \left(1 - \frac{50^4}{56 \cdot 125^2 \cdot 10^4} \right) = 1,665_{5M}.$$

Практична робота 3. Розрахунок елементів перехідної та колової кривих

Завдання 1. Виконати розрахунок елементів перехідної та колової кривих за формулами професора Петра Івановича Барана як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту. Вихідні дані та значення елементів колової кривої залишаються такими, як і в завданні 1 практичної роботи 1. Зробити висновки.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

1. Постійна величина рівняння кривої:

$$C = R \cdot l = 250 \cdot 50 = \underline{12500 \text{ м}^2}.$$

2. Визначення кутів біжучої точки по перехідній кривій та у її кінці виконується за формулами:

$$\varphi_s = \frac{S^2}{2C};$$

якщо $S=l$, тоді

$$\varphi_l = \frac{l^2}{2R \cdot l},$$

або

$$\varphi_l = \frac{l}{2R} = \frac{50}{2 \cdot 250} = 0,1 \text{ рад} = 0,1 \cdot 57,29578^\circ = 5,729578^\circ = 5^\circ 43' 46,48'',$$

де S – віддалення біжучої точки перехідної кривої від її початку,

l – вибрана довжина перехідної кривої.

3. Переміщення кінця перехідної кривої KPK (рис. 1.4) обчислюється за формулою:

$$p = \frac{R \cdot Q^2}{24} \left\{ 1 - \frac{Q^2}{112} \left[1 - \frac{Q^2}{188,571} \left(1 - \frac{Q^2}{305,45} \left[1 - \frac{Q^2}{456} \right] \right) \right] \dots \right\},$$

де

$$Q^2 = \left(\frac{l}{R} \right)^2 = \left(\frac{50}{250} \right)^2 = 0,2^2 = 0,04.$$

Тоді переміщення потрібно обчислювати у наступному порядку:

$$a) \quad 1 - \frac{Q^2}{456} = 0,9999123;$$

$$b) \quad 1 - \frac{Q^2}{305,45} \cdot 0,9999123 = 1 - 0,0001309 = 0,9998691;$$

$$c) \quad 1 - \frac{Q^2}{188,571} \cdot 0,9998691 = 0,9997879;$$

$$d) \quad 1 - \frac{Q^2}{112} \cdot 0,9997879 = 0,9996429;$$

$$e) \quad p = \frac{R \cdot Q^2}{24} = 0,416_{5M}.$$

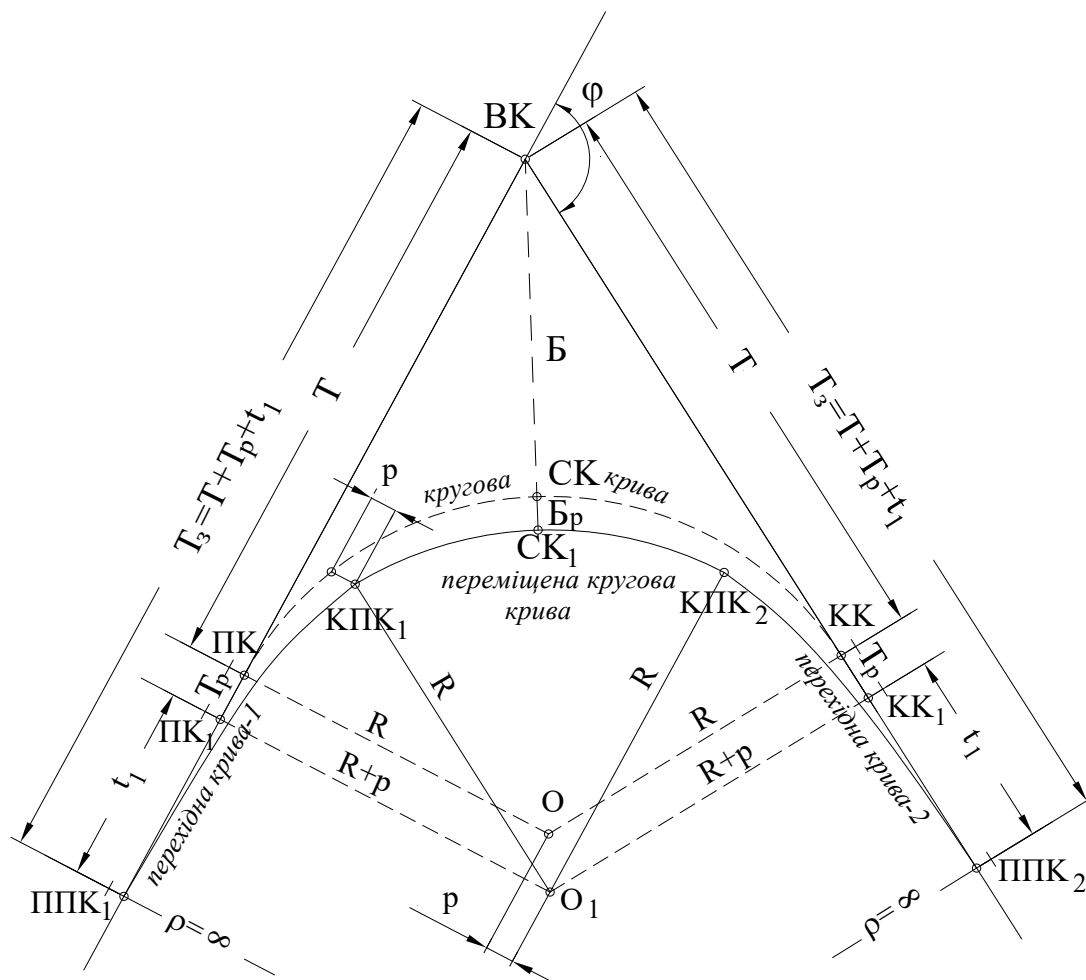


Рис. 1.4 Перехідні та колова крива з переміщеним центром

Як видно з розрахунків величина переміщення перехідної кривої за формулами Л.П. Левчука та П.І. Барана однакові $P = 0,416_5 м$.

4. Додатки до тангенса знаходяться за формулами:

$$T_p = p \cdot tg \frac{\phi}{2} = 0,4165 \cdot tg 14^\circ 38' 49'' = 0,108_{85} м;$$

$$t_1 = \frac{l}{2} \left\{ 1 - \frac{Q^2}{120} \left[1 - \frac{Q^2}{144} \left(1 - \frac{Q^2}{242,67} \left[1 - \frac{Q^2}{376,6} \right] \right) \right] \dots \right\}.$$

Порядок обчислень за цією формулою:

- а. $1 - \frac{Q^2}{376,6} = 0,9998938$;
- б. $1 - \frac{Q^2}{242,67} \cdot 0,9998938 = 0,9998352$;
- в. $1 - \frac{Q^2}{144} \cdot 0,9998352 = 0,9997223$;
- г. $1 - \frac{Q^2}{120} \cdot 0,9997223 = 0,9996668$;
- д. $t_1 = \frac{l}{2} \cdot 0,9996668 = \underline{24,991_7 м}$.

5. Додаток до бісектриси визначається за формулою

$$B_p = \frac{p}{\cos \frac{\phi}{2}} = 0,430_5 м.$$

6. Довжина переміщеної залишкової колової кривої обчислюється за формулою

$$K_{II} = \frac{\pi \cdot R \cdot (\phi - 2\phi_L)}{180^\circ} = \frac{3,1415926 \cdot 250 \cdot (29,293886^\circ - 2 \cdot 5,72957^\circ)}{18^\circ} = \underline{77,8187}_m.$$

7. Загальні значення точних елементів переміщених кривих знаходяться з наступних рівнянь:

а. Загальний тангенс перехідної та колової кривих

$$T_3 = T + T_p + t_1 = \underline{90,439}_{45}_m.$$

Порівнюючи це значення зі значенням із завдання 2 видно, що вже існує різниця $90,438_9 - 90,439_{45} = 0,55_{mm}$, хоч і незначна.

б. Загальна довжина кривої

$$K_3 = 2l + K_{II} = \underline{177,818}_7_m.$$

Це значення співпадає з величиною загальної довжини кривої із завдання 2.

в. Загальна довжина бісектриси

$$B_3 = B + B_p = \underline{8,827}_8_m.$$

Два значення із завдань 2 і 5 співпадають.

г. Загальна величина доміру

$$D_3 = D + 2(T_p + t_1) - l = \underline{3,060}_2_m.$$

Тут вже різниця відчувається:

$$3,059_1 - 3,060_2 = -0,001_1_m = -1,1_{mm}.$$

Завдання 2. Виконати детальне розпланування перехідних кривих способом прямокутних координат за формулами професора П.І.Барана як наведено в прикладі розв'язання нульового варіанту. Вихідні дані та значення елементів колової кривої залишаються такими, як і в завданні 1 практичної роботи 1.

Координати обчислюються за формулами:

$$x_s = S \cdot \left\{ 1 - \frac{q^2}{40} \left[1 - \frac{q^2}{86,4} \left(1 - \frac{q^2}{173,333} \left[1 - \frac{q^2}{292,92} \right] \right) \right] \right\};$$

$$y_s = \frac{S \cdot q}{6} \cdot \left\{ 1 - \frac{q^2}{56} \left[1 - \frac{q^2}{125,714} \left(1 - \frac{q^2}{229,091} \left[1 - \frac{q^2}{364,8} \right] \right) \right] \right\}.$$

У цих формулах значення $q = \frac{S^2}{C}$ обчислюється для фіксовано віддаленої біжучої точки S .

$$1. \quad \underline{S = 10}_m; \quad q = S^2/C = 10^2/12500 = \underline{0,008};$$

$$x_{10} = 10 \cdot 0,9999984 = \underline{9,99998}_m \approx \underline{10,000}_0_m.$$

$$y_{10} = \frac{S \cdot q}{6} \cdot 0,9999989 = \underline{0,013}_3_m.$$

$$2. \quad \underline{S = 20}_m; \quad q = S^2/C = 20^2/12500 = \underline{0,032};$$

$$x_{20} = 20 \cdot 0,9999744 = \underline{19,999}_5_m.$$

$$y_{20} = \frac{S \cdot q}{6} \cdot 0,9999817 = \frac{20 \cdot 0,032}{6} \cdot 0,9999817 = \underline{0,106}_7_m.$$

$$3. \quad \underline{S = 30}_m; \quad q = S^2/C = 30^2/12500 = \underline{0,072};$$

$$x_{30} = 30 \cdot 0,9998704 = \underline{29,996_1 \text{ м}}.$$

$$y_{30} = \frac{S \cdot q}{6} \cdot 0,9999074 = \frac{30 \cdot 0,072}{6} \cdot 0,9999074 = \underline{0,360_0 \text{ м}}.$$

4. $\underline{S = 40 \text{ м}}$; $q = S^2/C = 40^2/12500 = \underline{0,128}$;

$$x_{40} = 40 \cdot 0,9995905 = \underline{39,983_6 \text{ м}}.$$

$$y_{40} = \frac{S \cdot q}{6} \cdot 0,9997075 = \frac{30 \cdot 0,128}{6} \cdot 0,9997075 = \underline{0,853_1 \text{ м}}.$$

5. $\underline{S = 50 \text{ м}}$; $q = S^2/C = 50^2/12500 = \underline{0,200}$;

$$x_{50} = 50 \cdot 0,9990005 = \underline{49,950_0 \text{ м}}.$$

$$y_{50} = \frac{S \cdot q}{6} \cdot 0,9992859 = \frac{50 \cdot 0,2}{6} \cdot 0,9992859 = \underline{1,665_5 \text{ м}}.$$

Порівнявши обчислені результати прямокутних координат розпланування перехідної кривої при радіусі колової кривої $R = 250\text{м}$ із завдання 2 практичної роботи 2 та завдання 2 практичної роботи 3 видно, що розраховані величини повністю співпадають.

Висновки.

Із розв'язання задач розпланування кривих за формулами Г.П.Левчука та професора П.І.Барана можна зробити висновки, що при радіусі кривої $R = 250\text{м}$:

1. Значення домірів з обох методів мають розбіжність в один мм, але це незначна величина.
2. Довжини загальних кривих з формул двох методів співпадають.
3. Прямокутні координати розпланування перехідної кривої із двох методів повністю співпадають.
4. Для менших радіусів колових кривих 150м та 100м розбіжності вже будуть відчуватися, тому при малих радіусах потрібно надавати перевагу формулам професора П.І.Барана, як більш точним.

Аналізуючи власні розрахунки за варіантом зробити висновки.

II. Дослідження деформації інженерних споруд

Практична робота 4. Дослідження осідань споруд

Під час дослідження деформацій інженерної споруди було отримано значення осідань для дванадцяти циклів у лінійному вимірі (табл. 2.1). Y_i , мм – значення осідань в мм. Кожен студент змінює вихідні значення осідань циклів 4, 7, 8 на $+0,1 \cdot N$, де N – номер варіанту (номер по списку в журналі, або викладач видає особисто).

Виконати завдання як наведено в прикладі розв’язання нульового варіанту, зробити висновки.

Завдання 1. За вихідними даними осідань (табл. 2.1) побудувати теоретичну криву графіку осідань і зробити прогноз на два цикли.

Завдання 2. Перевірити наявність систематичного осідання в ряду спостережень.

Завдання 3. За даними осідань (табл. 2.1) перевірити наявність грубих помилок.

Приклад розв’язання нульового варіанту завдання 1.

1. Теоретична крива графіку осідань обчислюється за формулою:

$$Y(t) = b_0 + b_1 \lg t \quad (2.1)$$

Визначення коефіцієнтів: b_0, b_1 : здійснюється за формулами (2.2), (2.3)

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (2.2)$$

$$b_1 = \frac{\sum \delta X_i \delta Y_i}{\sum \delta^2 X_i} \quad (2.3)$$

де $\sum \delta^2 X_i$ обчислюється за формулою (2.4), $\sum \delta X_i \delta Y_i$ – за формулою (2.5).

$$\sum \delta^2 X_i = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}, \quad (2.4)$$

$$\sum \delta X_i \delta Y_i = \sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n} \quad (2.5)$$

\bar{X}, \bar{Y} – середні значення X_i, Y_i обчислюються за формулами (2.6)

$$\begin{cases} \bar{X} = \sum X_i / n, \\ \bar{Y} = \sum Y_i / n \end{cases} \quad (2.6)$$

Розв’язок оформити так як наведено в табл. 2.1.

Після знаходження коефіцієнтів: b_0, b_1 обчислюють значення $Y(t)$ за формулою (2.1) та будують теоретичну криву графіку осідань. Приклад теоретичної кривої для нульового варіанту показано на рис. 2.1. В таблиці 2.1 наведено розрахунки для отримання теоретичних значень $Y(t)$ для нульового варіанту.

