

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до проведення лабораторних занять  
і організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ГЕОДЕЗІЯ»**

**Змістовий модуль 5**

**Методи створення планово-висотного обґрунтування  
топографічних зніманих**

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

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

Методичні рекомендації до проведення лабораторних занять і організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Геодезія». Змістовий модуль 5. Методи створення планово-висотного обґрунтування топографічних зніманих (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. М. А. Кухар. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 51 с.

Укладач канд. техн. наук М. А. Кухар

Рецензент

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

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

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 16 Визначення координат геодезичними засічками	5
Лабораторна робота № 17 Лінійні і комбіновані засічки.....	11
Лабораторна робота № 18 Технічне нівелювання .....	17
Лабораторна робота № 19 Тригонометричне та теодолітно-тахеометричне нівелювання .....	35
Список рекомендованих джерел.....	49

## ВСТУП

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

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

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

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

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

### ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ГЕОДЕЗИЧНИМИ ЗАСІЧКАМИ

*Мета роботи:* навчитись графічним методом представляти та вирішувати кутові засічки.

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

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

#### *Частина 1*

##### *Завдання*

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Визначити координати точки Р аналітично.
3. Визначити координати точки Р графічно.
4. Зробити висновок про проведену роботу.

##### *Рекомендації до виконання завдань.*

1. Вихідні дані для вирішення прямої кутової засічки.

Загальний випадок прямої кутової засічки:

- 1.1. Початкові дані:

$$X_A = 500 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$X_B = 400 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_A = 600 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_B = 500 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}.$$

1.2. Вимірюються кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  на двох пунктах з відомими координатами, кожен від свого напрямку з відомим дирекційним кутом (рис. 1).

$$\beta_1 = (70 + \#)^\circ + (1,5 \cdot \#)' = \underline{\hspace{10em}}$$

$$\beta_2 = (30 + \#)^\circ + (1,6 \cdot \#)' = \underline{\hspace{10em}}$$

1.3. Визначувані величини: координати точки Р.

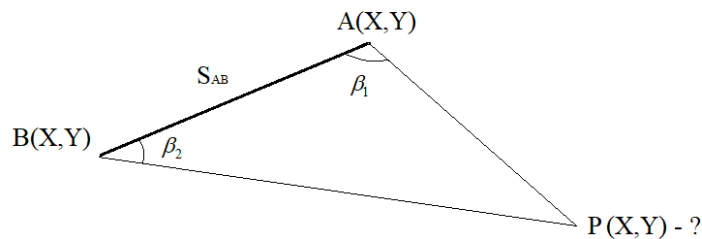


Рисунок 1 – Пряма кутова засічка

2. Пряма кутова засічка – аналітично.

2.1. Розв'язати зворотну задачу між пунктами А і В і визначити дирекційний кут і довжину лінії АВ.

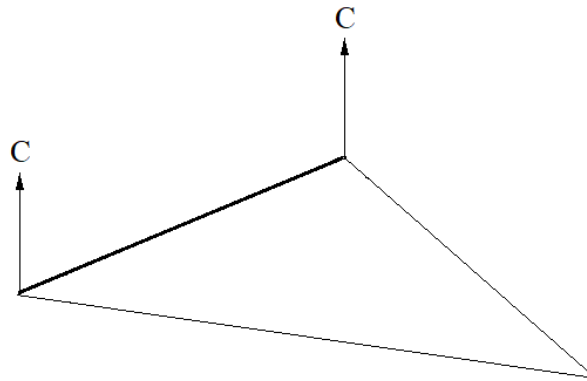
2.2. Обчислити кут при вершині Р.

$$\gamma = 180^0 - (\beta_1 + \beta_2) \tag{1}$$

2.3. Для трикутника АРВ за теоремою синусів обчислити довжини сторін АР ( $s_1$ ) і ВР ( $s_2$ ):

$$\frac{S_{AB}}{\sin \gamma} = \frac{S_1}{\sin \beta_2} = \frac{S_2}{\sin \beta_1} \tag{2}$$

2.4. Визначити дирекційні кути ліній AP ( $\alpha_1$ ) і BP ( $\alpha_2$ ). Графічно вивести формулу та розрахувати.



2.5. Розв'язується пряма геодезична задача з точки А та з точки В.

2.6. **Контроль:** значення координат у двох випадках повинні бути однакові.

$$X_P^{AP} = X_P^{BP} \quad (3)$$

$$Y_P^{AP} = Y_P^{BP} \quad (4)$$

2.7. Для ознайомлення: для визначення координат у прямій кутовій засічці можуть використовуватися такі формули, виведені на базі рівняння прямої:

$$X_P = X_A + \frac{(Y_B - Y_A) - (X_B - X_A) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (5)$$

$$Y_P = Y_A + (X - X_A) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (6)$$

або можна використовувати формули Юнга:

$$X_P = \frac{X_A \cdot \operatorname{Ctg} \beta_2 + X_B \cdot \operatorname{Ctg} \beta_1 - Y_A + Y_B}{\operatorname{Ctg} \beta_1 + \operatorname{Ctg} \beta_2} \quad (7)$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cdot \operatorname{Ctg} \beta_2 + Y_B \cdot \operatorname{Ctg} \beta_1 + X_A - X_B}{\operatorname{Ctg} \beta_1 + \operatorname{Ctg} \beta_2} \quad (8)$$

3. Пряма кутова засічка – графічно.

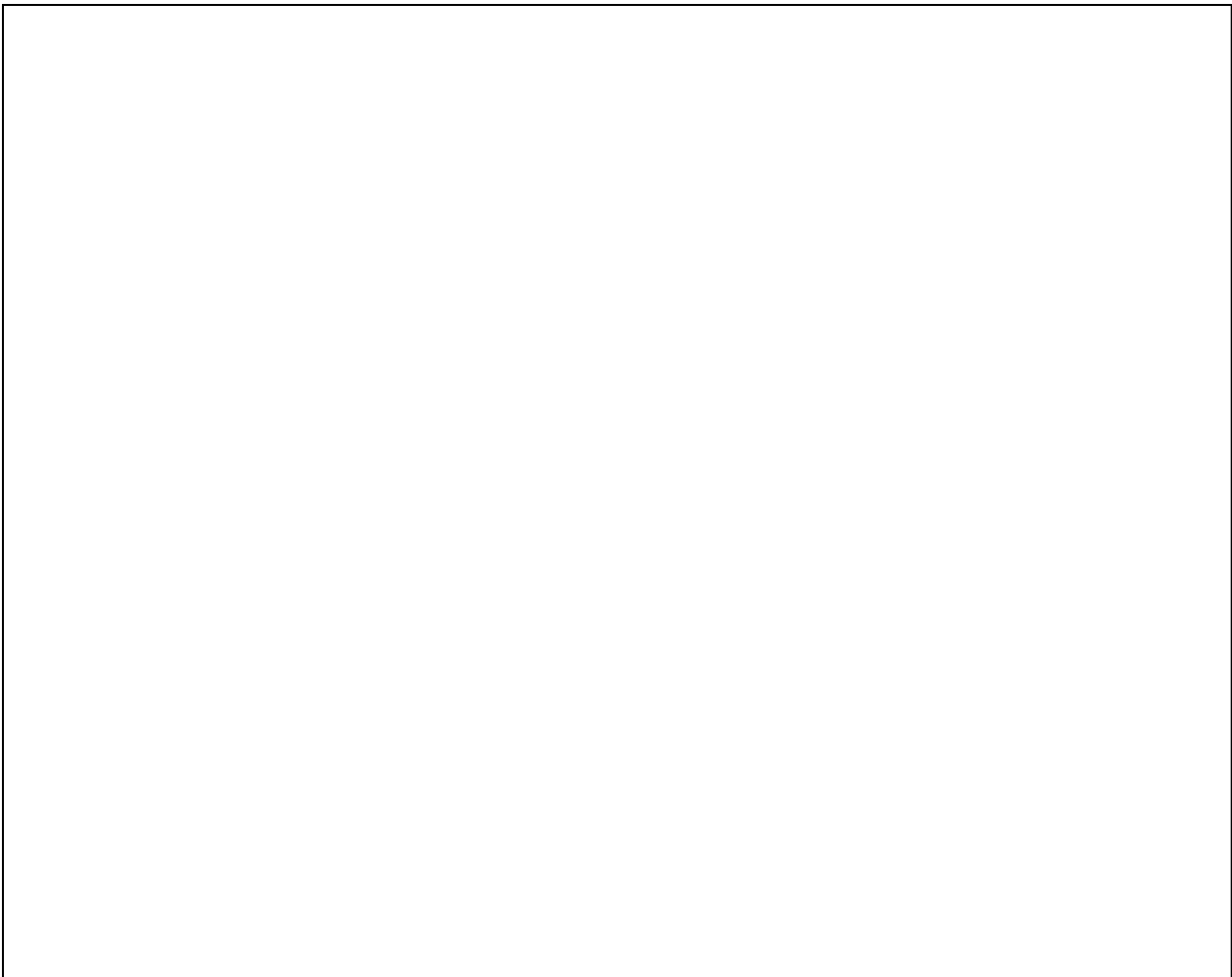
3.1. У роботі буде використано масштаб 1:2 000.

