

**528.48**  
**Ю 941**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Запорізька державна інженерна академія**

---



**А. І. Юхименко**

## **ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ**

**Методичні вказівки**  
**до контрольних та самостійних робіт**

*для студентів ЗДІА*  
*спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"*  
*денної та заочної форм навчання*

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

## **ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ**

**Методичні вказівки  
до контрольних та самостійних робіт**

*для студентів ЗДІА  
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"  
денної та заочної форм навчання*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри ПЦБ,  
протокол № 15 від 04.06.2018р.*

Запоріжжя  
ЗДІА  
2018

УДК 528.48  
Ю 941

*А. І. Юхименко, к.т.н., доцент*

**Відповідальний за випуск:** *зав. кафедри ПЦБ,  
д.т.н., професор І. А. Арутюнян*

**Рецензент:**

**О. І. Федченко, к.т.н., доцент кафедри МБГ, заст. декана ФБЦІ Запорізької державної інженерної академії.**

**Юхименко А. І.**

Ю 941      Інженерна геодезія: методичні вказівки до контрольних та самостійних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" денної та заочної форм навчання / Юхименко А. І.; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – 50 с.

У методичних вказівках розкривається рішення основних практичних задач інженерної геодезії, виконуючи які студент засвоює правила і техніку обчислювальної обробки матеріалів польових вимірювань, порядок і послідовність графічних побудов і оформлення графічних матеріалів, набуває навиків рішення інженерних задач, що зустрічаються в практиці інженерно-геодезичних вишукувань, проектуванні і будівництві, підготовці і використуванні даних для перенесення проектів в натуру.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Контрольна робота № 1. Трасування на карті (плані) осі лінійної споруди і визначення елементів траси .....	5
Розрахунково-графічна робота № 2. Камеральна обробка матеріалів польових вимірювань теодолітної зйомки .....	15
Розрахунково-графічна робота № 3. Камеральна обробка матеріалів вишукувань і проектування за профілем поздовжньої осі автомобільної дороги .....	27
Розрахунково-графічна робота № 4. Камеральна обробка матеріалів нівелювання поверхні по квадратах і проектування вертикального планування.....	41
Список використаної літератури.....	50

## ВСТУП

Мета виконання контрольних робіт – набуття досвіду роботи на топографічних картах (планах), засвоєння правил і техніки обчислювальної обробки матеріалів польових вимірювань, порядок і послідовність графічних побудов і оформлення графічних матеріалів, набуття навиків рішення інженерних задач, що зустрічаються в практиці інженерно-геодезичних вишукувань, проектуванні і будівництві, підготовці і використуванні даних для перенесення проектів в натуру.

Методичні вказівки, що передбачають виконання кожним студентом індивідуального завдання з включенням елементів НДРС, оскільки у ряді випадків при проектуванні виникає необхідність ухвалювати обґрунтовані самостійні рішення, складені з урахуванням вимог навчальної програми, діючих інструкцій і будівельних норм.

## КОНТРОЛЬНА РОБОТА № 1

### ТРАСУВАННЯ НА КАРТІ (ПЛАНІ) ОСІ ЛІНІЙНОЇ СПОРУДИ І ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАСИ

#### 1.1 Зміст роботи

За вихідними даними виконати на топографічній карті (плані) трасування лінійної споруди, розрахунок елементів траси і графічну обробку матеріалів.

Склад і порядок виконання робіт наступний:

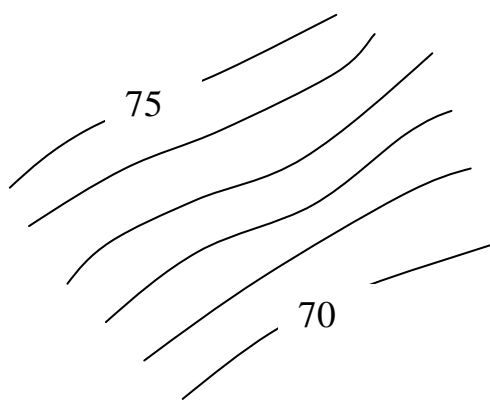
- визначити висоту перерізу рельєфу;
- побудувати масштаб закладань;
- по заданому припустимому ухилу виконати проектування траси (трасування) між початковим і кінцевим її пунктами способом "розхилу циркуля" (напруженим ходом);
- визначити відмітки точок початку, кінця і вершин кутів повороту траси; координат початку, кінця і вершин кутів повороту траси; дирекційні напрями і румби прямих вставок траси; кути повороту траси; довжину прямих вставок траси; ухили прямих вставок траси;
- побудувати профіль траси.