Табл. 2.1

Таблиця розрахунків для отримання теоретичних значень $Y(t)$

№ з/п	t, номер циклу	Y_i , мм	$\lg t = X$	Y_i^2	X_i^2	$X_i Y_i$	$Y(t) = b_0 + b_1 \lg t$
1	1	15	0	225,00	0	0	15,81
2	2	25	0,30	625,00	0,09	7,53	23,76
3	3	28	0,48	784,00	0,23	13,36	28,42
4	4	31,7	0,60	1004,89	0,36	19,09	31,72
5	5	35	0,70	1225,00	0,49	24,46	34,28
6	6	38	0,78	1444,00	0,61	29,57	36,37
7	7	35,7	0,85	1274,49	0,71	30,17	38,14
8	8	40,7	0,90	1656,49	0,82	36,76	39,67
9	9	40	0,95	1600,00	0,91	38,17	41,03
10	10	41	1	1681,00	1	41,00	42,24
11	11	44	1,04	1936,00	1,08	45,82	43,33
12	12	45	1,08	2025,00	1,16	48,56	44,33
Σ		419,1	8,68	15480,87	7,46	334,48	
13	13		1,11				45,25
14	14		1,15				46,10

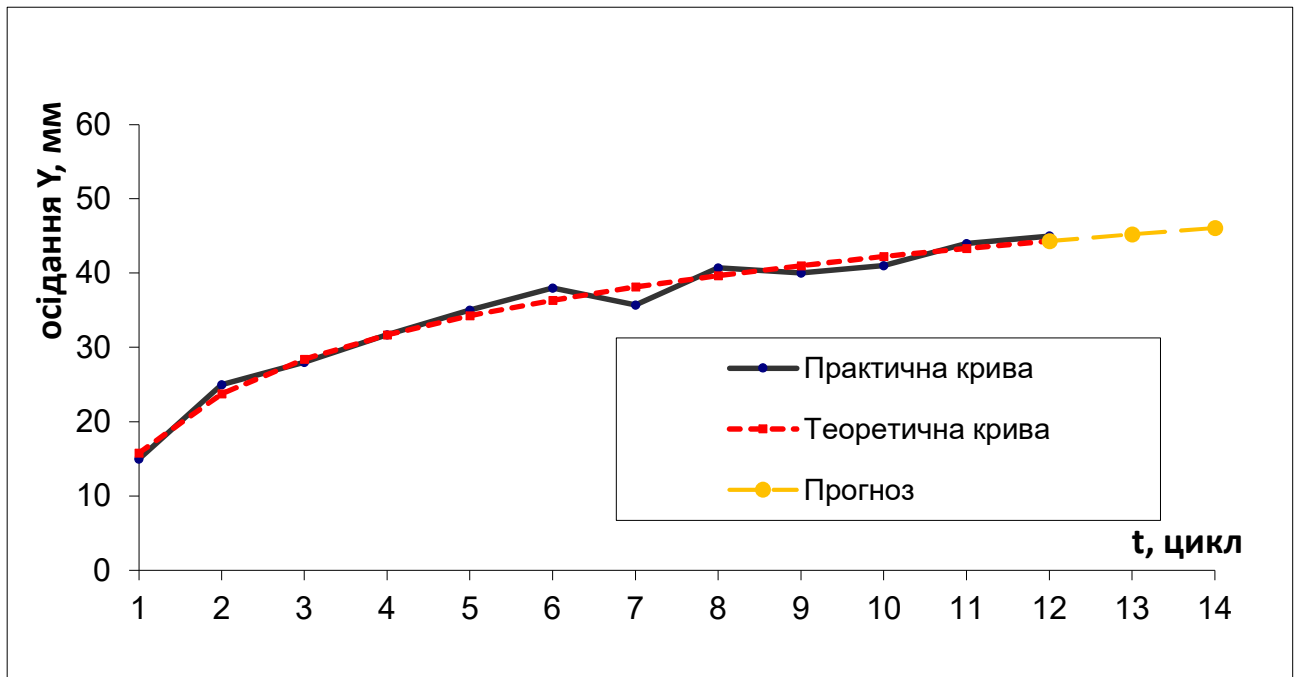


Рис. 2.1 Теоретична та практична криві графіку осідань

Приклад розв'язання нульового варіанту завдання 2.

2. Для перевірки на наявність систематичного осідання в ряду спостережень застосовуємо критерій Аббе.

Критерій Аббе застосовується у випадках, коли невідоме дійсне значення вимірюваної величини.

Розв'язання. Утворюють різниці $V_i = Y_i - \bar{Y}$ і $d_i = Y_{i+1} - Y_i$. Обчислення зводимо до табл. 2.2.

\bar{Y} – середнє значення Y_i обчислюємо за формулою (2.6).

Обчислюємо дисперсії

$$m^2 = \frac{[V_i^2]}{n-1} \text{ і } m_d^2 = \frac{[d_i^2]}{2(n-1)} \quad (2.7)$$

Знаходимо статистику $\delta = m_d^2 / m^2$. Критична область визначається нерівністю $\delta > \delta_q$. При $\delta < \delta_q$ систематичний зсув арифметичної середини присутній. Статистику δ_q вибирають з дод. 1 за рівнем значущості q і числом елементів n (при $n \leq 20$).

Для нульового варіанту обчислено:

$$m^2 = \frac{[V_i^2]}{n-1} = 76,71$$

$$m_d^2 = \frac{[d_i^2]}{2(n-1)} = 8,38$$

$$\delta = \frac{m_d^2}{m^2} = 0,11$$

При $n=12$ та $q=0,05$, або $P=0,95$ $\delta_q=0,56$ із додатку 1.

Табл. 2.2

Таблиця розрахунків для перевірки на наявність систематичного осідання в ряду спостережень за критерієм Аббе

№ з/п	t, номер циклу	$Y_i, \text{мм}$	V_i	V_i^2	d_i	d_i^2
1	1	15	-19,93	397,01	10	100
2	2	25	-9,93	98,51	3	9
3	3	28	-6,93	47,96	3,7	13,69
4	4	31,7	-3,23	10,40	3,3	10,89
5	5	35	0,08	0,01	3	9
6	6	38	3,08	9,46	-2,3	5,29
7	7	35,7	0,78	0,60	5	25
8	8	40,7	5,78	33,35	-0,7	0,49
9	9	40	5,08	25,76	1	1
10	10	41	6,08	36,91	3	9
11	11	44	9,08	82,36	1	1
12	12	45	10,08	101,51		
Σ		419,1	0,00	843,80	30	184,36

Висновок: оскільки $\delta < \delta_q$ /0,11 < 0,56/, фактор осідання встановлено, гіпотеза підтверджується.

Приклад розв'язання нульового варіанту завдання 3.

3. Перевірку на наявність грубих помилок виконаємо використовуючи критерій Греббса.

У разі порушення умов спостережень окремі результати вимірювань різко відрізняються від основної маси. Гіпотеза про наявність граничних (грубих) помилок перевіряється нерівністю

$$|\Delta_{np}| \leq t_{\beta} m \quad (2.8)$$

де t_{β} – коефіцієнт, який вибирають із таблиць розподілу Стюдента (дод. 2) при $n \leq 30$ за значеннями n і q .

У критерії Греббса обчислюють статистику

$$Z = \frac{(Y_{\max} - \bar{Y})}{m} \quad (2.9)$$

критична область встановлюється нерівністю $Z < Z_q$. Статистику обирають із додатку 3 за значеннями n і q .

Для нульового варіанту обчислено: при $m = \sqrt{76,71} = 8,76$ (із завдання 2 практичної роботи 4); $Y_{\max} = 45$ мм і $\bar{Y} = \sum Y_i / n = 419,1 / 12 = 34,9$ розраховуємо

$$Z = (45 - 34,9) / 8,76 = 1,15. \text{ Із додатку 3 при } n=12 \text{ та } q=0,10 \text{ знаходимо } Z_q = 2,23.$$

Висновок: оскільки $Z < Z_q$ (1,15 < 2,23), в ряду вимірювань грубих помилок немає.

Завдання 4. Обґрунтувати періодичність спостережень за видом деформації при геодезичному моніторингу інженерних споруд та елементів їх конструкцій. Для надання відповіді користуватися чинними нормативно-правовими документами.

Практична робота 5. Дослідження зсувів

Короткі теоретичні відомості.

Маючи висоти H фіксовані на споруді або схилі точок, можна визначити абсолютні ΔH_i , сумарні осідання $\sum_{i=1}^n \Delta H_i$, їх швидкість $\vartheta(\Delta H_i)$ і прискорення $w(\Delta H_i)$.

Абсолютну величину осідань ΔH_i точки від циклами обчислюють за формулою

$$\Delta H_i = \Delta H_{i+1} - H_i. \quad (2.10)$$

Повні (сумарні) осідання точки відносні початкового циклу H_0 спостережень знаходять за формулою

$$\sum_{i=1}^n \Delta H_i = H_i - H_0. \quad (2.11)$$

Середні осідання розраховують як середнє арифметичне із суми всіх осідань даної точки, тобто

$$\Delta H_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n}. \quad (2.12)$$

Швидкість осідання точки і прискорення знаходять за формулами

$$\left. \begin{aligned} \vartheta(\Delta H_i) &= \frac{\Delta H_i}{\Delta t_i}, \\ w(\Delta H_i) &= \frac{\vartheta(\Delta H_i)}{\Delta t_i}. \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

де i – номер циклу спостереження; n – кількість значень осідань; $i, i+1$ – номери поточного і попереднього циклів відповідно; Δt_i – проміжок часу спостережень, виражений у місяцях або роках.

Середню швидкість і прискорення осідання точки знаходять з виразів:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta(\Delta H_i)_{\text{сер}} &= \frac{\vartheta(\Delta H_i)}{n}, \\ w(\Delta H_i)_{\text{сер}} &= \frac{\vartheta(\Delta H_i)}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Планові зміщення точки на споруді чи зсувному схилі по осях абсциси X та ординати Y між циклами обчислюють за формулами

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_i &= X_{i+1} - X_i, \\ \Delta Y_i &= Y_{i+1} - Y_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Планове зміщення точки складе

$$\Delta S_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}, \quad (2.16)$$

просторове –

$$\Delta L_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (H_{i+1} - H_i)^2} = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta H_i^2}$$

або

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta S_i^2 + \Delta H_i^2}, \quad (2.17)$$

де $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta H_i$ – зміщення зсувної точки за певний час у просторі; X_i, Y_i, H_i ; $X_{i+1}, Y_{i+1}, H_{i+1}$ – координати точки поточного і попереднього циклів.

Швидкість зміщення $\vartheta(\Delta S_i)$ і прискорення $w(S_i)$ точки в плані визначають за формулами

$$\vartheta(\Delta S_i) = \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i}, \quad w(\Delta S_i) = \frac{\vartheta(\Delta S_i)}{\Delta t_i}. \quad (2.18)$$

Середня швидкість планового зміщення $\vartheta(\Delta S_i)$ і прискорення $w(S_i)$ тієї ж точки за той самий період часу Δt_i визначають за формулами

$$\vartheta(\Delta S_i)_{\text{сеп}} = \frac{\vartheta(\Delta S_i)}{n}, \quad w(\Delta S_i)_{\text{сеп}} = \frac{\vartheta(\Delta S_i)_{\text{сеп}}}{n}. \quad (2.19)$$

де n – кількість значень зміщень.

Крім планових зміщень, осідань, середньої швидкості та прискорення важливо знати нахил і напрямок зміщення точки.

Кут нахилу вектору зміщення точки горизонту обчислюють за формулою

$$\varphi_i = \arctg \frac{\Delta H_i}{\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}} = \frac{\Delta H_i}{\Delta S_i}, \quad (2.20)$$

напрямок (дирекційний кут) вектору зміщення буде

$$\alpha_i = \arctg \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i}, \quad (2.21)$$

де $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta H_i$ – зміщення точки за певний час у просторі; $i, i+1$ – номери циклів спостережень; $X_i^{\square}, Y_i^{\square}, H_i^{\square}; X_{i+1}^{\square}, Y_{i+1}^{\square}, H_{i+1}^{\square}$ – координати точки попереднього і даного циклів.

Зміщення точок зсуву обчислюють відносно опорних знаків, розташованих поза зсувною ділянкою. Кількість знаків, у тому числі й опорних, визначається із забезпеченням якісної схеми вимірів і виявлення всіх характеристик процесу, що відбувається.

Спостереження за зсувами виконуються не рідше одного разу на рік. Періодичність корегується залежно від коливання швидкості руху зсуву: вона повинна збільшуватися в періоди активізації та зменшуватися в період затухання.

Завдання 1. Виконати обчислення з урахуванням формул (2.10 – 2.15) параметрів осідання точки на зсувному схилі за одинадцять циклів спостережень (період циклу – 6 місяців). Результати обчислень занести до таблиці (табл. 2.3), відповідно до результатів побудувати графічні зображення осідання точки на даний період спостережень, зробити висновок. Вихідні дані взяти з додатку 4.

Табл. 2.3.

Розрахунок параметрів осідання точки на зсувному схилі
(приклад для нульового варіанту)

Номер циклу	$H, м$	$\Delta H_i, мм$	$\Sigma \Delta H_i, мм$	$\Delta H_{\text{ср}}, мм$	$\vartheta(\Delta H_i) мм/міс$	$w(\Delta H_i) мм/міс^2$
0	39,5129	-0,0055	0	-0,0252		
1	39,5074	-0,0002	-0,0055		-0,0002	-0,0002
2	39,5072	-0,0045	-0,0057		-0,0023	-0,0011
3	39,5027	-0,0078	-0,0102		-0,0026	-0,0009
4	39,4949	-0,0035	-0,0180		-0,0009	-0,0002
5	39,4914	-0,0027	-0,0215		-0,0005	-0,0001
6	39,4887	-0,0080	-0,0242		-0,0013	-0,0002
7	39,4807	-0,0071	-0,0322		-0,0010	-0,0001
8	39,4736	-0,0003	-0,0393		0,0000	0,0000
9	39,4733	-0,0001	-0,0396		0,0000	0,0000
10	39,4732	-0,0018	-0,0397		-0,0002	0,0000
11	39,4714		-0,0415			
Σ	473,8774		-0,2774			

Завдання 2. Виконати обчислення з урахуванням формул (2.10 – 2.21) лінійні та кутові параметри планового зміщення точки на зсувному схилі за одинадцять циклів спостережень (період циклу шість місяців). Результати обчислень занести до таблиці 2.4. Відповідно до них побудувати графічні зображення планових зміщень точки. Вихідні дані взяти з додатку 5, висоти взяти з додатку 4 відповідно до варіанту.