3.2. Сформувати систему координат, де її початок має значення по осі  $X = (X_B - 10)$  м (округлене до 10), а значення по осі  $Y = (Y_B - 10)$  м (округлене до 10). Нанести позначки через 10 м – по осі  $X = (X_A + 10)$  м (округлене до 10), а значення по осі  $Y = (Y_A + 10)$  м (округлене до 10).

3.3. Нанести в системі координат точки  $A(X, Y)$  та  $B(X, Y)$  за координатами.

3.4. За допомогою транспортиру побудувати кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  та провести по них лінії від точки А і точки В відповідно. На перетині ліній графічно відобразиться точка Р.

3.5. Графічно визначити координати точки  $P(X, Y)$ .



## **Частина 2**

*Завдання .*

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Визначити координати точки Р.



3. Зробити висновок про проведену роботу.

*Рекомендації до виконання завдань.*

1. Вихідні дані для вирішення прямої кутової засічки.

Загальний випадок прямої кутової засічки:

1.1. Початкові дані:

$$X_1 = 200 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_1 = 200 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$X_2 = 300 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_2 = 300 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$X_3 = 400 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_3 = 400 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}.$$

1.2. Вимірюються кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  на двох пунктах з відомими координатами, кожен від свого напрямку з відомим дирекційним кутом (рис. 2).

$$\beta_1 = (44 + \#)^\circ + (1,7 \cdot \#)' = \underline{\hspace{10em}}$$

$$\beta_2 = (133 + \#)^\circ + (1,6 \cdot \#)' = \underline{\hspace{10em}}$$

1.3. Визначувані величини: координати точки Р .

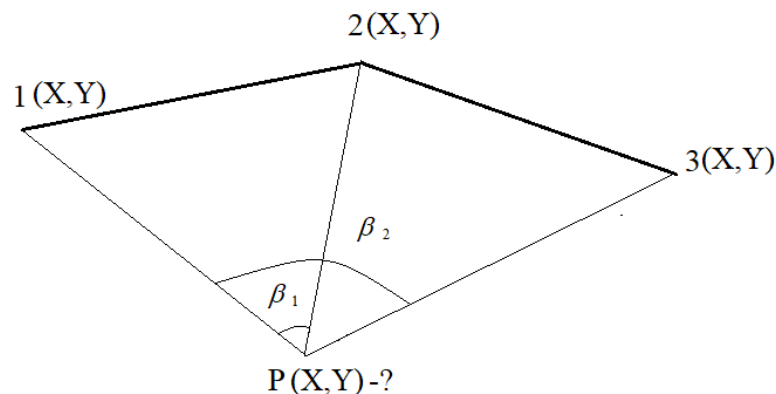


Рисунок 2 – Обернена кутова засічка

## 2. Розрахунок координат точки Р.

### 2.1. Визначаємо дирекційний кут за формулою Деламбера.

$$\operatorname{tg} \alpha_{p1} = \frac{(y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta_1 + (y_1 - y_3) \operatorname{ctg} \beta_2 + (x_3 - x_2)}{(x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta_1 + (x_1 - x_3) \operatorname{ctg} \beta_2 + (y_3 - y_2)} \quad (9)$$

### 2.2. Визначаємо тангенс двох останніх дирекційних кутів:

$$\alpha_{p2} = \alpha_{p1} + \beta_1 \quad (10)$$

$$\alpha_{p3} = \alpha_{p1} + \beta_2 \quad (11)$$

### 2.3. Визначаємо координати точки Р за формулою Гауса:

$$X_p = X_3 + \frac{(X_1 - X_3) \operatorname{tg} \alpha_{p1} - (Y_1 - Y_3)}{\operatorname{tg} \alpha_{p1} - \operatorname{tg} \alpha_{p3}} \quad (12)$$

$$Y_p = Y_3 + (X_p - X_3) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{p3} \quad (13)$$

або

$$X_p = X_1 + \frac{(X_1 - X_3) \operatorname{tg} \alpha_{p3} - (Y_1 - Y_3)}{\operatorname{tg} \alpha_{p1} - \operatorname{tg} \alpha_{p3}} \quad (14)$$

$$Y_p = Y_1 + (X_p - X_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{p1} \quad (15)$$

### 2.4. *Контроль.*

$$\alpha_{p1} = \operatorname{arctg} \left( \frac{Y_1 - Y_p}{X_1 - X_p} \right) \quad (16)$$

### Питання для самоперевірки

1. Що таке засічка?
2. Для чого в геодезії використовується засічка?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 17

### ЛІНІЙНІ І КОМБІНОВАНІ ЗАСІЧКИ

*Мета роботи:* навчитись визначати та вирішувати лінійні засічки.

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

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

*Завдання:*

1. Ознайомитись з вихідними даними.
2. Визначити координати точки Р.
3. Графічне вирішення лінійної засічки для знаходження координат точки Р.
4. Пояснення до вирішення комбінованих засічок.

*Рекомендації до виконання завдань.*

1. Вихідні дані для вирішення прямої кутової засічки

- 1.1. Початкові дані:

$$X_A = 420 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$X_B = 350 + 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_A = 410 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}$$

$$Y_B = 320 - 2 \cdot \# + 0,3 \cdot \# = \underline{\hspace{10em}}.$$

1.2. Вимірюються відстані  $S_1$  та  $S_2$  на двох пунктах з відомими координатами, кожен від свого напрямку з відомим дирекційним кутом (рис. 3).

$$S_1 = 117 + \# + 1,5 \cdot \# = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$S_2 = 108 + \# + 1,6 \cdot \# = \underline{\hspace{2cm}}$$

1.3. Визначувані величини: координати точки Р .

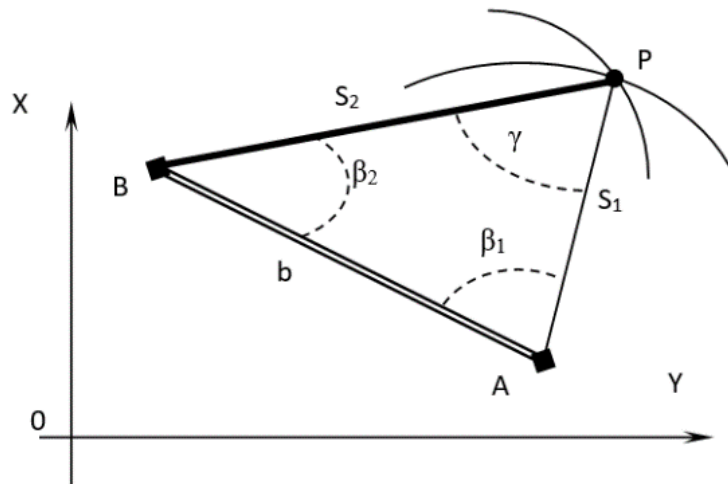


Рисунок 3 – Обернена кутова засічка

2. Визначення координат точки Р – аналітично.

2.1. Обчислюють кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  шляхом розв'язання трикутника АВР за теоремою косинусів:

$$S_2^2 = b^2 + S_1^2 - 2 \cdot b \cdot S_1 \cdot \cos \beta_1$$

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{S_2^2 - b^2 - S_1^2}{-2 \cdot b \cdot S_1}\right) \quad (17)$$

$$S_1^2 = b^2 + S_2^2 - 2 \cdot b \cdot S_2 \cdot \cos \beta_2$$

$$\beta_2 = \arccos\left(\frac{S_1^2 - b^2 - S_2^2}{-2 \cdot b \cdot S_2}\right) \quad (18)$$

2.2. Обчислюють кут  $\gamma$  цього ж трикутника:

$$\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2). \quad (19)$$

2.3. Із розв'язання зворотної геодезичної задачі між точками А і В визначають дирекційний кут  $\alpha_{AB}$  лінії АВ та ВА.

$$r_{BA} = \arctg\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right). \quad (20)$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} \pm 180^0. \quad (21)$$

2.4. Обчислюють дирекційні кути сторін АР і ВР (перед виконанням цього пункту графічно знайти положення точки Р – пункт 3):

– точка Р праворуч від лінії АВ:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta_1, \quad (22)$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} - \beta_2. \quad (23)$$

– точка Р ліворуч від лінії АВ:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_1, \quad (24)$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} + \beta_2. \quad (25)$$

2.5. Розв'язують прямі геодезичні задачі:

– з пункту А на точку Р:

$$X = X_A + S_1 \cdot \cos \alpha_{AP}, \quad (26)$$

$$Y = Y_A + S_1 \cdot \sin \alpha_{AP} \quad (27)$$

– з пункту В на точку Р:

$$X = X_B + S_2 \cdot \cos \alpha_{BP} \quad (28)$$

$$Y = Y_B + S_2 \cdot \sin \alpha_{BP} \quad (29)$$

6. **Контроль:** розбіжність координат  $X$  та  $Y$  у двох рішеннях не повинна перевищувати 0,02 м.

7. Похибку положення точки  $P$  обчислюють за формулою:

$$M_P = \frac{\sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2}}{\sin \gamma}, \quad (30)$$

де  $m_{s_1}, m_{s_2}$  – середньоквадратичні похибки вимірювання відповідних відстаней,

$\gamma$  – кут засічки.

3. Лінійна засічка – графічно.

3.1. У роботі буде використано масштаб  $1:2\ 000$ .

1 мм на плані дорівнює \_\_\_ м на місцевості.

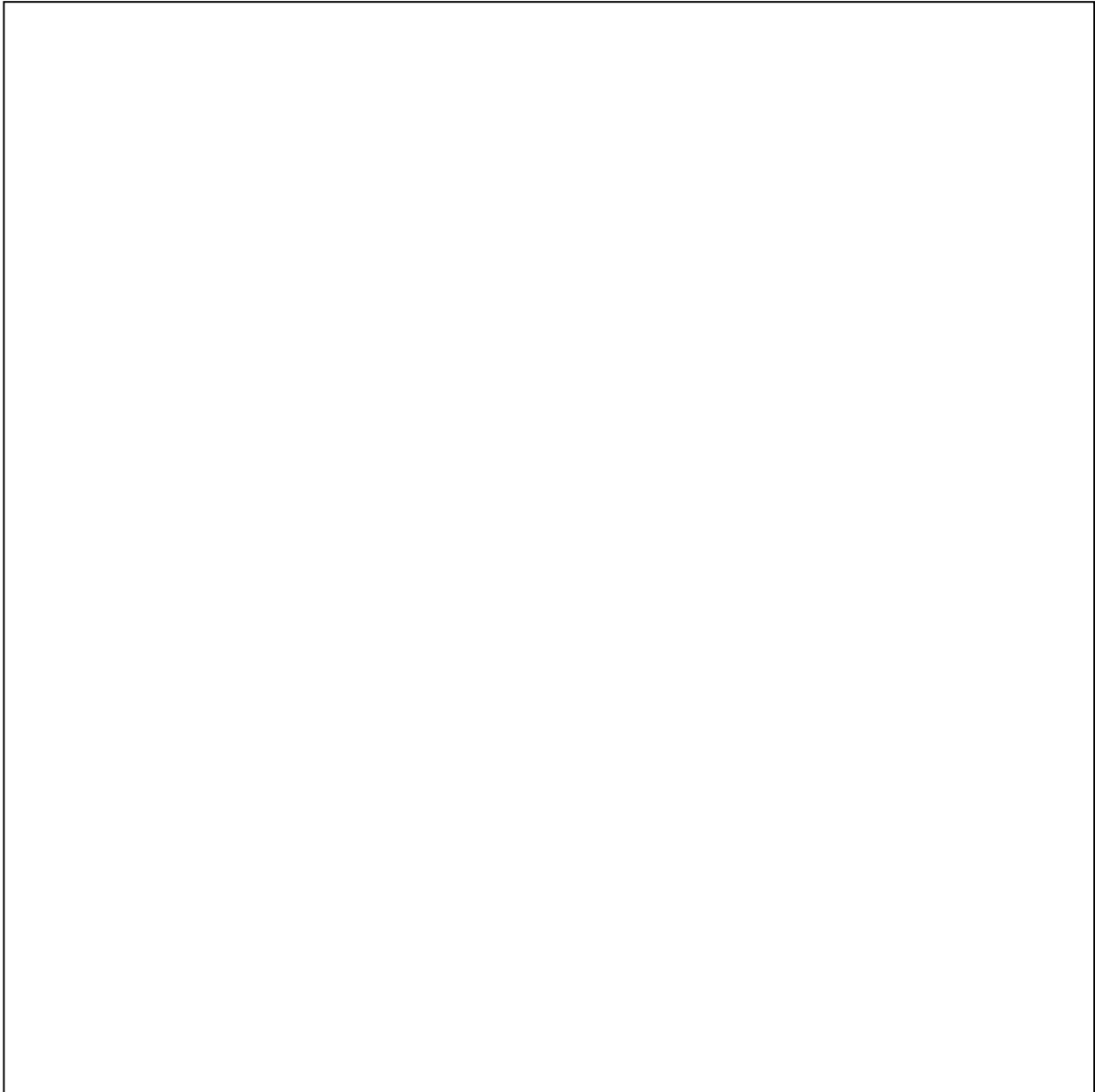
3 м на місцевості дорівнює \_\_\_ мм на плані.

3.2. Сформувати систему координат, де її початок має значення по осі  $X = (X_B - 10)$  м (округлене до 10), а значення по осі  $Y = (Y_B - 10)$  м (округлене до 10). Нанести позначки через 10 м – по осі  $X = (X_A + 10)$  м (округлене до 10), а значення по осі  $Y = (Y_A + 10)$  м (округлене до 10).

3.3. Нанести в системі координат точки  $A(X, Y)$  та  $B(X, Y)$  за координатами.

3.4. За допомогою циркуля відкласти лінії  $AP$  та  $AB$  у масштабі, зробивши циркулем в межах положення точки  $P$  штрихи – ці штрихи від двох ліній повинні перетинатись. Точка перетину цих штрихів і буде положенням точки  $P$ .

3.5. Графічно визначити координати точки  $P(X, Y)$ .



#### 4. Комбінована засічка.

У розглянутих способах рішення засічок кількість вимірювань приймалася теоретично мінімальною (два вимірювання). Вона забезпечує отримання результату, але при цьому немає контролю правильності вимірювань.

На практиці для знаходження координат  $i$  однієї точки, як правило, виконують не два, а три і більше вимірювань. У цьому випадку з'являється можливість контролю вимірювань  $i$ , крім того, підвищується точність рішення задачі. Кожне вимірювання, що вводиться в задачу понад теоретично мінімальну кількість, називають надлишковим. Воно створює одне додаткове рішення.

Геодезичні засічки без надлишкових вимірювань прийнято називати *одноразовими*.

Засічки з надлишковими вимірюваннями називають *багаторазовими*.

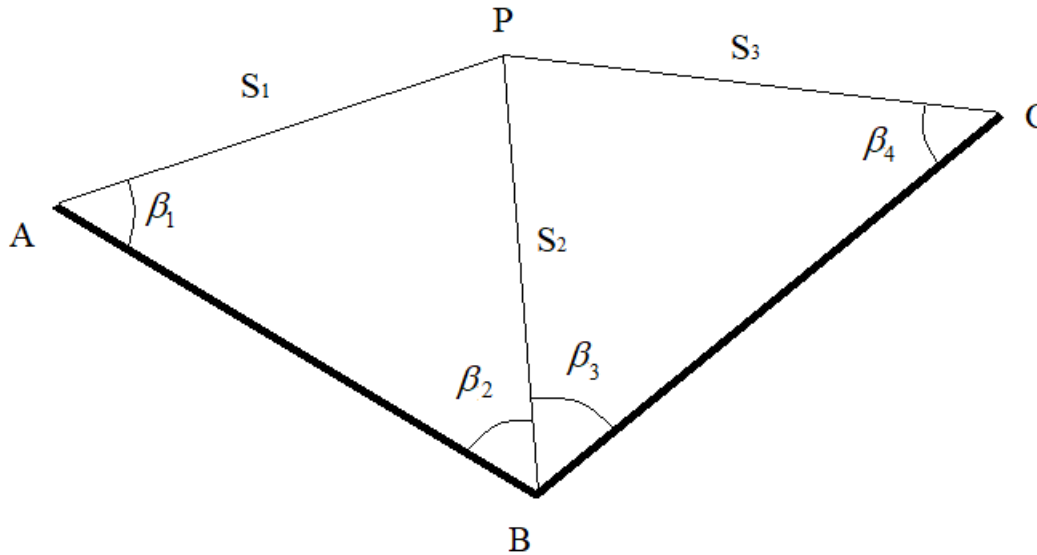


Рисунок 4 – Багаторазова (комбінована) засічка

Наявність надмірних вимірювань дозволяє виконати їх математичну обробку – зрівнювання. Чітке зрівнювання вимірювань у різних геодезичних побудовах виконується на відповідному програмному забезпеченні;

Для ручного обчислення звичайно застосовують нестрогі (спрощені) способи зрівнювання.

Спрощений спосіб зрівнювання якої-небудь багатократної засічки (вимірювань) передбачає:

а) формування і рішення всіх можливих варіантів незалежних одноразових засічок (їх число рівне);

б) обчислення середніх значень координат точки зі всіх одержаних результатів, якщо вони розрізняються між собою на допустиму величину.

### Питання для самоперевірки

1. Що таке лінійна засічка?
2. Що таке комбінована засічка?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 18

### ТЕХНІЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

*Мета роботи:* навчитись виконувати польові і камеральні роботи з технічного нівелювання у розімкнутому і замкнутому ходах, робити врівноваження систем ходів висотної знімальної основи.