Табл. 2.4.

Розрахунок відносних планових змішень зсувної точки (приклад для нульового варіанту)

Номер циклу	X, м	Y, м	ΔX_i , мм	ΔY_i , мм	ΔS_i , мм	H , м	ΔH_i , мм	ΔL_i , мм	$\vartheta(\Delta S_i)$, мм/Δt	$w(\Delta S_i)$, мм/Δt	$\alpha_{i,k}$, град	$\varphi_{i,k}$, град
Початковий 0	451,320	610,590				39,5129						
1	451,311	610,588	-0,009	-0,002	0,00922	39,5074	-0,0055	0,01074	0,00922	0,00922	192,5	-30,8
2	451,307	610,587	-0,004	-0,001	0,00412	39,5072	-0,0002	0,00413	0,00206	0,00103	194,0	-2,8
3	451,305	610,585	-0,002	-0,002	0,00283	39,5027	-0,0045	0,00532	0,00094	0,00031	225,0	-57,8
4	451,303	610,584	-0,002	-0,001	0,00224	39,4949	-0,0078	0,00811	0,00056	0,00014	206,6	-74,0
5	451,302	610,582	-0,001	-0,002	0,00224	39,4914	-0,0035	0,00415	0,00045	8,9E-05	243,4	-57,4
6	451,300	610,580	-0,002	-0,002	0,00283	39,4887	-0,0027	0,00391	0,00047	7,9E-05	225,0	-43,7
7	451,299	610,578	-0,001	-0,002	0,00224	39,4807	-0,008	0,00831	0,00032	4,6E-05	243,4	-74,4
8	451,328	610,591	0,029	0,013	0,03178	39,4736	-0,0071	0,03256	0,00397	0,0005	24,1	-12,6
9	451,324	610,593	-0,004	0,002	0,00447	39,4733	-0,0003	0,00448	0,0005	5,5E-05	153,4	-3,8
10	451,316	610,589	-0,008	-0,004	0,00894	39,4732	-0,0001	0,00894	0,00089	8,9E-05	206,6	-0,6
11	451,310	610,594	-0,006	0,005	0,00781	39,4714	-0,0018	0,00801	0,00071	6,5E-05	140,2	-13,0

III. Проект будівельної сітки

Практична робота 6. Проект будівельної сітки. Обчислення ваг пунктів будівельної сітки

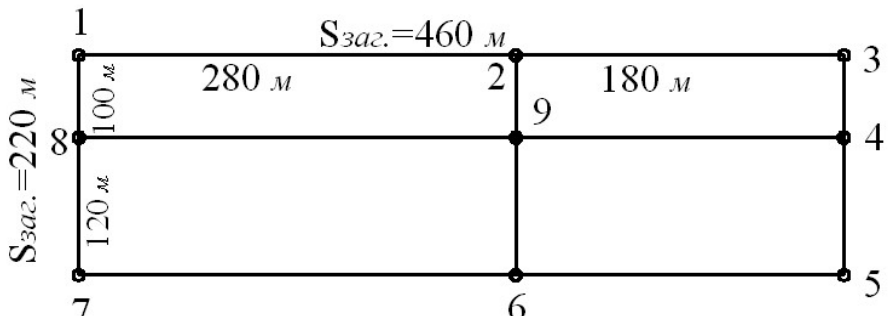
Мета даної практичної роботи – навчити студента самостійно розробляти та розраховувати проект будівельної сітки на основі сучасних наукових розробок та електронних приладів. В цій практичній роботі подано приклад конкретної розробки та необхідні розрахунки.

Виконати завдання як наведено в прикладі розв’язання нульового варіанту, зробити висновки.

Варіант розрахункової роботи студент обирає по номеру списку в журналі, або викладач видає особисто. Вихідні дані необхідно поррахувати за даними таблиці 3.1.

Табл. 3.1.

Вихідні дані

№ п/п	Назва окремих завдань	Указівки та значення величин завдань
1	Вихідні координати точки I : $x = 2698,558$; $y = 3442,490$	Для всіх студентів
2	Дирекційний кут вихідного напрямку $\alpha = 15^{\circ}09'59'' + \Delta\alpha'$	$\Delta\alpha' = N$ N -номер варіанту студента
3	Координати точок 3, 5, 7, 2, 4, 6, 8, та 9	Визначаються самостійно
4	Загальні лінійні розміри будівельної сітки (рис. 3.1)	Для всіх студентів індивідуально (додаток 6)
5	 <p>Рис. 3.1. Лінійні розміри будівельної сітки для нульового варіанту</p>	Для всіх студентів індивідуально (додаток 6)
6	Визначення мінімальної ваги пунктів будівельної сітки	Розраховується студентом
7	Стандартне відхилення кінцевого пункту відносно початкового	$\sigma_c =$ мм
8	Точність наведення приладу на марку	$x =$ мм
9	Середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом для даного приладу	$m =$
10	Відхилення виміряних кутів β від проектних	$\Delta\beta_{осн} =$ $\Delta\beta_{діаг} =$

Короткі теоретичні відомості

Призначення будівельної сітки та види робіт при її побудові

Для розпланування в натурі складних промислових або комплексу житлових споруд застосовують будівельну сітку, тобто систему суміжних квадратів або прямокутників, вершини яких є опорними геодезичними пунктами як у геодезичній, так і у будівельній (умовній) системі координат.

Використовуючи пункти та сторони будівельної сітки, виносять в натуру основні осі будівель або споруд. Для побудови будівельної сітки на місцевості виконують наступні роботи:

Проектування;

- 1) геодезична підготовка будівельної сітки (попередній розрахунок координат);
- 2) попереднє розпланування сітки на місцевості;
- 3) точні лінійні та кутові вимірювання;
- 4) редукування з метою досягнення проектних довжин сторін та величин кутів;
- 5) контрольні вимірювання по тимчасових контурних та центрального пунктів будівельної сітки;
- 6) установка постійних бетонних пунктів та намітка центрів;
- 7) точні кінцеві лінійні та кутові вимірювання по постійних пунктах будівельної сітки;
- 8) нівелювання III класу пунктів;
- 9) окопування та установка охоронних пірамід з металевої арматури або кутової сталі (рис. 3.2);
- 10) пофарбування пірамід в оранжевий колір;
- 11) здача замовнику по акту усіх пунктів та пірамід будівельної сітки.

Будівельна сітка проектується на будівельному генплані. Лінії будівельної сітки проектують паралельно головним осям будинків та споруд і по можливості ближче до них.

Пункти розташовують таким чином, щоб між ними була пряма видимість. Пластина верхньої частини пункту повинна бути трохи сферичною і привареною до металевої труби (рис. 3.3). Бажано, щоб віддалі між пунктами були кратними 10 або 5 метрам.

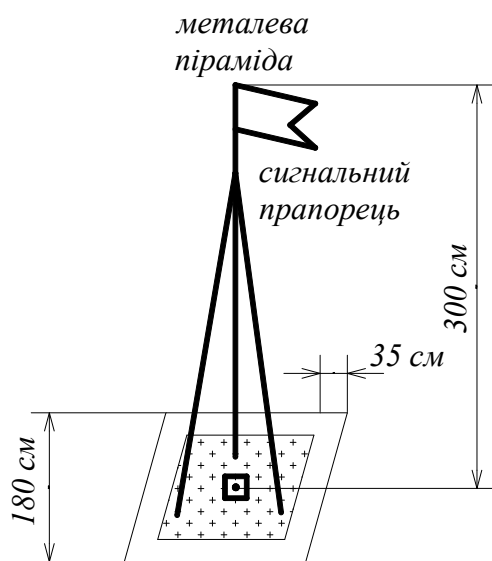


Рис. 3.2. Окопування піраміди та пункту

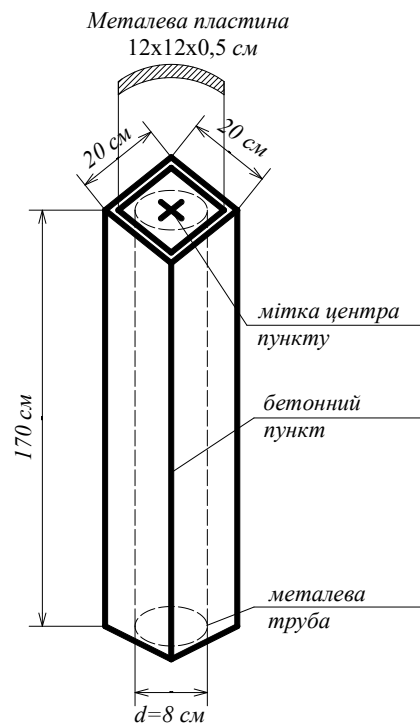


Рис. 3.3. Конструкція пункту будівельної сітки

Завдання 1. Виконати геодезичну підготовку проекту будівельної сітки. Кожен студент за своїми вихідними даними креслить схему розмітки будівельної сітки, виконує розрахунки так як наведено в нульовому варіанті.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Перед проектуванням будівельної сітки спочатку проектується споруди на даному будівельному майданчику. Проектування ведеться в більшості випадків на топографічному плані М 1:500.

Одна із сторін будівельної сітки проектується паралельно поздовжнім осям найбільшої споруди або декількох споруд. Визначають координати вихідної точки 1 (графічним методом) будівельної сітки (рис. 3.4), або використовують координати твердої закріпленої точки теодолітних ходів. Бажано, щоб вихідна точка співпадала з твердою точкою, закріпленою на місцевості у вигляді металевого штиря або труби на бетоні глибиною до 1 м. Потім визначають наближені координати точки 3 (графічним методом). На території зйомки закладаються декілька твердих точок.

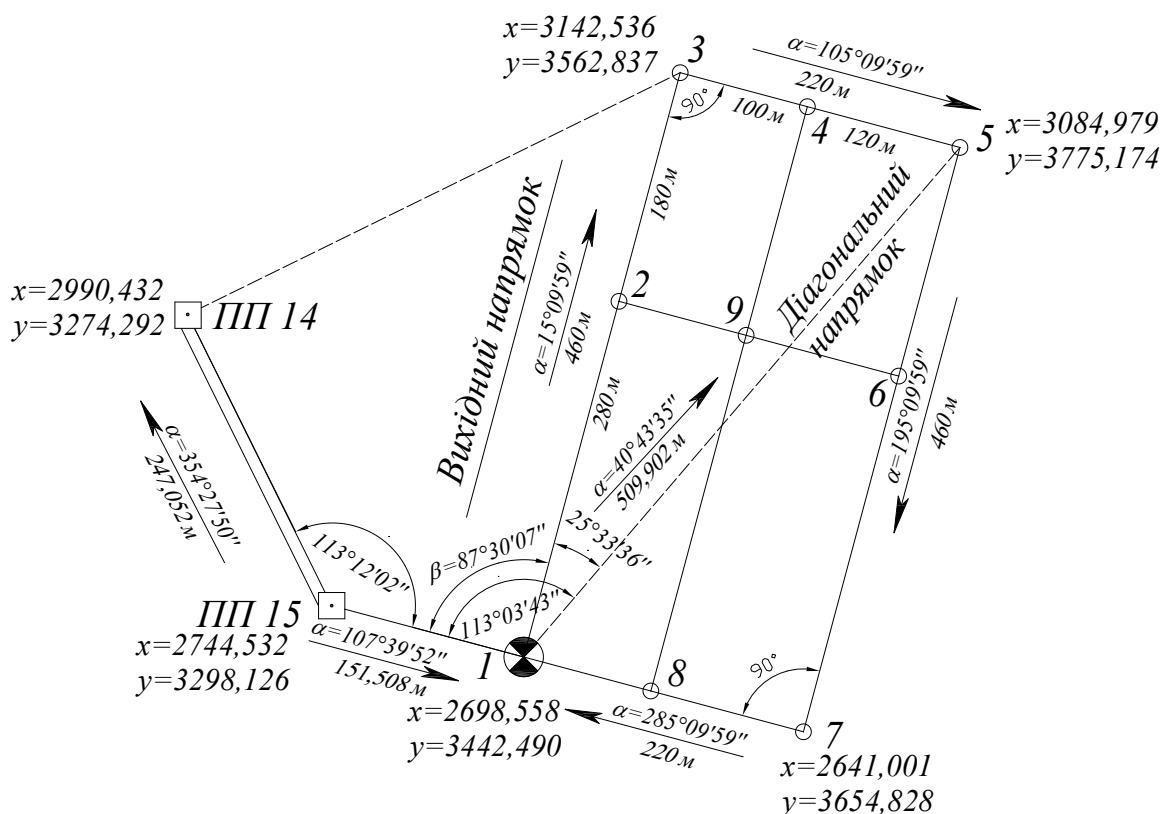


Рис. 3.4. Додаткові побудови і визначення координат будівельної сітки

Ці координати будуть дещо відрізнятись від проектних, так як вони отримані графічним способом і віддаль знайдена між точками 1 – 3 не буде точно відповідати проектній віддалі в 460,000м (рис. 3.1). Якщо ця віддаль відрізняється від проектної на величину не більше 25 см, то зберігаючи дирекційний кут з розв'язання оберненої геодезичної задачі ($\alpha = 15^{\circ}09'59''$), за точними та наближеними координатами між точками 1 – 3 та відомою проектною віддаллю 460 м обчислюють кінцеві точні координати точки 3.

Для контролю розв'язують обернену геодезичну задачу за точними координатами точок 3 і 1.

Далі визначення виконують в наступні послідовності:

1. Обчислення румба та дирекційного кута за формулою

$$r = \text{ПнСх: } \text{Arctg} \frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3}, \quad (3.1)$$

або

$$r = \text{ПнСх: Arctg} \frac{3442,490 - 3562,837}{2698,558 - 3142,536} = \text{ПнСх: Arctg}(= 2,7106523) = \\ = \text{ПнСх: } 15,166446^\circ = \text{ПнСх: } 15^\circ 09' 59''$$

$$\alpha = 180^\circ + r = 180^\circ + 15^\circ 09' 59'' = 195^\circ 09' 59''$$

2. Обчислення віддалі за формулами:

$$\begin{cases} S = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}, \\ S = \frac{\Delta y}{\sin \alpha}. \end{cases} \quad (3.2)$$

Звичайно, при уточненні координат точки 3 потрібно слідкувати, щоб напрямок 1 – 3 залишався паралельним поздовжнім осям основних споруд майданчика.