*Обладнання:* нівелір, нівелірна рейка, штатив, олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

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

#### *Частина 1*

*Завдання:*

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

*Рекомендації до виконання завдань.*

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

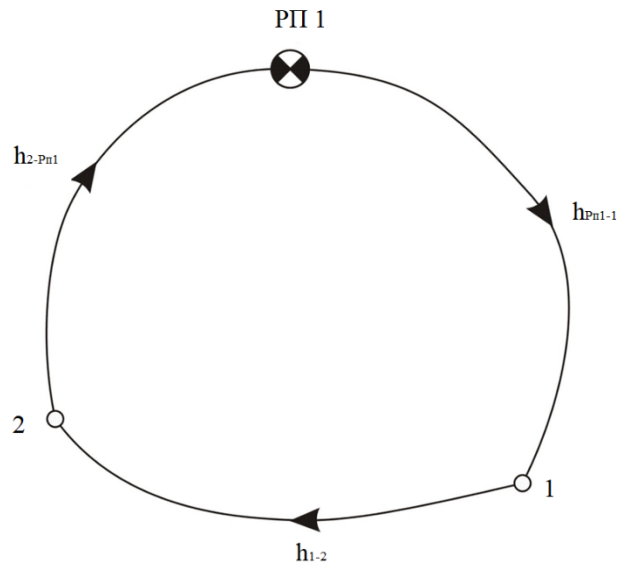


Рисунок 5 – Схема замкнутого нівелірного ходу

Таблиця 1 – Результати польових вимірювань. Вихідні дані

Номер станції	Номер точки (ходу) нівелювання	Відліки з рейок			Висота точки
		задня	передня	проміжна	
	РП1	1028+#			245,312+2·#
		6153+#			
	1		908+#		
			6037+#		
	1	1384+#			
		6169+#			
	2		1671+#		
			6456+#		
	2	1854+#			
		6638+#		2372	
	РП1		1689+#		
			6475+#		

Таблиця 2 – Відомість обчислення висот замкнутого нівелірного ходу

Номер станції	Номер нівелювання	L, м	Відліки з рейок			Перевищення, мм	Середнє перевищення, мм		Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
			задня	передня	проміжна					
1	2		3	4	5	6	7	8	9	
1	Рп 1									
		156,2								
	1									
2	1									
		114,1								
	2									
3	2									
		154,2								
	Рп 1									
		424,5								
			$\Sigma Z$	$\Sigma П$		$\Sigma 2h$	$\Sigma h_{сер}$	$\Sigma h_{вун}$		

## 2. Обробка результатів польових вимірювань.

2.1. Записавши в журналі відліки ( $Z$ ), ( $\Pi$ ), обчислюють («п'ятки») (для чого від відліку з червоного боку рейки віднімають відлік з чорного боку цієї ж рейки:

$$(\Pi'ятка) = (Z_{чер}) - (Z_{чор}) \quad (31)$$

$$(\Pi'ятка) = (\Pi_{чер}) - (\Pi_{чор}) \quad (32)$$

Значення «п'ятки» має залишатись постійним і коливатись в межах до 5 мм, що контролює правильність зняття відліків з рейок.

2.2. Значення перевищень  $h$  між зв'язуючими точками обчислюють як різницю відліків за задньою і передньою рейками з чорних і червоних боків, тобто:

$$h_{чор} = (Z) - (\Pi) \quad (33)$$

$$h_{чер} = (Z) - (\Pi) \quad (34)$$

Якщо розбіжність між перевищеннями не більша за  $\pm 5$  мм, то обчислюють їх середнє значення, яке заокруглюють до цілого числа міліметрів (9). Якщо значення перевищень або «п'яток» відрізняються більше як на  $\pm 5$  мм, то всі записи в журналі закреслюють, а вимірювання повторюють. На наступній станції вимірювання, записи і їх контроль виконують у такій самій послідовності.

2.3. Знаходять середнє значення перевищень :

$$h_{ср} = (h_{чор} + h_{чер})/2 \quad (35)$$

Після цього виконують посторінковий контроль та врівноважування нівелірного ходу, як описано в питанні 1 лабораторної роботи 6.

2.4. Виконують **посторінковий контроль** обчислень у журналі технічного нівелювання. Для цього на кожній сторінці журналу знаходять

наступні суми:  $\Sigma Z$  – сума відліків за задньою рейкою;  $\Sigma П$  – сума відліків за передньою рейкою;  $\Sigma 2h$  – сума перевищень за чорними і червоними боками;  $\Sigma h_{сер}$  – сума середніх перевищень. Якщо обчислення виконані правильно, то повинні задовольнятися рівності:

$$\begin{aligned}\Sigma Z - \Sigma П &= \Sigma 2h; \\ \frac{1}{2} \Sigma 2h &= \Sigma h_{сер}.\end{aligned}\tag{36}$$

Розбіжність допускається на 1–2 мм за рахунок округлень.

2.5. При обчисленні середніх перевищень обчислюють суму вимірних перевищень між зв'язуючими точками ходу за формулою:

$$\Sigma h_{вим} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i,\tag{37}$$

де  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_i$  – вимірні перевищення між зв'язуючими точками;

2.6. Обчислюють теоретичну суму перевищень у ході, коли нівелірний хід замкнений формулою:

$$\Sigma h_{теор} = H_K - H_{П} = 0;\tag{38}$$

2.7. Знаходять нев'язку в нівелірному ході за формулою:

$$f_h = \Sigma h_{вим} - \Sigma h_{теор};\tag{39}$$

2.8. Обчислюють допустиму нев'язку в довгому нівелірному ході технічного нівелювання за формулою (при кількості станцій більше 15 на 1 км):

$$f_{h\ доп} = \pm 50\text{мм}\sqrt{L},\tag{40}$$

2.9. Обчислюють *допустиму нев'язку* в нівелірному ході технічного нівелювання з багатьма точками за формулою (при кількості станцій менше 15 на 1 км):

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 5\sqrt{n}, \quad (41)$$

де  $L$  – довжина ходу в км;

2.10. Перевіряють, чи виконується нерівність:

$$f_h \leq f_{h \text{ доп}}. \quad (42)$$

Виконання умови (42) означає, що вимірювання виконані з достатньою точністю і нівелірний хід можна урівнювати. У протилежному випадку необхідно перевірити всі обчислення і в разі потреби виконати повторні вимірювання;

2.11. Урівнювання перевищень полягає в розподіленні отриманої нев'язки з протилежним знаком порівну у кожне виміряне перевищення. Ця величина називається **поправкою**  $g$  і обчислюється за формулою:

$$g_h = -\frac{f_h}{n}, \quad (43)$$

де  $n$  – кількість перевищень у ході.

2.12. Поправки обчислюють з точністю до 1 мм і записують червоним кольором в колонку «середнє перевищення» над значеннями перевищень.

**Контроль:** сума обчислених поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком:

$$\sum g_h = -f_h; \quad (44)$$

2.13. Для того щоб отримати *виправлене перевищення*  $h'$ , необхідно до виміряного перевищення додати поправку, обчислену за формулою (43), тобто:

$$\begin{aligned}
h'_1 &= h_1 + \mathcal{G}_h; \\
h'_2 &= h_2 + \mathcal{G}_h; \\
\dots\dots\dots \\
h'_i &= h_i + \mathcal{G}_h;
\end{aligned}
\tag{45}$$

2.14. виправлені перевищення записують червоним кольором, під значеннями вимірених перевищень. *Контролем* обчислень є виконання рівності:

$$\sum h'_i = \sum h_{теор} . \tag{46}$$

2.15. Обчислюють *висоти передніх зв'язуючих точок* шляхом алгебраїчного складання висоти задньої точки з виправленим перевищенням:

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i,i+1} . \tag{47}$$

Обчислення починають від репера з відомою початковою висотою  $H_{П}$ . *Контролем* обчислень є отримання висоти кінцевого репера ходу  $H_{К}$ .

2.16. Висоти *проміжних точок*, обчислюють через горизонт приладу.

**Горизонт приладу (ГП)** – це віддаль, визначена за прямовисною лінією, від рівневої поверхні до горизонтального променя візування нівеліра, яка обчислюється за формулою:

$$ГП = H_0 + a , \tag{48}$$

де  $H_0$  – висота задньої або передньої зв'язуючої точки на станції;

$a$  – відлік за чорним боком рейки, встановленої на цій точці.

Тоді *висота проміжної точки* обчислюється за формулою:

$$H_{пром} = ГП - c , \tag{49}$$

де  $c$  – відлік за чорним боком рейки, встановленої на проміжній точці.

## Частина 2

*Завдання:*

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

*Рекомендації до виконання завдань.*

Визначити свій варіант згідно зі списком групи. Вихідні дані для проведення камеральних робіт (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати польових вимірювань. Вихідні дані

Номер станції	Номер точки (ходу) нівелювання	Відліки з рейок			Висота точки
		задня	передня	проміжна	
	РП1	1028+#			361,234+#
1		6153-#			
	1		0408+#		
			5537-#		
	1	1671+#			
2		6456-#			
	2		1384+#		
			6169-#		
	2	1854+#			
3		6638-#			
	3		1689+#		
			6475-#		
4	3	2020+#			
		7638-#			
	РП2		1525+#		362,789+#
			7145-#		



Таблиця 4 – Відомість обчислення висот замкнутого нівелірного ходу

Номер станції	Номер нівелювання	L, м	Відліки з рейок			Перевищення, мм	Середнє перевищення, мм		Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
			задня	передня	проміжна					
1	2		3	4	5	6	7	8	9	
1	Рп 1						2			
		156,2								
	1						125			
2	1						2			
		114,1								
	2						167			
3	2						2			
		154,2								
	3						80			
4	3						1			
		190,2								
	Рп 2						44			
			$\Sigma Z$	$\Sigma П$		$\Sigma 2h$	$\Sigma h_{сер}$	$\Sigma h_{вун}$		

### 3. Обробка результатів польових вимірювань (рис. 6).

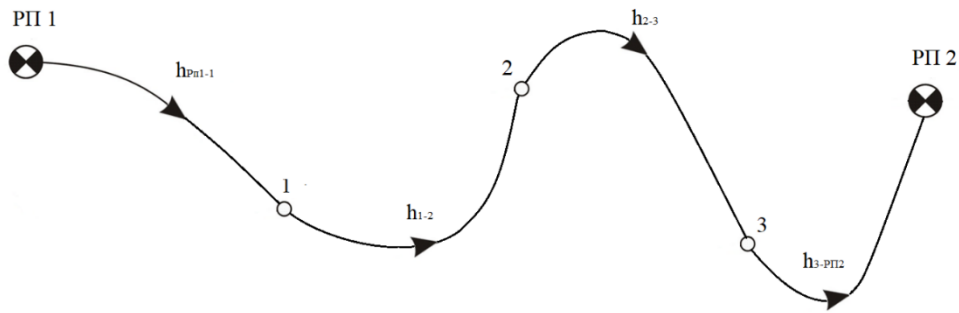


Рисунок 6 – Схема розімкнутого нівелірного ходу

3.1. Записавши в журналі відліки ( $Z$ ), ( $P$ ), обчислюють «п'ятки», для чого від відліку з червоного боку рейки віднімають відлік з чорного боку цієї ж рейки:

$$(P'ятка) = (Z_{чер}) - (Z_{чор}) \quad (50)$$

$$(P'ятка) = (P_{чер}) - (P_{чор}) \quad (51)$$

Значення «п'ятки» повинне залишатись постійним і коливатись у межах до 5 мм, що контролює правильність зняття відліків з рейок.

3.2. Значення перевищень  $h$  між зв'язуючими точками обчислюють як різницю відліків за задньою і передньою рейками з чорних і червоних боків, тобто:

$$h_{чор} = (Z) - (P) \quad (52)$$

$$h_{чер} = (Z) - (P) \quad (53)$$

Якщо розбіжність між перевищеннями не перевищує  $\pm 5$  мм, то обчислюють їхнє середнє значення, яке заокруглюють до цілого числа міліметрів (9). Якщо значення перевищень або «п'яток» відрізняються більше як на  $\pm 5$  мм, то всі записи в журналі закреслюють, а вимірювання повторюють. На наступній станції вимірювання записи і їх контроль виконують у такій самій послідовності.

3.3. Знаходять середнє значення перевищень:

$$h_{cp} = (h_{чор} + h_{чер})/2 \quad (54)$$

Після цього виконують посторінковий контроль та врівноважування нівелірного ходу, як описано в питанні 1 лабораторної роботи 6.

3.4. Виконують **посторінковий контроль** обчислень у журналі технічного нівелювання. Для цього *на кожній сторінці журналу* знаходять такі суми:  $\Sigma Z$  – сума відліків за задньою рейкою;  $\Sigma П$  – сума відліків за передньою рейкою;  $\Sigma 2h$  – сума перевищень за чорними і червоними боками;  $\Sigma h_{сер}$  – сума середніх перевищень. Якщо обчислення виконані правильно, то повинні задовольнятися рівності:

$$\begin{aligned} \Sigma Z - \Sigma П &= \Sigma 2h; \\ \frac{1}{2} \Sigma 2h &= \Sigma h_{сер}. \end{aligned} \quad (55)$$

Розбіжність допускається на 1–2 мм за рахунок округлень.

3.5. При обчисленні середніх перевищень обчислюють *суму вимірних перевищень* між зв'язуючими точками ходу за формулою:

$$\Sigma h_{вим} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i, \quad (56)$$

де  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_i$  – вимірні перевищення між зв'язуючими точками.

3.6. Обчислюють *теоретичну суму перевищень* у ході, коли нівелірний хід розімкнутий, формулою:

$$\Sigma h_{теор} = H_K - H_{П} \quad (57)$$

3.7. Знаходять *нев'язку* в нівелірному ході за формулою:

$$f_h = \Sigma h_{вим} - \Sigma h_{теор} \quad (58)$$

3.8. Обчислюють *допустиму нев'язку* в довгому нівелірному ході технічного нівелювання за формулою (при кількості станцій більше 15 на 1 км):

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} \quad (59)$$

3.9. Обчислюють *допустиму нев'язку* в нівелірному ході технічного нівелювання з багатьма точками за формулою (при кількості станцій менше 15 на 1 км):

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 5 \sqrt{n}, \quad (60)$$

де  $L$  – довжина ходу в км.

3.10. Перевіряють чи виконується нерівність:

$$f_h \leq f_{h \text{ доп}}. \quad (61)$$

Виконання умови означає, що вимірювання виконані з достатньою точністю і нівелірний хід можна урівнювати. У протилежному випадку необхідно перевірити всі обчислення і в разі потреби виконати повторні вимірювання;

3.11. Урівнювання перевищень полягає в розподіленні отриманої нев'язки з протилежним знаком порівну у кожне виміряне перевищення. Ця величина називається **поправкою**  $\mathcal{G}$  і обчислюється за формулою:

$$\mathcal{G}_h = -\frac{f_h}{n}, \quad (62)$$

де  $n$  – кількість перевищень у ході.

3.12. Поправки обчислюють з точністю до 1 мм і записують червоним кольором в колонку «середнє перевищення» над значеннями перевищень.

**Контроль:** сума обчислених поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком:

$$\sum \mathcal{G}_h = -f_h \quad (63)$$

3.13. Для того щоб отримати виправлене перевищення  $h'$ , необхідно до виміряного перевищення додати поправку, обчислену за формулою (62), тобто:

$$\begin{aligned} h'_1 &= h_1 + \mathcal{G}_h; \\ h'_2 &= h_2 + \mathcal{G}_h; \\ &\dots\dots\dots \\ h'_i &= h_i + \mathcal{G}_h; \end{aligned} \quad (64)$$

3.14. Виправлені перевищення записують червоним кольором, під значеннями вимірних перевищень. *Контролем* обчислень є виконання рівності:

$$\sum h'_i = \sum h_{теор} . \quad (65)$$

3.15. Обчислюють висоти передніх зв'язуючих точок шляхом алгебраїчного складання висоти задньої точки з виправленим перевищенням:

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i,i+1} . \quad (66)$$

Обчислення починають від репера з відомою початковою висотою  $H_{II}$ . *Контролем* обчислень є отримання висоти кінцевого репера ходу  $H_K$ .

3.16. Висоти проміжних точок обчислюють через горизонт приладу. **Горизонт приладу (ГП)** – це віддаль, визначена за прямовисною лінією, від рівневої поверхні до горизонтального променя візування нівеліра, яка обчислюється за формулою:

$$ГП = H_0 + a, \quad (67)$$

де  $H_0$  – висота задньої або передньої зв'язуючої точки на станції;

$a$  – відлік за чорним боком рейки, встановленої на цій точці.

Тоді висота проміжної точки обчислюється за формулою:

$$H_{\text{пром}} = ГП - c, \quad (68)$$

де  $c$  – відлік за чорним боком рейки, встановленої на проміжній точці.

### Частина 3

*Завдання.*

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

*Рекомендації до виконання завдань.*

1. Зрівнювання системи нівелірних ходів з одною вузловою точкою виконують в такій послідовності:

1.1. Складають схему нівелірних ходів (рис.7), нумерують ходи і стрілками показують напрями нівелювання.

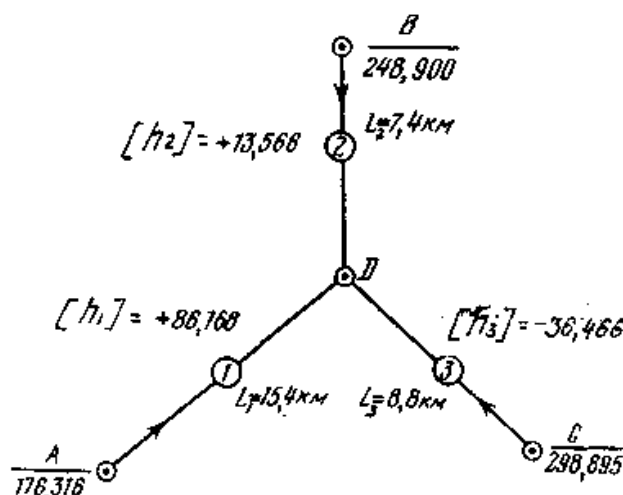


Рисунок 7 – Схема нівелірних ходів з однією вузловою точкою

1.2. На схему виписують суми перевищень по кожному ходу  $[h_1]$ ,  $[h_2]$  і  $[h_3]$ , довжини окремих нівелірних ходів у кілометрах  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  та відмітки вихідних точок  $H_A$ ,  $H_B$  і  $H_C$ .