Координати точок 5 та 7 обчислюють при умові, що кути поворотів повинні дорівнювати 270° або 90° , а довжини сторін дорівнювати проектним. Нев'язка в такому полігоні повинна дорівнювати нулю, або розходження не повинно перевищувати 2мм. Також обчислюють координати і решти пунктів 2, 4, 6, 8, 9. Такі обчислення обов'язково потрібно виконати та перевірити узгодження з проектними будівлями.

Для даної будівельної сітки розв'язують ще обернену геодезичну задачу по діагональному напрямку між точками 1 – 5, а потім для контролю обчислюють прирости координат цього напрямку і від координат вихідної точки 1 знаходять координати точки 5.

Завдання 2. Виконати обчислення ваг пунктів будівельної сітки згідно своїх вихідних даних, заповнити таблицю так як наведено в нульовому варіанті. Обґрунтувати кількість наближень, зробити висновок.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Для обчислення ваг пунктів вибирається значення довжини сторони сітки, дещо наближене до значення середньої довжини сторони $S_o = 200\text{м}$ – рис. 3.1 і знаходження виконується за методом наближень. Потім знаходять коефіцієнти K_i з відношення ($S_i : S_o$), за якими обчислюються обернені ваги $\frac{1}{P'_i}$ для напрямків «Пункт визначення – Вихідний пункт». Величини обернених ваг знаходяться за формулою

$$\frac{1}{P'_i} = K_i(1 + K_i), \quad (3.3)$$

де індекс i – номер напрямку.

$$\text{Наприклад: } \frac{1}{P'_{9-2}} = 0,5(1 + 0,5) = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75; \quad \frac{1}{P'_{9-8}} = 1,4(1 + 1,4) = 1,4 \cdot 2,4 = 3,36. \quad -$$

табл. 3.2.

Потім обчислюються ваги даного пункту визначення по усіх напрямках як обернені величини попереднім значенням, а за їх сумою знаходиться вага пункту визначення нульового наближення. Наприклад, для пункту 9 вага $P_9^0 = 1,33 + 0,58 + 1,04 + 0,30 = 3,25$. Обернена вага складатиме $\frac{1}{P_9^0} = 1 : 3,25 = 0,31$. Аналогічним шляхом знаходяться ваги та їх обернені величини решти пунктів – табл. 3.2. До таблиці 3.3. зведемо кінцеві обчислення вагових коефіцієнтів.

Таблиця обчислення ваг
Перше наближення обчислення ваг –

<u>Пункт 9</u>	$\frac{1}{P_{9-2}^1} = \frac{1}{P'_{9-2}} + \frac{1}{P_2^0} = 0,75 + 0,45 = 1,20$	<u>Пункт 4</u>	$\frac{1}{P_{4-9}^1} = \frac{1}{P'_{4-9}} + \frac{1}{P_9} = 1,71 + 0,44 = 2,15$
	$\frac{1}{P_{9-4}^1} = \frac{1}{P'_{9-4}} + \frac{1}{P_4^0} = 1,71 + 0,34 = 2,05$		$\frac{1}{P_{4-3}^1} = \frac{1}{P'_{4-3}} + \frac{1}{P_3^0} = 0,75 + 0,52 = 1,27$
	$\frac{1}{P_{9-6}^1} = \frac{1}{P'_{9-6}} + \frac{1}{P_6^0} = 0,96 + 0,52 = 1,48$		$\frac{1}{P_{4-5}^1} = \frac{1}{P'_{4-5}} + \frac{1}{P_5^0} = 0,96 + 0,62 = 1,58$
	$\frac{1}{P_{9-8}^1} = \frac{1}{P'_{9-8}} + \frac{1}{P_8^0} = 3,36 + 0,37 = 3,73$		
<u>Пункт 2</u>	$\frac{1}{P_{2-9}^1} = \frac{1}{P'_{2-9}} + \frac{1}{P_9} = 0,75 + 0,44 = 1,19$	<u>Пункт 6</u>	$\frac{1}{P_{6-9}^1} = \frac{1}{P'_{6-9}} + \frac{1}{P_9} = 0,96 + 0,44 = 1,40$
	$\frac{1}{P_{2-1}^1} = \frac{1}{P'_{2-1}} + \frac{1}{P_1^0} = 3,36 + 0,61 = 3,97$		$\frac{1}{P_{6-5}^1} = \frac{1}{P'_{6-5}} + \frac{1}{P_5^0} = 1,71 + 0,62 = 2,33$
	$\frac{1}{P_{2-3}^1} = \frac{1}{P'_{2-3}} + \frac{1}{P_3^0} = 1,71 + 0,52 = 2,23$		$\frac{1}{P_{6-7}^1} = \frac{1}{P'_{6-7}} + \frac{1}{P_7^0} = 3,36 + 0,75 = 4,11$
<u>Пункт 8</u>	$\frac{1}{P_{8-9}^1} = \frac{1}{P'_{8-9}} + \frac{1}{P_9} = 3,36 + 0,44 = 3,80$	<u>Пункт 3</u>	$\frac{1}{P_{3-2}^1} = \frac{1}{P'_{3-2}} + \frac{1}{P_2} = 1,71 + 0,65 = 2,36$
	$\frac{1}{P_{8-7}^1} = \frac{1}{P'_{8-7}} + \frac{1}{P_7^0} = 0,96 + 0,75 = 1,71$		$\frac{1}{P_{3-4}^1} = \frac{1}{P'_{3-4}} + \frac{1}{P_4} = 0,75 + 0,53 = 1,28$
	$\frac{1}{P_{8-1}^1} = \frac{1}{P'_{8-1}} + \frac{1}{P_1^0} = 0,75 + 0,61 = 1,36$	<u>Пункт 5</u>	$\frac{1}{P_{5-4}^1} = \frac{1}{P'_{5-4}} + \frac{1}{P_4} = 0,96 + 0,53 = 1,49$
<u>Пункт 1</u>	$\frac{1}{P_{1-2}^1} = \frac{1}{P'_{1-2}} + \frac{1}{P_2} = 3,36 + 0,65 = 4,01$		$\frac{1}{P_{5-6}^1} = \frac{1}{P'_{5-6}} + \frac{1}{P_6} = 1,71 + 0,72 = 2,43$
	$\frac{1}{P_{1-8}^1} = \frac{1}{P'_{1-8}} + \frac{1}{P_8} = 0,75 + 0,63 = 1,38$	<u>Пункт 7</u>	$\frac{1}{P_{7-6}^1} = \frac{1}{P'_{7-6}} + \frac{1}{P_6} = 3,36 + 0,72 = 4,08$
			$\frac{1}{P_{7-8}^1} = \frac{1}{P'_{7-8}} + \frac{1}{P_8} = 0,96 + 0,63 = 1,59$

Друге наближення обчислення ваг –

<u>Пункт 9</u>	$\frac{1}{P_{9-2}^2} = \frac{1}{P'_{9-2}} + \frac{1}{P_2^1} = 0,75 + 0,65 = 1,40$	<u>Пункт 4</u>	$\frac{1}{P_{4-9}^2} = \frac{1}{P'_{4-9}} + \frac{1}{P_9^2} = 1,71 + 0,50 = 2,21$
	$\frac{1}{P_{9-4}^2} = \frac{1}{P'_{9-4}} + \frac{1}{P_4^1} = 1,71 + 0,53 = 2,24$		$\frac{1}{P_{4-3}^2} = \frac{1}{P'_{4-3}} + \frac{1}{P_3^1} = 0,75 + 0,83 = 1,58$
	$\frac{1}{P_{9-6}^2} = \frac{1}{P'_{9-6}} + \frac{1}{P_6^1} = 0,96 + 0,72 = 1,68$		$\frac{1}{P_{4-5}^2} = \frac{1}{P'_{4-5}} + \frac{1}{P_5^1} = 0,96 + 0,93 = 1,89$
	$\frac{1}{P_{9-8}^2} = \frac{1}{P'_{9-8}} + \frac{1}{P_8^1} = 3,36 + 0,63 = 3,99$	<u>Пункт 6</u>	$\frac{1}{P_{6-9}^2} = \frac{1}{P'_{6-9}} + \frac{1}{P_9^2} = 0,96 + 0,50 = 1,46$
<u>Пункт 2</u>	$\frac{1}{P_{2-9}^2} = \frac{1}{P'_{2-9}} + \frac{1}{P_9^2} = 0,75 + 0,50 = 1,25$		$\frac{1}{P_{6-5}^2} = \frac{1}{P'_{6-5}} + \frac{1}{P_5^1} = 1,71 + 0,93 = 2,64$

$$\frac{1}{P_{2-1}^2} = \frac{1}{P'_{2-1}} + \frac{1}{P_1^1} = 3,36 + 1,03 = 4,39$$

$$\frac{1}{P_{2-3}^2} = \frac{1}{P'_{2-3}} + \frac{1}{P_3^1} = 1,71 + 0,83 = 2,54$$

Пункт 8 $\frac{1}{P_{8-9}^2} = \frac{1}{P'_{8-9}} + \frac{1}{P_9^2} = 3,36 + 0,50 = 3,86$

$$\frac{1}{P_{8-7}^2} = \frac{1}{P'_{8-7}} + \frac{1}{P_7^1} = 0,96 + 1,14 = 2,10$$

$$\frac{1}{P_{8-1}^2} = \frac{1}{P'_{8-1}} + \frac{1}{P_1^1} = 0,75 + 1,03 = 1,78$$

Пункт 1 $\frac{1}{P_{1-2}^2} = \frac{1}{P'_{1-2}} + \frac{1}{P_2^2} = 3,36 + 0,70 = 4,06$

$$\frac{1}{P_{1-8}^2} = \frac{1}{P'_{1-8}} + \frac{1}{P_8^2} = 0,75 + 0,77 = 1,52$$

Третье приближения обчислення ваг –

Пункт 9 $\frac{1}{P_{9-2}^3} = \frac{1}{P'_{9-2}} + \frac{1}{P_2^2} = 0,75 + 0,70 = 1,45$

$$\frac{1}{P_{9-4}^3} = \frac{1}{P'_{9-4}} + \frac{1}{P_4^2} = 1,71 + 0,62 = 2,33$$

$$\frac{1}{P_{9-6}^3} = \frac{1}{P'_{9-6}} + \frac{1}{P_6^2} = 0,96 + 0,78 = 1,74$$

$$\frac{1}{P_{9-8}^3} = \frac{1}{P'_{9-8}} + \frac{1}{P_8^2} = 3,36 + 0,77 = 4,13$$

Пункт 2 $\frac{1}{P_{2-9}^3} = \frac{1}{P'_{2-9}} + \frac{1}{P_9^3} = 0,75 + 0,52 = 1,27$

$$\frac{1}{P_{2-1}^3} = \frac{1}{P'_{2-1}} + \frac{1}{P_1^2} = 3,36 + 1,10 = 4,46$$

$$\frac{1}{P_{2-3}^3} = \frac{1}{P'_{2-3}} + \frac{1}{P_3^2} = 1,71 + 0,88 = 2,59$$

Пункт 8 $\frac{1}{P_{8-9}^3} = \frac{1}{P'_{8-9}} + \frac{1}{P_9^3} = 3,36 + 0,52 = 3,88$

$$\frac{1}{P_{8-7}^3} = \frac{1}{P'_{8-7}} + \frac{1}{P_7^2} = 0,96 + 1,22 = 2,18$$

$$\frac{1}{P_{8-1}^3} = \frac{1}{P'_{8-1}} + \frac{1}{P_1^2} = 0,75 + 1,10 = 1,85$$

Пункт 1 $\frac{1}{P_{1-2}^3} = \frac{1}{P'_{1-2}} + \frac{1}{P_2^3} = 3,36 + 0,71 = 4,07$

$$\frac{1}{P_{1-8}^3} = \frac{1}{P'_{1-8}} + \frac{1}{P_8^3} = 0,75 + 0,79 = 1,54$$

Четверте приближения обчислення ваг –

$$\frac{1}{P_{6-7}^2} = \frac{1}{P'_{6-7}} + \frac{1}{P_7^1} = 3,36 + 1,14 = 4,50$$

Пункт 3 $\frac{1}{P_{3-2}^2} = \frac{1}{P'_{3-2}} + \frac{1}{P_2^2} = 1,71 + 0,70 = 2,41$

$$\frac{1}{P_{3-4}^2} = \frac{1}{P'_{3-4}} + \frac{1}{P_4^2} = 0,75 + 0,62 = 1,37$$

Пункт 5 $\frac{1}{P_{5-4}^2} = \frac{1}{P'_{5-4}} + \frac{1}{P_4^2} = 0,96 + 0,62 = 1,58$

$$\frac{1}{P_{5-6}^2} = \frac{1}{P'_{5-6}} + \frac{1}{P_6^2} = 1,71 + 0,78 = 2,49$$

Пункт 7 $\frac{1}{P_{7-6}^2} = \frac{1}{P'_{7-6}} + \frac{1}{P_6^2} = 3,36 + 0,78 = 4,14$

$$\frac{1}{P_{7-8}^2} = \frac{1}{P'_{7-8}} + \frac{1}{P_8^2} = 0,96 + 0,77 = 1,73$$

Пункт 4 $\frac{1}{P_{4-9}^3} = \frac{1}{P'_{4-9}} + \frac{1}{P_9^3} = 1,71 + 0,52 = 2,23$

$$\frac{1}{P_{4-3}^3} = \frac{1}{P'_{4-3}} + \frac{1}{P_3^2} = 0,75 + 0,88 = 1,63$$

$$\frac{1}{P_{4-5}^3} = \frac{1}{P'_{4-5}} + \frac{1}{P_5^2} = 0,96 + 0,97 = 1,93$$

Пункт 6 $\frac{1}{P_{6-9}^3} = \frac{1}{P'_{6-9}} + \frac{1}{P_9^3} = 0,96 + 0,52 = 1,48$

$$\frac{1}{P_{6-5}^3} = \frac{1}{P'_{6-5}} + \frac{1}{P_5^2} = 1,71 + 0,97 = 2,68$$

$$\frac{1}{P_{6-7}^3} = \frac{1}{P'_{6-7}} + \frac{1}{P_7^2} = 3,36 + 1,22 = 4,58$$

Пункт 3 $\frac{1}{P_{3-2}^3} = \frac{1}{P'_{3-2}} + \frac{1}{P_2^3} = 1,71 + 0,71 = 2,42$

$$\frac{1}{P_{3-4}^3} = \frac{1}{P'_{3-4}} + \frac{1}{P_4^3} = 0,75 + 0,63 = 1,38$$