1.3. Визначають величини нев'язок у перевищеннях по найбільш коротких ходах, включаючи всі перевищення. Наприклад: від точки А до точки В і від точки В до точки С.

Якщо нев'язки не перевищують допуски чинних інструкцій, то зрівнюють ходи.

$$\begin{array}{lll}
 H_A = 176,316 + 2N_m & H_B = 248,900 + 2N_m & H_C = 298,895 + 2N_m \\
 \sum h_i^1 = [h_1] = +86,168_m & \sum h_i^2 = [h_2] = +13,566_m & \sum h_i^3 = [h_3] = -36,466_m \\
 L_1 = 15,4 + N_{км} & L_2 = 7,4 + N_{км} & L_3 = 8,8 + N_{км}
 \end{array}$$

## 2. Процес обробки польових вимірювань

### 2.1. Обчислюють висоти вузлової точки по кожному ходу:

$$\begin{aligned}
 H'_D &= H_A + \sum h_i^1 \\
 H''_D &= H_B + \sum h_i^2 \\
 H'''_D &= H_C + \sum h_i^3
 \end{aligned} \tag{68}$$

і записують їх в графу 2 таблиці 5.

Таблиця 5 – Зрівнювання системи нівелірних ходів з одною вузловою точкою

Показники	H', м	L км	P	ε, мм	εP, мм	ε <sup>2</sup> P	V, мм	PV, мм	PV <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
H <sub>0</sub>									
Σ(εP)/1000Σ(P)									
H <sub>D</sub>									
H <sub>D</sub>		Σ							

2.2. Ваги ліній обчислюють за формулою

$$P = \frac{C}{n}, \quad (69)$$

де  $C$  – постійний коефіцієнт, його беруть кратним 10 і з таким розрахунком, щоб вага лінії, як правило, перебувала в межах від 1 до 10;

$n$  – число штативів у цій лінії. Якщо число штативів на 1 км ходу приблизно однакове для всіх ліній системи, то ваги ліній обчислюють за формулою:

$$P = \frac{C}{L}, \quad (70)$$

де  $L$  – довжина лінії у кілометрах.

Ваги (графа 4) обчислено за даними:

$$P_1 = \frac{10}{L_1}; \quad P_2 = \frac{10}{L_2}; \quad P_3 = \frac{10}{L_3} \quad (71)$$

2.3. Беремо найменше значення  $H_D$  зі всіх ходів та позначаємо його як  $H_0$  (графа 2).

2.4. Знаходимо відхилення значень висоти точок  $H_0$  від висоти точки  $H_D$  всіх ходів (графа 5).

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= H'_D - H_0 \\ \varepsilon_2 &= H''_D - H_0 \\ \varepsilon_3 &= H'''_D - H_0 \end{aligned} \quad (72)$$

Робимо допоміжні розрахунки та записуємо у графу 6 та 7.

2.5. Обчислюють найімовірніше значення відмітки вузлової точки  $D$  два рази, за двома формулами. **Контроль:** результати повинні бути ідентичними (графа 2).



$$H_{д} = \frac{H'_{д}P_1 + H''_{д}P_2 + H'''_{д}P_3}{P_1 + P_2 + P_3} = H_0 + \frac{[\varepsilon P]}{1000[P]} \quad (73)$$

Обчислюють поправки в перевищенні по кожному ходу (графа 8):

$$V_1 = H_{д} - H'_{д}; \quad V_2 = H_{д} - H''_{д}; \quad V_3 = H_{д} - H'''_{д}. \quad (74)$$

Робимо допоміжні розрахунки та записуємо у графу 9 та 10.

2.6. **Контроль.** Точність проміжних вимірювань розраховується за формулою:

$$[PV^2] = [\varepsilon^2 P] - \frac{[\varepsilon P]^2}{[P]} \quad (75)$$

2.7. Виконують оцінку точності. Обчислюють середньоквадратичні помилки:

а) одиниці ваги  $\mu$ :

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV^2]}{n-1}}, \quad (76)$$

де  $n$  – число ходів у системі;

б) середньоквадратичну помилку найімовірнішого значення відмітки  $H_{д}$

$$M = \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} \quad ; \quad (77)$$

в) середньоквадратичну помилку нівелювання на 1 км ходу:

$$m_{км} = \frac{\mu}{\sqrt{C}} \quad (78)$$

2.7. Обчислюють відмітки всіх точок нівелірних ходів.

Для цього кожний хід зрівнюють – як окремий хід між двома твердими реперами. Величини поправок по кожному ходу розподіляють з протилежним знаком пропорційно до довжин секцій у ході.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що таке нівелювання?
2. Які особливості визначення висот точок земної поверхні?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 19

### ТРИГОНОМЕТРИЧНЕ ТА ТАХЕОМЕТРИЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

*Мета роботи:* навчитися виконувати польові і камеральні роботи тригонометричного нівелювання та проводити аналіз точності вимірювань, ознайомитись з методом польових і камеральних робіт теодолітно–тахеометричного нівелювання.

*Обладнання:* теодоліт, штатив, нівелірна рейка, олівець, ластик, кулькові (гелієві) авторучки двох або трьох кольорів.

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

#### *Частина 1*

*Завдання :*

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

*Рекомендації до виконання завдань.*

1. Визначити свій варіант згідно зі списком групи. Вихідні дані для проведення камеральних робіт (табл. 6–7).

1.1. Тригонометричне нівелювання – це визначення перевищення похилим променем візування. Воно виконується за допомогою теодоліта. Для визначення перевищення необхідно виміряти кут нахилу лінії  $v$  та відстань  $D$  (рис. 8). Тригонометричне нівелювання є менш точним, ніж геометричне, але широко

застосовується при топографічних зніманнях місцевості і при вирішенні різних інженерних задач, оскільки дозволяє швидко визначити перевищення довільних точок на значній відстані.

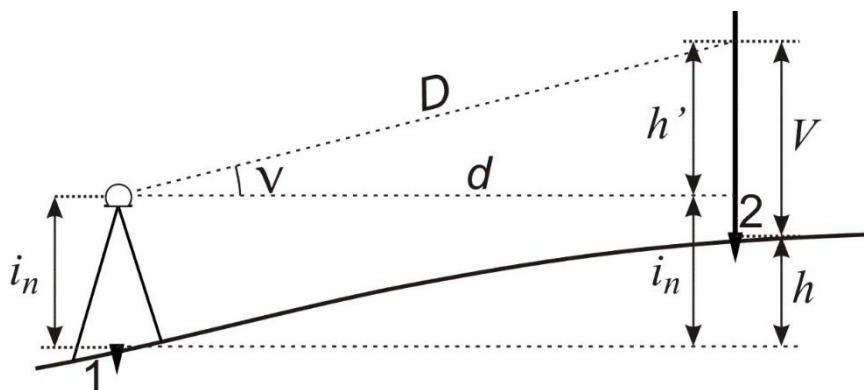


Рисунок 8 – Тригонометричне нівелювання

Таблиця 6 – Вихідні дані для розрахунку МО

Станція	Точка візування	Відліки за ВК		
		(КЛ)	°	'
PP1	1	(КЛ)	3	10+0,1·#
		(КП)	-3	-14+0,1·#
		(КЛ)	5	5+0,1·#
		(КП)	-5	-9+0,1·#

Таблиця 7 – Розрахунок МО

Станція	Точка візування	Відліки за ВК				МО <sub>сер</sub>	
		(КЛ)	°	'	°	'	
PP1	1	(КЛ)					
		(КП)					
		(КЛ)					
		(КП)					

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунків у тригонометричному нівелюванні

Станція	Точка візування	Відліки за ВК		Кут нахилу $v$		$V_{сер}$		Висота приладу $i$ , м	Висота наведення $V$ , мм	Відліки за віддалеміром, мм		Віддаль $D=(\epsilon-n) \times k$ , м	$h' = D \cdot \sin v$	$h = h' + i - V$	Висота станції, м	Висота точки, м
		°	'	°	'	°	'			верх	низ					
РР1	1	(КЛ)	3	10+#	(КЛ-МО)				1,64+0,1#	1028	верх	низ			136,836+#	
		(КП)	-3	-10-#+2МО	(МО-КП)						1028+20·#	1028-20·#				
	2	(КЛ)	7	29+#	(КЛ-МО)				1,74+0,1#	1526	верх	низ				
		(КП)	-7	-29-#+2МО	(МО-КП)						1526+10·#	1526-10·#				
	3	(КЛ)	4	28+#	(КЛ-МО)				1,55+0,1#	2005	верх	низ				
		(КП)	-4	-28-#+2МО	(МО-КП)						2005+15·#	2005-15·#				
	4	(КЛ)	1	22+#	(КЛ-МО)				1,68+0,1#	1985	верх	низ				
		(КП)	-1	-22-#+2МО	(МО-КП)						1985+17·#	1985-17·#				
	5	(КЛ)	2	5+#	(КЛ-МО)				1,71+0,1#	1810	верх	низ				
		(КП)	-2	-5-#+2МО	(МО-КП)						1810+22·#	1810-22·#				

Таблиця 9 – Розрахунки у тригонометричному нівелюванні

Станція	Точка візування	Відліки за ВК		Кут нахилу $\nu$		$V_{сер}$		Висота приладу $i$ , м	Висота наведення $V$ , мм	Відліки за віддалеміром, мм		Віддаль $D=(b-n) \times k$ , м	$h' = D \cdot \sin \nu$	$h = h' + i - V$	Висота станції, м	Висота точки, м
		°	'	°	'	°	'			верх	низ					
PP1	1	(КЛ)			(КЛ–МО)					верх	низ					
		(КП)			(МО–КП)											
	2	(КЛ)			(КЛ–МО)					верх	низ					
		(КП)			(МО–КП)											
	3	(КЛ)			(КЛ–МО)					верх	низ					
		(КП)			(МО–КП)											
	4	(КЛ)			(КЛ–МО)					верх	низ					
		(КП)			(МО–КП)											
	5	(КЛ)			(КЛ–МО)					верх	низ					
		(КП)			(МО–КП)											

## 2. Визначення висот.

2.1. Місце нуля  $MO$  вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта (див. питання 5 лабораторної роботи 9). Зокрема, для теодоліта 2Т30:

$$MO = \frac{KL + KP}{2}. \quad (79)$$

2.2. Вимірювання вертикальних кутів виконують у послідовності, яку проходили на вже проведених заняттях.

Кількість вимірів залежить від мети знімання. У тахеометрії для знімання рейкових точок досить одноразового вимірювання вертикальних кутів при будь-якому положенні вертикального круга (*нівприйом*). Якщо вертикальні кути вимірюються для приведення до горизонту ліній теодолітного ходу, то необхідно визначати вертикальний кут при двох положеннях вертикального круга (*прийом*).

2.3. Нитковий віддалемір становить сітку ниток, на яку нанесені два додаткових віддалемірних штрихи, зверху і знизу симетрично до її центру. Від відстані між ними залежить величина *коефіцієнта віддалеміра*, який використовується для обчислення відстаней.

Для визначення віддалі нитковим віддалеміром встановлюємо прилад (теодоліт, нівелір) над одним кінцем лінії. На іншому – ставимо рейку і знімаємо за нею відліки за верхнім ( $v$ ) і нижнім ( $n$ ) штрихами сітки ниток. Тоді відстань між точками обчислюється за формулами:

– для зорової труби з прямим зображенням:

$$D = (v - n) \times k; \quad (80)$$

– для зорової труби з оберненим зображенням:

$$D = (n - v) \times k, \quad (81)$$

де  $v$  і  $n$  – відліки за верхнім і нижнім віддалемірними штрихами сітки ниток за рейкою;

$k$  – коефіцієнт віддалеміра, який для теодоліта 2Т30 і нівеліра Н–3 дорівнює 100.

Щоб отримати віддаль  $D$  в метрах, відліки  $v$  і  $n$  у формулах (80) та (81) необхідно підставляти також у метрах.

2.4. Як видно з рисунка 8:

$$h + V = h' + i_n, \quad (82)$$

звідки:

$$h = h' + i_n - V, \quad (83)$$

де  $i$  – висота приладу;

$V$  – висота наведення на рейку;

$h'$  та  $h$  – відповідно попереднє та кінцеве перевищення.

Потрібне нам *кінцеве перевищення*  $h$  дорівнюватиме:

– з використанням горизонтального прокладання  $d$ :

$$h = d \times \operatorname{tg} v + i - V; \quad (84)$$

– з використанням похилої віддалі  $D$ , визначеної нитковим віддалеміром:

$$h = D \cdot \sin v + i - V. \quad (85)$$

Формули (84) та (85) можна спростити, якщо середню лінію сітки ниток наводити на висоту приладу  $i$ , тобто  $V=i$ , тоді:

$$h' = d \times \operatorname{tg} v \quad \text{або} \quad h' = D \cdot \sin v \quad (86)$$



Висоти  $H$  рейкових точок обчислюють за формулою:

$$H = H_{cm} + h, \quad (87)$$

де  $H_{cm}$  – висота точки, у якій встановлений теодоліт.

2.5. Горизонтальне прокладання обчислюється на основі віддалемірної віддалі  $D$  та кута нахилу  $\nu$  за формулою (див. питання 2 лабораторної роботи 12):

$$d_i = D_i \times \cos^2 \nu_i. \quad (88)$$

## Частина 2

### Завдання

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

### Рекомендації до виконання завдань.

1. Визначити свій варіант згідно зі списком групи. Вихідні дані для проведення камеральних робіт (табл. 10–11).

1.1. Тригонометричне нівелювання – це визначення перевищення похилим променем візування. Воно виконується за допомогою теодоліта. Для визначення перевищення необхідно виміряти кут нахилу лінії  $\nu$  та відстань  $D$  (рис. 9). Тригонометричне нівелювання є менш точним, ніж геометричне, але широко застосовується при топографічних зніманнях місцевості і при розв'язуванні різних інженерних задач, оскільки дозволяє швидко визначити перевищення довільних точок на значній відстані.

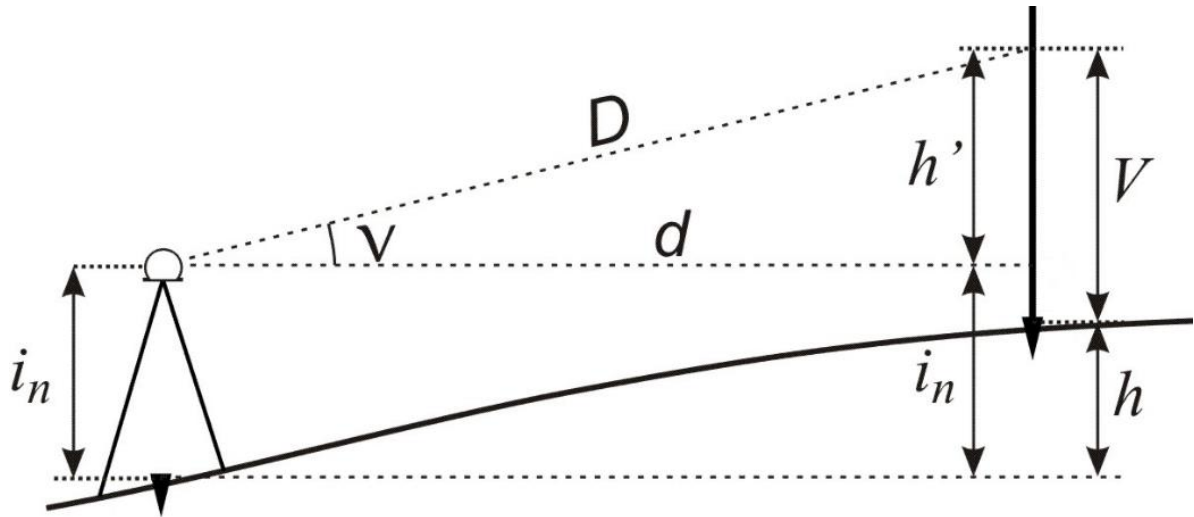


Рисунок 9 – Тригонометричне нівелювання

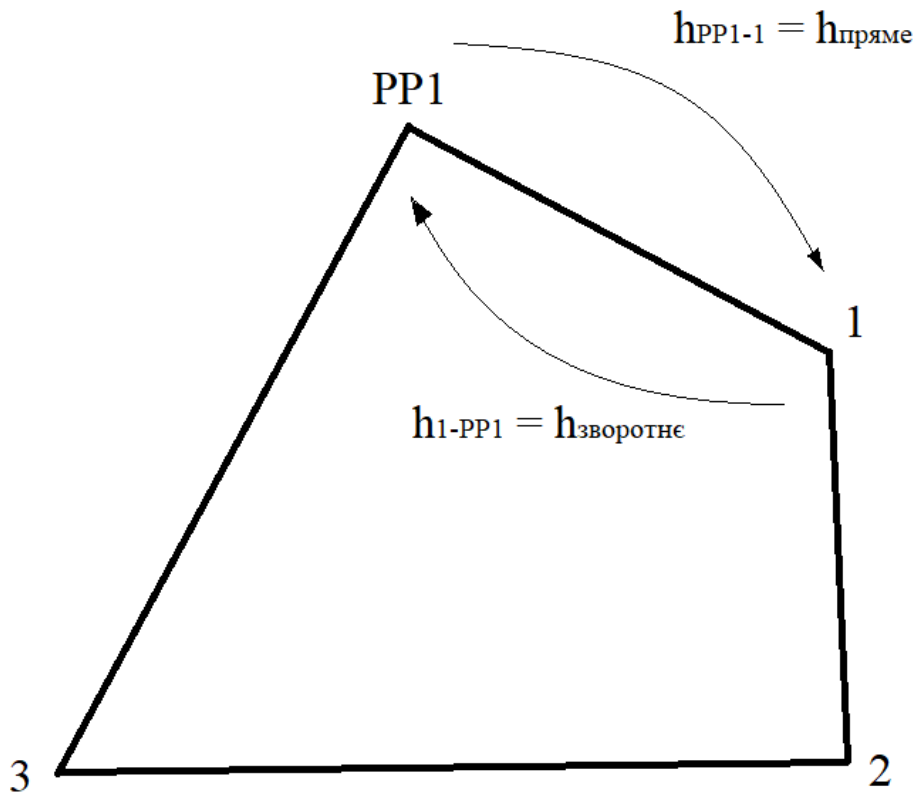


Рисунок 10 – Замкнутий хід тригонометричного нівелювання

Таблиця 10 – Вихідні дані для розрахунків у замкнутому ході тригонометричного нівелювання