Пункт 5 $\frac{1}{P_{5-4}^3} = \frac{1}{P'_{5-4}} + \frac{1}{P_4^3} = 0,96 + 0,63 = 1,59$

$$\frac{1}{P_{5-6}^3} = \frac{1}{P'_{5-6}} + \frac{1}{P_6^3} = 1,71 + 0,79 = 2,50$$

Пункт 7 $\frac{1}{P_{7-6}^3} = \frac{1}{P'_{7-6}} + \frac{1}{P_6^3} = 3,36 + 0,79 = 4,15$

$$\frac{1}{P_{7-8}^3} = \frac{1}{P'_{7-8}} + \frac{1}{P_8^3} = 0,96 + 0,79 = 1,75$$

$$\text{Пункт 9} \quad \frac{1}{P_{9-2}^4} = \frac{1}{P'_{9-2}} + \frac{1}{P_2^3} = 0,75 + 0,71 = 1,46$$

$$\frac{1}{P_{9-4}^4} = \frac{1}{P'_{9-4}} + \frac{1}{P_4^3} = 1,71 + 0,63 = 2,34$$

$$\frac{1}{P_{9-6}^4} = \frac{1}{P'_{9-6}} + \frac{1}{P_6^3} = 0,96 + 0,79 = 1,75$$

$$\frac{1}{P_{9-8}^4} = \frac{1}{P'_{9-8}} + \frac{1}{P_8^3} = 3,36 + 0,79 = 4,15$$

$$\text{Пункт 2} \quad \frac{1}{P_{2-9}^4} = \frac{1}{P'_{2-9}} + \frac{1}{P_9^4} = 0,75 + 0,52 = 1,27$$

$$\frac{1}{P_{2-1}^4} = \frac{1}{P'_{2-1}} + \frac{1}{P_1^3} = 3,36 + 1,11 = 4,47$$

$$\frac{1}{P_{2-3}^4} = \frac{1}{P'_{2-3}} + \frac{1}{P_3^3} = 1,71 + 0,88 = 2,59$$

$$\text{Пункт 8} \quad \frac{1}{P_{8-9}^4} = \frac{1}{P'_{8-9}} + \frac{1}{P_9^4} = 3,36 + 0,52 = 3,88$$

$$\frac{1}{P_{8-7}^4} = \frac{1}{P'_{8-7}} + \frac{1}{P_7^3} = 0,96 + 1,23 = 2,19$$

$$\frac{1}{P_{8-1}^4} = \frac{1}{P'_{8-1}} + \frac{1}{P_1^3} = 0,75 + 1,11 = 1,86$$

$$\text{Пункт 1} \quad \frac{1}{P_{1-2}^4} = \frac{1}{P'_{1-2}} + \frac{1}{P_2^4} = 3,36 + 0,71 = 4,07$$

$$\frac{1}{P_{1-8}^4} = \frac{1}{P'_{1-8}} + \frac{1}{P_8^4} = 0,75 + 0,79 = 1,54$$

$$\text{Пункт 4} \quad \frac{1}{P_{4-9}^4} = \frac{1}{P'_{4-9}} + \frac{1}{P_9^4} = 1,71 + 0,52 = 2,23$$

$$\frac{1}{P_{4-3}^4} = \frac{1}{P'_{4-3}} + \frac{1}{P_3^3} = 0,75 + 0,88 = 1,63$$

$$\frac{1}{P_{4-5}^4} = \frac{1}{P'_{4-5}} + \frac{1}{P_5^3} = 0,96 + 0,97 = 1,93$$

$$\text{Пункт 6} \quad \frac{1}{P_{6-9}^4} = \frac{1}{P'_{6-9}} + \frac{1}{P_9^4} = 0,96 + 0,52 = 1,48$$

$$\frac{1}{P_{6-5}^4} = \frac{1}{P'_{6-5}} + \frac{1}{P_5^3} = 1,71 + 0,97 = 2,68$$

$$\frac{1}{P_{6-7}^4} = \frac{1}{P'_{6-7}} + \frac{1}{P_7^3} = 3,36 + 1,23 = 4,59$$

$$\text{Пункт 3} \quad \frac{1}{P_{3-2}^4} = \frac{1}{P'_{3-2}} + \frac{1}{P_2^4} = 1,71 + 0,71 = 2,42$$

$$\frac{1}{P_{3-4}^4} = \frac{1}{P'_{3-4}} + \frac{1}{P_4^4} = 0,75 + 0,63 = 1,38$$

$$\text{Пункт 5} \quad \frac{1}{P_{5-4}^4} = \frac{1}{P'_{5-4}} + \frac{1}{P_4^4} = 0,96 + 0,63 = 1,59$$

$$\frac{1}{P_{5-6}^4} = \frac{1}{P'_{5-6}} + \frac{1}{P_6^4} = 1,71 + 0,79 = 2,50$$

$$\text{Пункт 7} \quad \frac{1}{P_{7-6}^4} = \frac{1}{P'_{7-6}} + \frac{1}{P_6^4} = 3,36 + 0,79 = 4,15$$

$$\frac{1}{P_{7-8}^4} = \frac{1}{P'_{7-8}} + \frac{1}{P_8^4} = 0,96 + 0,79 = 1,75$$

Як видно з табл. 3.3 величини ваг пунктів в третьому та четвертому наближеннях збігаються, лише на дев'ятому пункті різниця дорівнює 0,01, але така величина різниці збігу цілком допускається. Таким чином, наближення потрібно закінчити і вважати, що ваги пунктів сітки знайдені. Але потрібна тільки мінімальна вага, яка буде використовуватись для майбутніх розрахунків. Потрібно зауважити, що немає значення від вибору порядку пунктів у табл. 3.2. За перший пункт можна вибрати будь-який. Відповідь буде однаковою.

Визначити ваги пунктів згідно своїх вихідних даних, заповнити таблицю так як наведено в нульовому варіанті.

Табл. 3.3

Зведена відомість обчислення вагових коефіцієнтів

Пункти визначення	Вихідні дані	S, м	S ₀ =200 K=S/S ₀	1/P' _i	P ⁰ _i	Наближення								Ваги P _i	
						1		2		3		4			
						1/P	P ¹	1/P	P ²	1/P	P ³	1/P	P ⁴		
9	2	100	0,5	0,75	1,33	1,20	0,83	1,40	0,71	1,45	0,69	1,46	0,68	1,92	
	4	180	0,9	1,71	0,58	2,05	0,49	2,24	0,45	2,33	0,43	2,34	0,43		
	6	120	0,6	0,96	1,04	1,48	0,68	1,68	0,60	1,74	0,57	1,75	0,57		
	8	280	1,4	3,36	0,30	3,73	0,27	3,99	0,25	4,13	0,24	4,15	0,24		
					P ⁰ ₉	3,25	P ¹ ₉	2,27	P ² ₉	2,01	P ³ ₉	1,93	P ⁴ ₉		1,92
				1/P ⁰ ₉	0,31	1/P ¹ ₉	0,44	1/P ² ₉	0,50	1/P ³ ₉	0,52	1/P ⁴ ₉	0,52		
2	9	100	0,5	0,75	1,33	1,19	0,84	1,25	0,80	1,27	0,79	1,27	0,79	1,40	
	1	280	1,4	3,36	0,30	3,97	0,25	4,39	0,23	4,46	0,22	4,47	0,22		
	3	180	0,9	1,71	0,58	2,23	0,45	2,54	0,39	2,59	0,39	2,59	0,39		
					P ⁰ ₂	2,21	P ¹ ₂	1,54	P ² ₂	1,42	P ³ ₂	1,40	P ⁴ ₂		1,40
					1/P ⁰ ₂	0,45	1/P ¹ ₂	0,65	1/P ² ₂	0,70	1/P ³ ₂	0,71	1/P ⁴ ₂		0,71
4	9	180	0,9	1,71	0,58	2,15	0,47	2,21	0,45	2,23	0,45	2,23	0,45	1,58	
	3	100	0,5	0,75	1,33	1,27	0,79	1,58	0,63	1,63	0,61	1,63	0,61		
	5	120	0,6	0,96	1,04	1,58	0,63	1,89	0,53	1,93	0,52	1,93	0,52		
					P ⁰ ₄	2,95	P ¹ ₄	1,89	P ² ₄	1,61	P ³ ₄	1,58	P ⁴ ₄		1,58
					1/P ⁰ ₄	0,34	1/P ¹ ₄	0,53	1/P ² ₄	0,62	1/P ³ ₄	0,63	1/P ⁴ ₄		0,63
6	9	120	0,6	0,96	1,04	1,40	0,71	1,46	0,68	1,48	0,68	1,48	0,68	1,27	
	5	180	0,9	1,71	0,58	2,33	0,43	2,64	0,38	2,68	0,37	2,68	0,37		
	7	280	1,4	3,36	0,30	4,11	0,24	4,50	0,22	4,58	0,22	4,59	0,22		
					P ⁰ ₆	1,92	P ¹ ₆	1,38	P ² ₆	1,28	P ³ ₆	1,27	P ⁴ ₆		1,27
					1/P ⁰ ₆	0,52	1/P ¹ ₆	0,72	1/P ² ₆	0,78	1/P ³ ₆	0,79	1/P ⁴ ₆		0,79
8	9	280	1,4	3,36	0,30	3,80	0,26	3,86	0,26	3,88	0,26	3,88	0,26	1,26	
	7	120	0,6	0,96	1,04	1,71	0,58	2,10	0,48	2,18	0,46	2,19	0,46		
	1	100	0,5	0,75	1,33	1,36	0,74	1,78	0,56	1,85	0,54	1,86	0,54		
					P ⁰ ₈	2,67	P ¹ ₈	1,58	P ² ₈	1,30	P ³ ₈	1,26	P ⁴ ₈		1,26
					1/P ⁰ ₈	0,37	1/P ¹ ₈	0,63	1/P ² ₈	0,77	1/P ³ ₈	0,79	1/P ⁴ ₈		0,79
1	2	280	1,4	3,36	0,30	4,01	0,25	4,06	0,25	4,07	0,25	4,07	0,25	0,90	
	8	100	0,5	0,75	1,33	1,38	0,72	1,52	0,66	1,54	0,65	1,54	0,65		
					P ⁰ ₁	1,63	P ¹ ₁	0,97	P ² ₁	0,91	P ³ ₁	0,90	P ⁴ ₁		0,90
					1/P ⁰ ₁	0,61	1/P ¹ ₁	1,03	1/P ² ₁	1,10	1/P ³ ₁	1,11	1/P ⁴ ₁		1,11
3	2	180	0,9	1,71	0,58	2,36	0,42	2,41	0,41	2,42	0,41	2,42	0,41	1,13	
	4	100	0,5	0,75	1,33	1,28	0,78	1,37	0,73	1,38	0,72	1,38	0,72		
					P ⁰ ₃	1,91	P ¹ ₃	1,20	P ² ₃	1,14	P ³ ₃	1,13	P ⁴ ₃		1,13
					1/P ⁰ ₃	0,52	1/P ¹ ₃	0,83	1/P ² ₃	0,88	1/P ³ ₃	0,88	1/P ⁴ ₃		0,88
5	4	120	0,6	0,96	1,04	1,49	0,67	1,58	0,63	1,59	0,63	1,59	0,63	1,03	
	6	180	0,9	1,71	0,58	2,43	0,41	2,49	0,40	2,50	0,40	2,50	0,40		
					P ⁰ ₅	1,62	P ¹ ₅	1,08	P ² ₅	1,03	P ³ ₅	1,03	P ⁴ ₅		1,03
					1/P ⁰ ₅	0,62	1/P ¹ ₅	0,93	1/P ² ₅	0,97	1/P ³ ₅	0,97	1/P ⁴ ₅		0,97
7	6	280	1,4	3,36	0,30	4,08	0,25	4,14	0,24	4,15	0,24	4,15	0,24	0,81	
	8	120	0,6	0,96	1,04	1,59	0,63	1,73	0,58	1,75	0,57	1,75	0,57		
					P ⁰ ₇	1,34	P ¹ ₇	0,88	P ² ₇	0,82	P ³ ₇	0,81	P ⁴ ₇		0,81
					1/P ⁰ ₇	0,75	1/P ¹ ₇	1,14	1/P ² ₇	1,22	1/P ³ ₇	1,23	1/P ⁴ ₇		1,23

Практична робота 7. Визначення класу або розряду для побудови будівельної сітки

Завдання 1. Виконати розрахунок точності лінійних та кутових вимірювань, визначити розряд або клас полігонометрії для побудови будівельної сітки згідно свого варіанту. Використовуючи свої вихідні дані розрахунки оформити так як наведено в нульовому варіанті. Зробити висновок. Необхідні вихідні дані взяти з практичної роботи 6.

Короткі теоретичні відомості.

Розрахунок точності лінійних та кутових вимірювань виконується за формулами:

$$\left. \begin{aligned} m_{l_o} &\leq \sigma_c \cdot \sqrt{0,81 \cdot \bar{p} \cdot P_{\min}} \\ m_{\beta} &\leq \frac{\sigma_c \cdot p''}{l_o} \cdot \sqrt{0,38 \cdot \bar{p} \cdot P_{\min}} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

де σ_c – стандартне відхилення, яким задаються наперед $\sigma_c = 5\text{мм}$;

P_{\min} – мінімальна вага пунктів будівельної сітки, яку беруть з попередніх розрахунків;

\bar{p} – середня вага пунктів будівельної сітки, яка визначається за формулою:

$$\bar{p} = \frac{l_o}{\bar{l}}, \quad (3.5)$$

де \bar{l} – середня довжина сторони будівельної сітки, яка в свою чергу обчислюється за формулою:

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}, \quad (3.6)$$

де l_i – довжини i -тих сторін будівельної сітки;

n – загальна кількість сторін будівельної сітки.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Розглянемо приклад розрахунку точностей.

Дано: $\sigma_c = 5\text{мм}$, $P_{\min} = 0,81$, $l_o = 200\text{м}$, $\sum_{i=1}^n l_i = 2040\text{м}$, $n = 12$. Потрібно визначити середні

квадратичні похибки лінійних вимірювань m_{l_o} та кутових вимірювань m_{β} . За формулами (3.6), (3.5) та (3.4) знаходимо

середню довжину сторони будівельної сітки $\bar{l} = 2040 : 12 = 170\text{м}$;

середню вагу пунктів будівельної сітки $\bar{p} = 200 : 170 = 1,176$;

середня квадратична похибка лінійних вимірювань пунктів будівельної сітки

$$m_{l_o} \leq 5 \cdot \sqrt{0,81 \cdot 1,176 \cdot 0,81} = 5 \cdot 0,879 \approx 4,4\text{мм};$$

середня квадратична похибка кутових вимірювань пунктів будівельної сітки

$$m_{\beta} \leq \frac{5 \cdot 206265''}{200000} \sqrt{0,38 \cdot 1,176 \cdot 0,81} = 5,157 \cdot 0,602 \approx 3,1''$$

Відносна середня квадратична похибка лінійних вимірювань

$$\frac{m_{l_o}}{l_o} = \frac{4,4}{200000} = \frac{1}{45455}$$

Отже, потрібно з'ясувати з точністю якої полігонометрії повинні виконуватися вимірювання пунктів будівельної сітки. В інструкції дається гранична відносна середньоквадратична похибка полігонометрії та теодолітних ходів. Крім того, в таблиці 3.5. додатково наведено середні квадратичні відносні похибки лінійних вимірювань. Середня квадратична відносна похибка лінійних вимірювань визначається за формулою:

$$\frac{m_l}{l} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T \cdot z_p}, \quad (3.7)$$

де

$\sqrt{2}$ – коефіцієнт за принципом рівного впливу лінійних та кутових вимірювань, тому лише для лінійних вимірювань потрібно загальну граничну відносну похибку розділити на цей коефіцієнт;

T – знаменник загальної граничної відносної середньої квадратичної похибки;

z_p – коефіцієнт, який залежить від довірчої ймовірності і для нормального розподілу похибок вибирається з таблиці цього розподілу; так, для довірчої ймовірності $p=0,95$ величина $z_p=1,96 \approx 2,0$.

Наприклад, для полігонометрії 1-го розряду загальна гранична відносна середня квадратична похибка $\frac{1}{T} = \frac{1}{10000}$. Тоді середня квадратична відносна похибка тільки лінійних вимірювань становитиме:

$$\frac{m_l}{l} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T \cdot z_p} = \frac{1}{1,414 \cdot 10000 \cdot 2} = \frac{1}{28284}.$$

В прикладі нульового варіанту отримано відносну середню квадратичну похибку лінійних вимірювань 1:45455. Ця величина згідно табл. 3.5 потрапляє в інтервал

$$\frac{1}{28284} > \frac{1}{45455} > \frac{1}{70711},$$


тобто для побудови будівельної сітки потрібно виконувати вимірювання з точністю не нижче ніж полігонометрія 4-го класу.

Табл. 3.5

Назва ходів і загальна гранична відносна середня квадратична похибка	$\frac{1}{T}$	Середня квадратична відносна похибка лінійних вимірювань $\frac{m_l}{l}$	Середня квадратична похибка кутових вимірювань m_β
Теодолітні ходи точності	$\frac{1}{T} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 2000 \cdot 2} = \frac{1}{5657}$	30"
Полігонометрія 2-го розряду точності	$\frac{1}{T} = \frac{1}{5000}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 5000 \cdot 2} = \frac{1}{14142}$	10"
Полігонометрія 1-го розряду точності	$\frac{1}{T} = \frac{1}{10000}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 10000 \cdot 2} = \frac{1}{28284}$	5"
Полігонометрія 4-го розряду точності	$\frac{1}{T} = \frac{1}{25000}$	$\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 25000 \cdot 2} = \frac{1}{70711}$	2,5"

Завдання 2. Виконати за варіантом розрахунки виносу в натуру вихідного та діагонального напрямків 1 – 3 і 1 – 5. Виконати креслення за індивідуальними вихідними даними згідно варіанту. Необхідні вихідні дані взяти з практичної роботи 6.

Приклад розв'язання нульового варіанту.

Точка 1 будівельної сітки суміщена з точкою теодолітного ходу для топографічної зйомки в М 1:500 і яка закріплена на місцевості металевою трубкою на бетоні –  (рис. 3.3). У прикладі нульового варіанту вихідний напрямок має дирекційний кут $\alpha = 15^\circ 09' 59''$, але у кожного студента буде індивідуальне значення, згідно якого та проектної віддалі 460,000м знаходять координати точки 3. Діагональний напрямок буде зміщено на таку ж величину, що і вихідний напрямок, тобто змінюється дирекційний кут $\alpha = 40^\circ 43' 35''$ на таке ж значення, що і $\alpha = 15^\circ 09' 59''$. Тоді координати точки 5 обчислюються за зміненим дирекційним кутом та проектною віддаллю 509,902м.

Координати точки 7 знаходяться від точки 5 під зміненим дирекційним кутом вихідного напрямку плюс 180° та проектною віддалю 460,000м. Ці координати потрібно знайти і від точки 1 під зміненим дирекційним кутом вихідного напрямку плюс 90° та віддалю 220,000м. Як уже вказувалось, розходження в координатах точки 7 не повинні перевищувати 2мм.

Над точкою 1 устанавлюється електронні тахеометр та відкладається кут $\beta = 87^\circ 30' 07''$ від напрямку 1 – ПП15 (рис. 3.1). Кожен студент розраховує особисте значення кута β , яке дорівнюватиме різниці α вихідного напрямку мінус α напрямку 1 – ПП15. Для вихідного напрямку під кутом β виставляється декілька разів віха з відбивачем, доки не дотягнеться проектна віддаль 460,000м. Після досягнення цієї віддалі, на місці установки віхи забивається дерев'яний кілок розмірами 10x10x30см. Перевіряється знову кут β та проектна віддаль. Намічується олівцем точка на верхівці кілка, над точкою виставляється штатив і вимірюється точне значення віддалі. Звичайно, що буде різниця між реальною та проектною віддальми. Цю різницю зменшують до нуля шляхом переміщення підставки тахеометра і коли буде досягнуто проектної віддалі при наближеному значенні кута β , то забивають на незначну величину під центром тахеометра невеличкий цвях. Саме таким чином досягається значення проектної віддалі.

Потрібно зауважити, що поправки за нахил рельєфу та температуру у сучасних тахеометрах вводяться автоматично.

Тепер потрібно визначити **точне значення кута β** . Для розрахунку кількості прийомів вимірювання кута β , якщо він відрізняється від значення $87^\circ 30' 07''$, потрібно поступати наступним чином.

Відомо, що середня квадратична похибка арифметичної середини визначається за формулою

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (3.8)$$

де m – середньоквадратична похибка (СКП) вимірювання кута одним прийомом;
 n – кількість кругових прийомів.

Тоді

$$n = \frac{m^2}{M^2} \quad (3.9)$$

Спочатку потрібно визначити СКП арифметичної середини M . Величина x це точність наведення на призму відбивача, або на марку. Вона коливається у межах $x = 0,5 \div 1,5 \text{ мм}$.

З трикутника видно (рис. 3.5), що

$$\frac{x}{S} = \text{tg}M \approx \frac{M''}{p''}, \quad (3.10)$$

де $p'' = 206265$.

Тоді

$$M'' = \frac{x_{\text{мм}} \cdot p''}{S_{\text{мм}}}, \quad (3.11)$$

Підставляючи (3.11) в (3.9) отримаємо формулу для знаходження кількості кругових прийомів для точного вимірювання відкладеного кута β

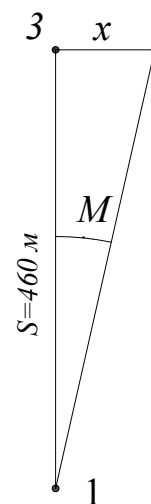


Рис. 3.5. Визначення величини x

$$n = \frac{S^2 \cdot m^2}{x^2 \cdot p^2} \quad (3.12)$$

Для електронного тахеометра з СКП одного прийому $m = 0,8''$ та $x = 0,8 \text{ мм}$ кількість прийомів становитиме

$$n = \frac{460000^2 \cdot 0,8^2}{0,8^2 \cdot 206265^2} = 4,97 \approx 5 \text{ прийомів.}$$

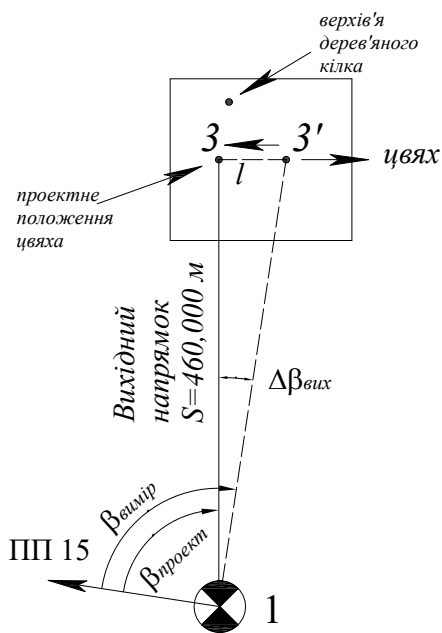


Рис. 3.6. До точного визначення кута

Точне значення кута $\beta_{\text{вимір}}$ визначається вимірюванням його наближеного значення п'ятьма круговими прийомами.

При цьому наведення перехрестя труби тахеометра виконується на марку (призму), яка центрується на цвях (рис.3.6).

Припустимо, що точне значення кута становить $\beta_{\text{вимір}} = 87^\circ 30' 18''$. Тоді поперечне лінійне зміщення цвяха визначиться за формулою (рис.3.6.)

$$l = S_{(\text{мм})} \cdot \frac{\Delta\beta''_{\text{вих}}}{\rho''}, \quad (3.13)$$

де $\Delta\beta_{\text{вих}}$ – кутове відхилення цвяха 3' від проектного 3;

$$\Delta\beta_{\text{вих}} = \beta_{\text{вимір}} - \beta_{\text{пр}} = 87^\circ 30' 18'' - 87^\circ 30' 07'' = +11''.$$

Тоді поперечне лінійне відхилення

$$l = 460000 \cdot \frac{11''}{206265''} = 24,5 \text{ мм.}$$

Тобто потрібно вліво повернути напрямок $l - 3'$ на величину l . Отже, за допомогою прямокутного трикутника з міліметровими поділками потрібно цвях змістити з точки 3' в точку 3 на 24,5мм.

Потім потрібно проконтролювати віддаль S та виміряти проектний кут $\beta_{\text{пр}}$ двома прийомами по напрямку $l - 3$. Відхилення від проектного значення згідно завдання не повинно перевищувати 0,8мм, або в кутовій мірі ця величина не повинна бути більшою $2 \cdot M = 2 \cdot 0,359 \approx 0,7''$. На цьому процес точного винесення точки 3 в натуру завершується.

Оскільки точка 2 лежить по створу напрямку $l - 3$, то буде доцільним одразу закріпити її тимчасове положення також у вигляді дерев'яного кілка та цвяха. Для цього тахеометр, який розташований над точкою 1, точно наводиться на точку 3 і відкладається проектна віддаль 280,000м. Щоб досягнути цієї проектної відстані доведеться декілька разів вимірювати цю віддаль, лише тоді забивається кілок і відповідно цвях. Тимчасові точки 2 та 3 у незначній мірі окопуються з метою їх кращого знаходження, тобто діаметр окопування складає приблизно $50 \div 60 \text{ см}$.

Потім виноситься в натуру діагональний напрямок $l - 5$, тобто виноситься на місцевість точка 5 і тимчасово закріплюється під кутом $\beta_{\text{діаг}} = 25^\circ 33' 36''$, який відкладається від напрямку $l - 3$.

Для точного винесення в натуру точки 5 установлені наступні вихідні величини, як і в попередньому випадку:

- точність наведення на точку 5' дорівнює 0,8мм;
- середня квадратична похибка вимірювання кута одним прийомом $m = 0,8''$;
- середня квадратична похибка арифметичної середини вимірювання кута на точку 5'

$$M = \frac{x_{(\text{мм})} \cdot \rho''}{S_{(\text{мм})}} = \frac{0,8 \cdot 206265}{509902} = 0,324'';$$

- кількість кругових прийомів для точного вимірювання кута на точку 5'

$$n = \frac{m^2}{M^2} = \frac{0,8^2}{0,324^2} = 6,1 \approx 6 \text{ прийомів;}$$

- значення точного вимірюного кута на точку 5'

$$\beta_{\text{вим}} = 25^{\circ}33'29'';$$

– кутове та лінійне зміщення точки 5' від проектного положення

$$\Delta\beta_{\text{діаг}} = \beta_{\text{вим}} - \beta_{\text{пр}} = 25^{\circ}33'29'' - 25^{\circ}33'36'' = -7''$$

$$l = S_{(\text{мм})} \cdot \frac{\Delta\beta_{\text{діаг}}''}{\rho''} = 509902 \cdot \frac{(-7)}{206265} = -17,3 \text{ мм}$$

Отже при точному виносі в натуру точки 5 потрібно змістити цвях вправо на величину 17,3мм.

Аналогічним методом виносяться в натуру точка 7 і створним способом точки 8, 4, 6, і 9 і відповідно закріплюються на місцевості.

Завдання 3. Ознайомитися та описати технологією установки постійних пунктів будівельної сітки, зробити висновки.

Короткі теоретичні відомості.

Усі точки будівельної сітки на місцевості закріплені тимчасовими дерев'яними кілками з цвяхами (центрами). Тепер потрібно замість тимчасових пунктів установити постійні (бетонні) пункти.

Якщо пункти виготовлені заздалегідь, то їх установку виконують наступним чином.

Тахеометр виставляють від тимчасової точки на віддалі $3 \div 5\text{м}$, центрують його над попередньо забитим кілком з центром і точно наводять перехрестя труби на центр цвяха тимчасового пункту будівельної сітки. Рулеткою вимірюють віддаль від центра проекції тахеометра до центра цвяха. Вимірюють декілька разів з точністю до десятих долей міліметра. Значення віддалі записують. Коли прилад наведено на центр цвяха, тоді алідаду закріплюють і ще беруть кутовий відлік, а також його значення записують.

За допомогою бурильного механізму пробурюється вертикальна свердловина на місці тимчасового пункту діаметром 40см на глибину $1,50 \div 1,55\text{м}$. Установлюється бетонний пункт в свердловину і поступово засипається ґрунт та трамбується. У цей час потрібно слідкувати, щоб перехрестя труби не сходило з центра металевій пластини, а віддаль до центра приблизно дорівнювала вимірянній (записаній). Коли пункт добре утрамбовано, намічають на металевій пластині дюбелем центр пункту згідно вимірянній віддалі місцеположенню перехрестя труби приладу. Потім просвердлюють отвір у металевій пластині міліметровим свердлом на глибину $3 \div 4\text{мм}$. Добре було б в цей отвір заклепати мідний стрижень з дроту діаметром 0,9мм. Потім пункт окопують (рис. 3.2). Верхівка бетонного пункту повинна виступати над рівнем землі на $15 \div 20\text{см}$.

Завдання 4. Ознайомитися з технологією та вимогами прив'язки пунктів будівельної сітки до пунктів геодезичної мережі і нівелювання III класу, описати, накреслити схему нівелювання, зробити висновки. Необхідні вихідні дані взяти з практичної роботи 6.