Станція	Точка візування	Відлік за КЛ		Кут нахилу $\nu$ , КЛ–МО		Висота приладу $i$ , м	Висота наведення $V$ , мм	Відліки за віддалеміром, мм		Віддаль $D=(b-n) \times k$ , м	$h_{пр}$	$h_{звор}$	$h_{сер}$	Поправки	$h_{випр}$	Висота станції, м
		о	'	о	'			верх	низ							
PP1	3	1	32,8			1,64	2684	2949+#	2419+#				PP1-1			185,326+8·#
	1	0	-34,1				1785	2015+#	1553+#							
1	PP1	0	31,9			1,74	1564	1796+#	1332+#				1-2			
	2	0	-26,8				1325	1845+#	804+#							
2	1	0	29,1			1,55	2025	2546+#	1504+#				2-3			
	3	1	28,1				1895	2235+#	1555+#							
3	2	-1	-18,1			1,68	1546	1878+#	1206+#				3-PP1			
	PP1	0	-45,3				1358	1519+#	986+#							
													$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	HPP1:

Таблиця 11 – Розрахунки у замкнутому ході тригонометричного нівелювання

Станція	Точка візування	Відлік за КЛ		Кут нахилу $v$ , КЛ-МО		Висота приладу $i$ , м	Висота наведення $V$ , мм	Відліки за віддалеміром, мм		Віддаль $D=(v-n) \times k$ , м	$h_{\text{прямє}}$ , мм	$h_{\text{зворотнє}}$ мм	$h_{\text{сер}}$ мм	Поправки, мм	$h'$ (виправлені) мм	Висота станції, м
		°	'	°	'			верх	низ							
PP1	3												PP1-1			
	1															
1	PP1												1-2			
	2															
2	1												2-3			
	3															
3	2												3-PP1			
	PP1															
													$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	HPP1:

## 2. Визначення висот.

2.1. Місце нуля  $MO$  вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта,  $MO = 0^{\circ}00,2'$ .

2.2. Вимірювання вертикальних кутів виконують у послідовності, яку проходили на вже проведених заняттях.

Кількість вимірів залежить від мети знімання. У тахеометрії для знімання рейкових точок досить одноразового вимірювання вертикальних кутів при будь-якому положенні вертикального круга (*півприйом*). Якщо вертикальні кути вимірюють для приведення до горизонту ліній теодолітного ходу, то необхідно визначати вертикальний кут при двох положеннях вертикального круга (*прийом*).

2.3. Нитковий віддалемір становить сітку ниток, на яку нанесені два додаткові віддалемірні штрихи, зверху і знизу симетрично до її центру. Від відстані між ними залежить величина *коефіцієнта віддалеміра*, який використовується для обчислення відстаней.

Для визначення віддалі нитковим віддалеміром встановлюємо прилад (теодоліт, нівелір) над одним кінцем лінії. На іншому – ставимо рейку і знімаємо за нею відліки за верхнім ( $v$ ) і нижнім ( $n$ ) штрихами сітки ниток. Тоді відстань між точками обчислюється за формулами:

– для зорової труби з прямим зображенням:

$$D = (v - n) \times k; \quad (89)$$

– для зорової труби з оберненим зображенням:

$$D = (n - v) \times k, \quad (90)$$

де  $v$  і  $n$  – відліки за верхнім і нижнім віддалемірними штрихами сітки ниток за рейкою;

$k$  – коефіцієнт віддалеміра, який для теодоліта 2Т30 і нівеліра Н–3 дорівнює 100.

2.4. Як видно з рисунка 9, кінцеве перевищення  $h$  дорівнюватиме:

– з використанням горизонтального прокладання  $d$ :

$$h = d \cdot v + i - V; \quad (91)$$

– з використанням похилої віддалі  $D$ , визначеної нитковим віддалеміром:

$$h = D \cdot \sin v + i - V. \quad (92)$$

При знаходженні перевищення у замкнутому тригонометричному ході звертаємо увагу на те, що при його визначенні за напрямком ходу воно називається **прямим**, а при його визначенні в протилежному напрямку ходу воно називається **зворотним** (рис. 10). Пряме і зворотне перевищення відрізняється **знаком**. При визначенні висоти точки ходу за напрямком ходу знаходять середнє перевищення за формулою:

$$h_{\text{сеп}} = \frac{h_{\text{пр}} - h_{\text{звор}}}{2} \quad (93)$$

2.5. Обчислюють *теоретичну суму перевищень* у ході, коли нівелірний хід замкнений, формулою:

$$\sum h_{\text{теор}} = H_K - H_{II} = 0. \quad (94)$$

2.6. Знаходять *нев'язку* в нівелірному ході за формулою:

$$f_h = \sum h_{\text{вим}} - \sum h_{\text{теор}}. \quad (95)$$

2.7. Обчислюють допустиму нев'язку:

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 0,04 \sum D / \sqrt{n} \cdot 1000, \quad (96)$$

де  $L$  – довжина ходу в км.

2.8. Перевіряють, чи виконується нерівність:

$$f_h \leq f_{h \text{ доп}}. \quad (97)$$

Виконання умови означає, що вимірювання проведено з достатньою точністю і нівелірний хід можна урівнювати. У протилежному випадку необхідно перевірити всі обчислення і в разі потреби виконати повторні вимірювання;

2.9. Урівнювання перевищень полягає в розподіленні отриманої нев'язки з протилежним знаком порівну у кожне виміряне перевищення. Ця величина називається **поправкою**  $g$  і обчислюється за формулою:

$$g_h = \frac{-f_h \frac{d_i}{100}}{\sum \frac{d}{100}}, \quad (98)$$

або розподілити порівну між перевищеннями ходу.

2.10. Поправки обчислюють з точністю до  $1 \text{ мм}$  і записують червоним кольором в колонку «середнє перевищення» над значеннями перевищень.

**Контроль:** сума обчислених поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком:

$$\sum g_h = -f_h. \quad (99)$$

2.11. Для того щоб отримати *виправлене перевищення*  $h'$ , необхідно до виміряного перевищення додати поправку, тобто:

$$\begin{aligned} h'_1 &= h_1 + \mathcal{G}_h; \\ h'_2 &= h_2 + \mathcal{G}_h; \\ &\dots\dots\dots \\ h'_i &= h_i + \mathcal{G}_h; \end{aligned} \tag{100}$$

2.12. *Виправлені перевищення* записують червоним кольором, під значеннями виміряних перевищень. *Контролем* обчислень є виконання рівності:

$$\sum h'_i = \sum h_{теор} . \tag{101}$$

2.13. Обчислюють *висоти передніх зв'язуючих точок* шляхом алгебраїчного складання висоти задньої точки з виправленим перевищенням:

$$H_{i+1} = H_i + h'_{i,i+1} . \tag{102}$$

Обчислення починають від репера з відомою початковою висотою  $H_{П}$ . *Контролем* обчислень є отримання висоти кінцевого репера ходу  $H_{К}$ .

### **Питання для самоперевірки**

1. У чому особливість тригонометричного нівелювання?
2. Які особливості визначення висот точок земної поверхні в тригонометричному нівелюванні?



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

«Архітектура» спеціальності «Містобудування») / Д. В. Шаульський ; Харків. нац. акад. міськ. гос-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 55 с.

8. Рева М. П. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезія та землевпорядкування» / М. П. Рева, Ю. В. Орешніков. – Дніпропетровськ, 2011. – 39 с.

9. Панчук Ю. М. Навчальний посібник. Лабораторний практикум з інженерної геодезії / Ю. М. Панчук, О. Є. Янчук. – Рівне, 2010. – 135 с.

*Електронне навчальне видання*

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

**«ГЕОДЕЗІЯ»**  
**Змістовий модуль 5**  
**Методи створення планово-висотного обґрунтування топографічних**  
**знімів**

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

Укладач **КУХАР** Максим Анатолійович

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

План 2021, поз. 517М

---

Підп. до друку 01.04.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 3,1.

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