Постійні пункти будівельної сітки необхідно прив'язати до пунктів геодезичної мережі. Для цього в нашому випадку потрібно виміряти кут з пункту 3 від вихідного напрямку до напрямку 3 – ПП14 (рис. 3.4), Вимірюється також довжина сторони 3 – ПП14. Прив'язка завершується у даному випадку вимірюванням кута на ПП14 між напрямками ПП14 – 3 та ПП14 – ПП15. Вимірювання виконуються за точністю полігонометрії 1 розряду. Нев'язка у замкнутому полігоні розподіляється тільки на два вимірянні кути і на вимірянну сторону 3 – ПП14. Сторони будівельної сітки не повинні отримувати поправок. Обчислюються координати всіх пунктів будівельної сітки в умовній системі.

По пунктах будівельної сітки виконується нівелювання III класу. Мережа нівелювання складається з трьох полігонів (рис. 3.7). Вихідними реперами будуть пункти полігонометрії ПП14, ПП15, які мають відмітки з нівелювання III класу.

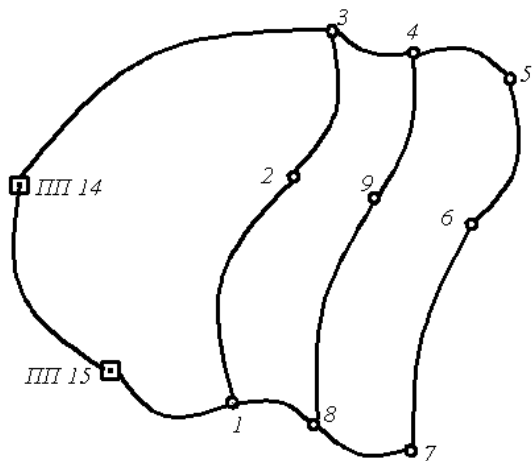


Рис. 7 Схема нівелювання пунктів будівельної сітки.
III клас нівелювання

Для нівелювання III класу застосовують нівеліри типу Н-3 і трьохметрові рейки – не складні, а суцільні. Випадкові похибки дециметрових поділок рейок не повинні перевищувати 0,5мм. Відліки беруть по трьох нитках – по чорній стороні рейки і по середній нитці – по червоній стороні.

Нівелірні ходи потрібно виконувати в прямому та зворотному напрямках.

Оптимальна віддаль від нівеліра до рейок 75м. Висота візирного променя над поверхнею землі не менше 0,3м. Нерівність віддалей від нівеліра до рейок на станції не повинна перевищувати 2м, а накопичення в секції – 5м. При використанні нівелірів з самоустановлюючою лінією візування нерівність збільшується до 4м на станції і до 7м в секції.

Різниця перевищень за відліками по чорній та червоній рейках не повинна перевищувати 3мм. Гранично допустимі нев'язки не повинні перевищувати $10\sqrt{L}$, де L – довжина хода або периметра в км.

При кількості станцій не більше 15 на 1км хода нев'язка не повинна перевищувати $2,6\sqrt{n}$ мм, де n – кількість станцій в полігоні або ході.

По завершенню усіх вимірювальних робіт потрібно виконати контроль кутових побудов будівельної сітки. Кути контролюються в шаховому порядку, а довжини сторін – у декількох місцях.

Потім установлюються охоронні піраміди і складається акт для здавання усіх виконаних робіт.

Список рекомендованих джерел

Підручники, посібники:

- Баран, П. І. (2012). *Інженерна геодезія: Монографія* (с. 618). ПАТ «ВІПОЛ».
<http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/5041>
- Баран, П. І., Бондар, А. Л., Бурштинська, Х. В., & Літинський, В. О. (with Нац. ун-т «Львів. політехніка»). (2001). *Геодезичний енциклопедичний словник* (В. О. Літинського, Ред.; с. 668). Євросвіт.
- Войтенко, С. П. (2012). *Інженерна геодезія: Підручник. —2-ге вид., виправ. І доп.* Знання.
- Волосецький, Б. І. (2003). *Інженерна геодезія. Геодезичні роботи для проектування і будівництва водогосподарських та гідротехнічних споруд: Навч. Посібник.* Видавництво Національного університету «Львівська політехніка».
- Волосецький, Б. І. (with МОН України & НУ «Львівська політехніка»). (2015). *Інженерна геодезія. Геодезичні роботи для проектування і будівництва водогосподарських та гідротехнічних споруд: Навч. посіб, 2-ге вид., допов. (2ий-ге вид., допов вид.)*. Вид-во Львівської політехніки.
- Зуска, А. В. (2016). *Інженерне геодезія. Начальний посібник* (с. 209). НГУ.
<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/147927>

Наукові статті, тези конференцій:

- Брик, Я. П., Бурачек, В. Г., & Малік, Т. М. (2018). Підвищення точності вертикального проектування при будівництві і експлуатації висотних споруд. *Наук. техн. конференція «Геодезичне забезпечення будівництва. Сертифікація. Нормативна база. Визначення вартості геодезичних робіт»*, 65–70.
- Ковтун, М. Т., & Малік, Т. М. (2010). Сучасні лінійно-кутові мережі для знесення координат на землю. *Збірник наукових праць. Вісник криворізького технічного університету*, 25, 76–83.
- Крячок, С. Д., Малік, Т. М., Беленок, В. Ю., & Бойко, О. Л. (2023). Сучасний стан топографо-геодезичного забезпечення аеропортів в Україні. В В. В. Карпов (Ред.), *Сталий розвиток авіаційної інфраструктури України: Колективна монографія* (с. 112–146). Liha-Pres. <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/59835>
- Кудряшов, К. Л., & Малік, Т. М. (2024). Геодезичний контроль як складова оцінки вартості складних прецизійних промислових об'єктів. *XIV Всеукраїнська молодіжна наукова конференція - школа «Сучасні проблеми наук про Землю»*, 60–68.
http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/2024/conf_univ_apr_2024.pdf
- Малік, Т., Бурачек, В., & Брик, Я. (2016). Метод автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд. *Технічні науки та технології: науковий журнал. ЧНТУ*, 3(1), 145–152.
- Малік, Т. М. (2010). Контроль лінійних та кутових відхилень елементів даху інженерної споруди. *Інженерна геодезія: Науково-технічний збірник. КНУБА*, 55.
- Малік, Т. М., & Брик, Я. П. (2016). Нова концепція вбудованого автоматизованого інженерно-геодезичного контролю деформацій конструкцій інженерних споруд. *Новітні технології. ПВНЗ «Університет новітніх технологій»*, 1(1), 20–25.
- Малік, Т. М., & Нерус, О. В. (2011). Сучасні методи контролю деформацій інженерних споруд. *Матеріали науково-практичної конференції. Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, Інститут землевпорядкування та інформаційних технологій при Національному авіаційному університеті*.
- Малік, Т. М., & Шульц, Р. В. (2011). Дослідження деформацій просторових конструкцій складної форми різними методами. *Збірник наукових праць VII міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід»*.
- Burachek, V., Malik, T., Kryachok, S., Bryk, Y., & Belenok, V. (2018). DEVICE FOR AUTOMATED LEVELING. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of*

- Kazakhstan*, 431(5), 95–99. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.13>
- Malik, T. M., Burachek, V. G., Bryk, Ya. P., Kryachok, S. D., Belenok, V. Iu., & Hebryn-Baidy, L. V. (2020). THE IMPROVING OF THE ACCURACY OF ENGINEERING AND GEODETIC WORKS IN THE CONSTRUCTION AND CONTROL OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF HIGH-RISE BUILDINGS. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6(444), 162–168. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.143>
- Tereshchuk, O. I., Kryachok, S. D., Belenok, V. Iu., Malik, T. M., & Hebryn-Baidy, L. V. (2021). ROBOTIC COMPLEX FOR THE RUNWAY LEVELING. *Series of Geology and Technical Sciences*, 2(446), 180–188. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.51>

Патенти:

- Брик, Я. П., Бурачек, В. Г., & Малік, Т. М. (2017а). *Патент України (на 20 р.) №114959. СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАНОВИХ КООРДИНАТ ВЕРХНЬОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНАКУ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ЛІНІЇ НА НАДВИСОКИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУДАХ* (МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ Patent No. 114959). <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=238763>
- Брик, Я. П., Бурачек, В. Г., & Малік, Т. М. (2017б). *Патент України (на 20 р.) №115261. СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО ТОТАЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД* (МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ Patent No. 115261). <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=239773>
- Бурачек, В. Г., Телюков, А. В., Крячок, С. Д., Брик, Я. П., & Малік, Т. М. (2018). *Патент України (на 20 р.) №117044. ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО НІВЕЛЮВАННЯ* (МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ Patent No. 117044). <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=247925>

Нормативно-правові документи:

- ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). (2015). *ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд*. Мінрегіон України. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59085
- Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект». (2013). *СОУ-Н МЕВ 40.1-00013741-79:2012 Настанова з проведення спостережень за осіданням фундаментів, деформаціями конструкцій будівель і споруд та режимом підземних вод на майданчиках теплових та атомних електростанцій*. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=68391
- Науково-дослідний інститут будівельного виробництва. (2023). *ДБН В.1.3-2:2010 «Геодезичні роботи у будівництві»* (В. Технічні Норми, Правила і Стандарти No. BN01:4237-4537-0017-1149; Версія 3). Укрархбудінформ. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199637436816688486 (Діючий)
- Науково-дослідний інститут будівельного виробництва (НДІБВ). (2017). *ДСТУ-Н Б А.1.3-1:2016 Визначення параметрів будівель, споруд і території забудови. Загальні вимоги*. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65202
- Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (УкрНДІпроектстальконструкція). (2015). *ДСТУ Б В.2.6-200:2014 Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу*. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60031

Додатки

Додаток 1

Таблиця значень δ_q (критерій Аббе)

n	q			n	q		
	0,001	0,01	0,05		0,001	0,01	0,05
4	0,30	0,31	0,39	14	0,31	0,45	0,59
6	0,18	0,28	0,44	16	0,34	0,48	0,61
8	0,20	0,33	0,49	18	0,37	0,50	0,63
10	0,24	1,38	0,53	20	0,39	0,52	0,65
12	0,28	0,41	0,56				

Додаток 2

Коефіцієнт Ст'юдента t_β

$\Phi'(t) = \beta$							
$n-1$	0,1	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,999
2	0,16	1,00	2,00	6,3	12,7	63,7	636,6
5	0,13	0,74	1,20	2,1	2,8	4,6	8,6
10	0,13	0,69	1,10	1,8	2,3	3,3	4,8
20	0,13	0,69	1,10	1,7	2,1	2,9	3,9
25	0,13	0,69	1,10	1,7	2,1	2,8	3,7
30	0,13	0,68	1,10	1,7	2,0	2,8	3,7
200	0,13	0,67	1,00	1,6	2,0	2,6	3,3

Додаток 3

Таблиця значень Z_q

n	q			n	q		
	0,10	0,05	0,01		0,10	0,05	0,01
4	1,64	1,69	1,72	18	2,40	2,58	2,90
6	1,89	2,00	2,13	20	2,45	2,62	2,96
8	2,04	2,17	2,37	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,60	2,78	3,12
12	2,23	2,39	2,66	50	2,774	2,96	3,35
14	2,30	2,46	2,76	75	2,907	3,10	3,52
16	2,35	2,52	2,84	100	3,01	3,19	3,60

Вихідні дані для виконання практичної роботи 5 завдання 1

	Варіанти																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер циклу	<i>H, м</i>																			
0, початковий	39,5211	59,5636	59,6754	59,9572	58,6602	39,5278	40,5253	40,9810	41,6310	50,8028	51,7606	49,7034	47,5904	29,6050	28,6705	32,4455	33,6362	33,6890	47,5474	51,7858
1	39,5193	59,5614	59,6711	59,8820	58,6441	39,4931	40,5211	40,9717	41,5999	50,7978	51,7593	49,6831	47,5009	29,5954	28,6626	32,3250	33,6310	33,6690	47,5083	51,7590
2	39,5174	59,5584	59,6693	59,8536	58,5146	39,4427	40,4921	40,9627	41,5890	50,7599	51,7520	49,6623	47,4868	29,5650	28,6178	32,3220	33,5920	33,6647	47,4420	51,7069
3	39,5149	59,5566	59,6691	59,7052	58,4911	39,3890	40,4474	40,9500	41,5273	50,5916	51,7452	49,6065	47,4540	29,4904	28,5739	32,3026	33,5038	33,6225	47,3985	51,6659
4	39,5069	59,5430	59,6586	59,6923	58,3677	39,3881	40,4149	40,8805	41,5187	50,5789	51,7201	49,5852	47,4208	29,4592	28,5679	32,2757	33,4194	33,5812	47,3360	51,6283
5	39,5037	59,5380	59,6582	59,6203	58,3336	39,3680	40,4060	40,8598	41,4518	50,5141	51,6795	49,5571	47,4043	29,4177	28,5616	32,2557	33,4125	33,5777	47,3329	51,6072
6	39,4877	59,5335	59,6415	59,5827	58,3051	39,3568	40,4042	40,7445	41,4438	50,4869	51,5940	49,5518	47,3751	29,3889	28,5262	32,2456	33,3824	33,5504	47,3199	51,6033
7	39,4838	59,5329	59,6343	59,4650	58,2779	39,2990	40,3183	40,7211	41,4298	50,4656	51,5320	49,4882	47,3674	29,3589	28,4457	32,1804	33,3274	33,4717	47,3186	51,5758
8	39,4761	59,5256	59,6337	59,4554	58,2545	39,2684	40,3108	40,6744	41,3831	50,4559	51,5261	49,4532	47,3658	29,3343	28,3482	32,1623	33,3047	33,4350	47,3071	51,5459
9	39,4748	59,5197	59,6246	59,3747	58,2478	39,2534	40,2902	40,6421	41,3640	50,4038	51,4898	49,3717	47,3320	29,3138	28,3447	32,1322	33,2773	33,3183	47,2990	51,4921
10	39,4734	59,5188	59,6233	59,3558	58,2303	39,1933	40,2698	40,6358	41,3520	50,2626	51,4722	49,3551	47,2929	29,2741	28,3288	32,1134	33,2366	33,3011	47,2629	51,4860
11	39,4696	59,5123	59,6222	59,3535	58,1778	39,1264	40,2289	40,5983	41,3483	50,2568	51,4679	49,3431	47,2620	29,2660	28,3153	32,0905	33,2125	33,2522	47,2522	51,4616

Вихідні дані для виконання практичної роботи 5 завдання 2.

Номер циклу	Варіанти															
	1		2		3		4		5		6		7		8	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м
0	412,138	502,476	422,315	512,468	432,121	522,464	443,120	555,475	212,117	312,469	465,122	574,466	644,135	732,465	879,123	777,454
1	412,127	502,468	422,304	512,467	432,114	522,458	443,135	555,466	212,120	312,459	465,136	574,457	644,135	732,472	879,118	777,467
2	412,114	502,457	422,323	512,478	432,133	522,467	443,122	555,473	212,113	312,457	465,125	574,458	644,134	732,455	879,136	777,478
3	412,114	502,466	422,308	512,463	432,120	522,469	443,116	555,456	212,134	312,477	465,113	574,456	644,115	732,478	879,137	777,471
4	412,119	502,463	422,313	512,466	432,127	522,463	443,138	555,474	212,132	312,475	465,111	574,477	644,121	732,471	879,130	777,470
5	412,124	502,457	422,311	512,476	432,120	522,461	443,113	555,455	212,117	312,460	465,134	574,476	644,132	732,474	879,134	777,467
6	412,134	502,469	422,325	512,475	432,135	522,457	443,118	555,470	212,118	312,473	465,120	574,468	644,126	732,461	879,126	777,476
7	412,132	502,458	422,326	512,461	432,136	522,456	443,116	555,477	212,125	312,461	465,133	574,471	644,133	732,475	879,122	777,454
8	412,113	502,463	422,308	512,467	432,125	522,462	443,120	555,471	212,112	312,473	465,112	574,460	644,128	732,466	879,134	777,463
9	412,134	502,460	422,321	512,462	432,115	522,475	443,124	555,454	212,137	312,459	465,114	574,454	644,125	732,460	879,112	777,469
10	412,124	502,465	422,310	512,472	432,133	522,476	443,116	555,472	212,130	312,456	465,121	574,471	644,126	732,470	879,118	777,471
11	412,125	502,465	422,322	512,475	432,116	522,454	443,138	555,477	212,118	312,470	465,111	574,467	644,125	732,463	879,129	777,466

Номер циклу	Варіанти															
	9		10		11		12		13		14		15		16	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м
0	822,623	998,368	604,625	198,371	734,634	804,363	206,010	308,356	700,143	998,359	198,361	218,354	312,468	998,350	822,623	879,127
1	822,620	998,354	604,632	198,365	734,614	804,364	206,015	308,345	700,127	998,366	198,349	218,356	312,454	998,368	822,619	879,111
2	822,624	998,370	604,626	198,368	734,614	804,352	206,025	308,354	700,114	998,364	198,353	218,360	312,465	998,346	822,633	879,134
3	822,617	998,347	604,620	198,368	734,609	804,353	206,020	308,355	700,113	998,370	198,364	218,371	312,464	998,346	822,628	879,115
4	822,610	998,352	604,623	198,350	734,618	804,369	206,035	308,355	700,132	998,357	198,358	218,355	312,465	998,354	822,621	879,119
5	822,612	998,367	604,627	198,363	734,620	804,353	206,016	308,365	700,117	998,363	198,349	218,355	312,469	998,347	822,633	879,126
6	822,628	998,365	604,633	198,352	734,622	804,360	206,024	308,352	700,117	998,357	198,345	218,347	312,462	998,363	822,614	879,134
7	822,630	998,346	604,608	198,361	734,610	804,354	206,010	308,352	700,121	998,360	198,369	218,364	312,472	998,346	822,627	879,117
8	822,614	998,352	604,612	198,370	734,633	804,344	206,007	308,367	700,111	998,362	198,349	218,368	312,455	998,349	822,627	879,124
9	822,617	998,367	604,607	198,363	734,629	804,355	206,030	308,365	700,134	998,352	198,365	218,370	312,466	998,360	822,626	879,134
10	822,622	998,358	604,631	198,369	734,614	804,366	206,028	308,356	700,124	998,368	198,351	218,361	312,456	998,347	822,607	879,123
11	822,623	998,355	604,607	198,350	734,606	804,357	206,016	308,362	700,126	998,354	198,370	218,355	312,470	998,352	822,621	879,110

Додаток 6

Схеми будівельної сітки для виконання практичної роботи 6.

Схема будівельної сітки для варіанту 1

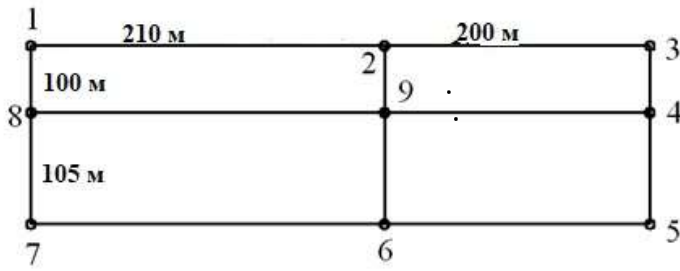


Схема будівельної сітки для варіанту 2

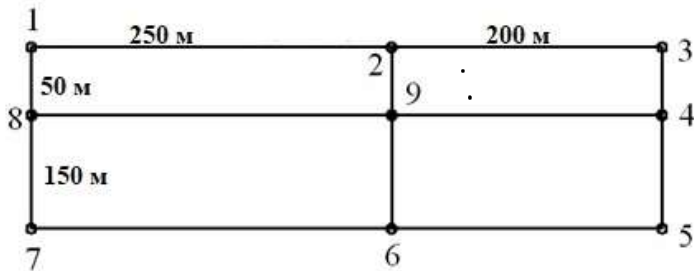


Схема будівельної сітки для варіанту 3

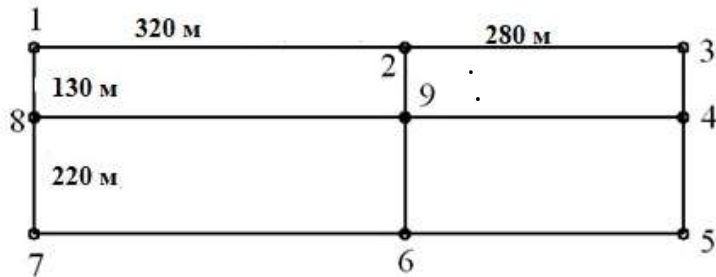


Схема будівельної сітки для варіанту 4

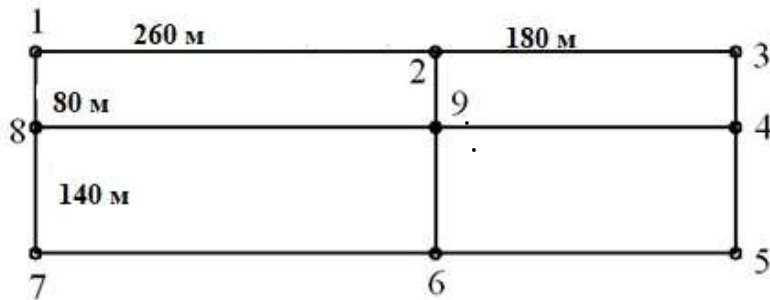


Схема будівельної сітки для варіанту 5

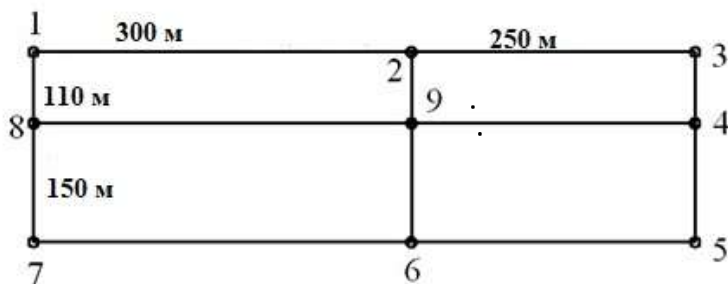


Схема будівельної сітки для варіанту 6

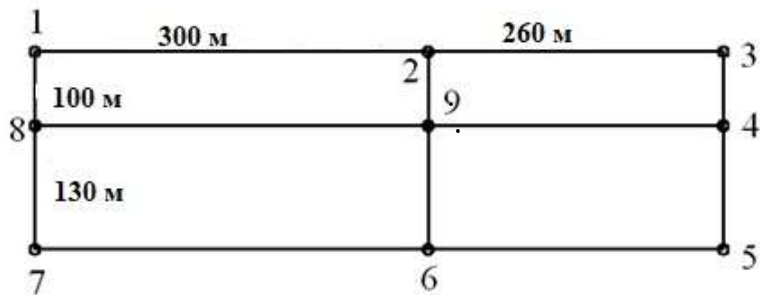


Схема будівельної сітки для варіанту 7

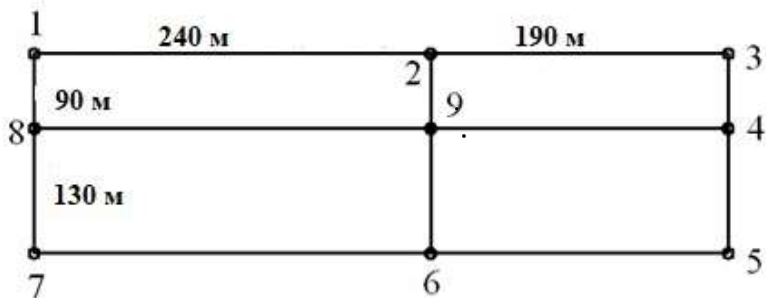


Схема будівельної сітки для варіанту 8

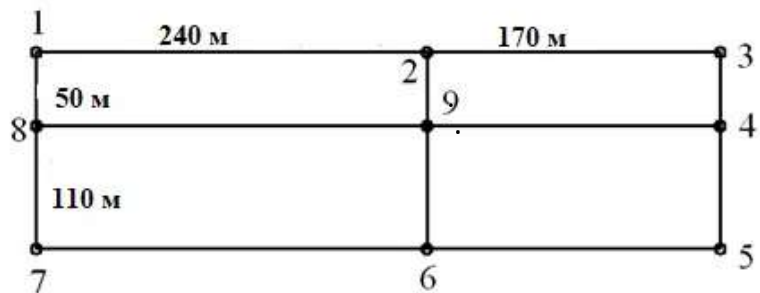


Схема будівельної сітки для варіанту 9

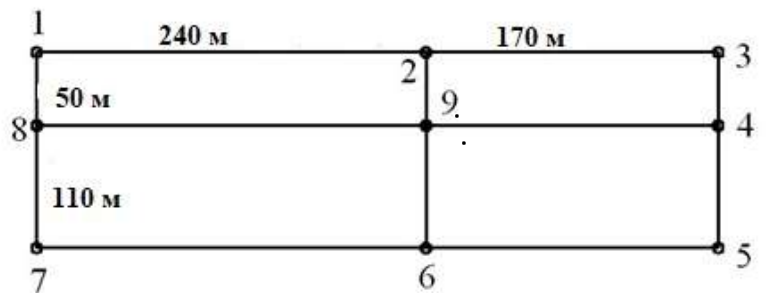


Схема будівельної сітки для варіанту 10

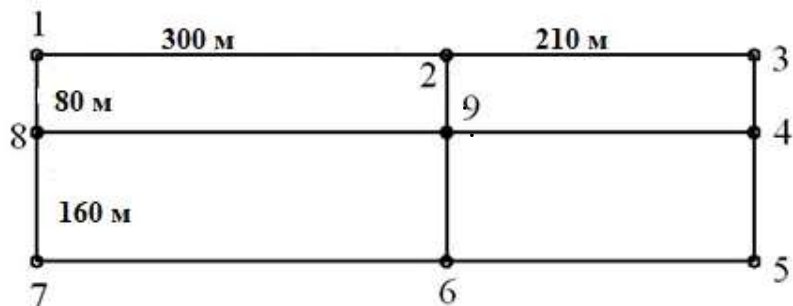


Схема будівельної сітки для варіанту 11

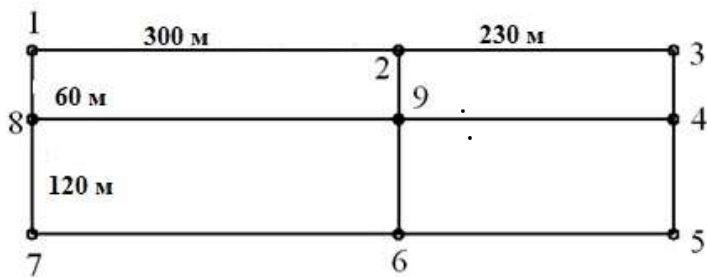


Схема будівельної сітки для варіанту 12

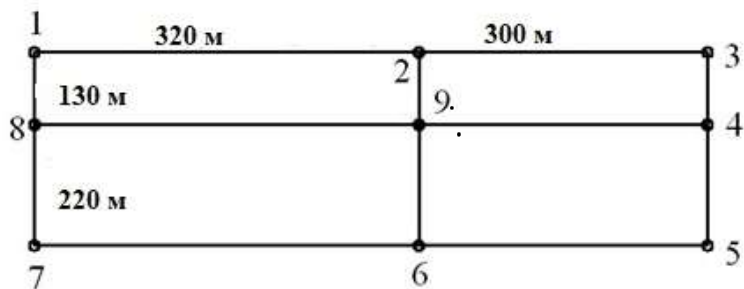


Схема будівельної сітки для варіанту 13

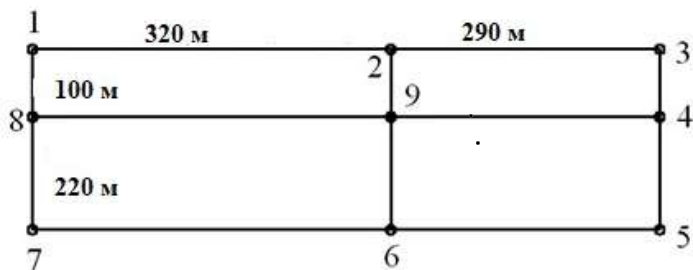


Схема будівельної сітки для варіанту 14

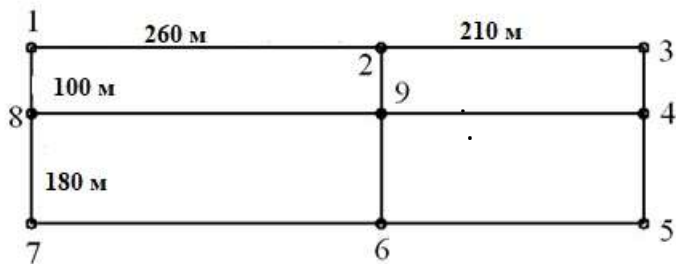


Схема будівельної сітки для варіанту 15