#### 1.2 Вихідні дані

Вихідні дані для виконання завдання:

- ділянка топографічної карти (плану);
- індивідуально задані точки початку (НТ) і кінця (КТ) траси;
- значення абсолютних відміток потовщених горизонталей;
- прямокутні координати південно-західного кута кілометрової сітки;
- гранично допустимі проектні ухили;
- горизонтальний і вертикальний масштаби для побудови профілю місцевості.

#### 1.3 Визначення висоти перерізу рельєфу



**Горизонталі** - це криві лінії, що зображують геометричне місце точок з однаковими висотами.

**Висотою перерізу рельєфу** називають різницю висот двох сусідніх горизонталей. Висоту перерізу  $h$  визначають діленням різниці висот між підписаними горизонталями на кількість перерізів між ними (рис. 1.1.)

$$h = \frac{75 - 70}{5} = 1\text{м.}$$

Рис. 1.1. Визначення висоти перерізу рельєфу

Висоту перерізу рельєфу вказують під південною рамкою плану (карти).

#### 1.4 Побудова масштабу закладань

Відстань між сусідніми горизонталями на карті (плані) називають **закладанням**.

Побудова масштабу закладань виконують для даного масштабу карти (плану) відповідно вирахованій висоті перерізу рельєфу з використанням формули для визначення ухилів:

$$i = \frac{h}{d}, \quad (1.1)$$

де **h** - висота перерізу рельєфу, в м; **d** - закладання, в м.

Придаючи послідовно значення ухилів, можливі на даному листі карти (плану), знаходять відповідні значення **d** в метрах.

На горизонтальній осі  $Oi$  (рис. 1.2.) в довільному масштабі пропорційно величині ухилу відкладають відрізки, підписуючи їх зліва направо в порядку зростання значень. З кінців відрізків будують перпендикуляри і відкладають на них в масштабі карти (плану) величини закладань **d**, визначені за формулою (1.1) відповідно значенням ухилу **i**. Вершини цих перпендикулярів сполучають плавною кривою і одержують графік, який називається **масштабом закладань**.

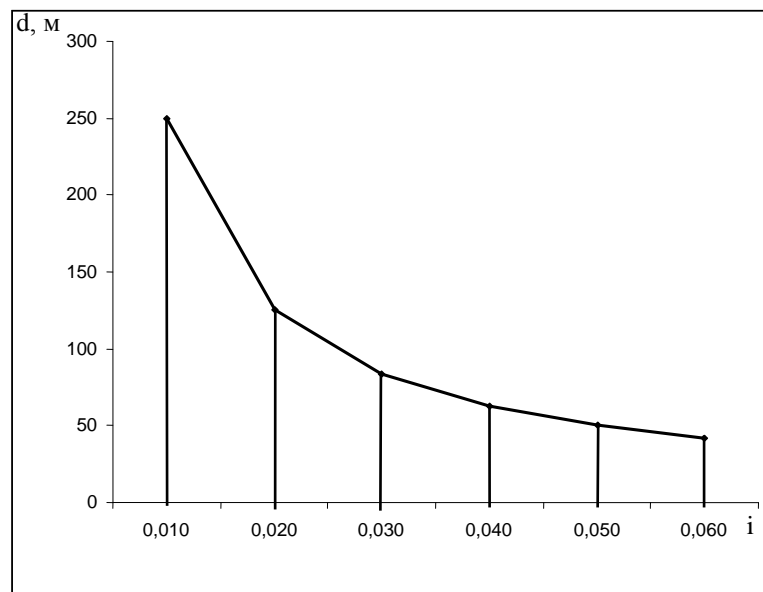


Рис. 1.2. Масштаб закладань

#### 1.5 Визначення відміток точок

**Відміткою** називають числовий вираз висоти точки над рівневою поверхнею. В залежності від вибраної рівневої поверхні відмітки можуть бути **абсолютними** чи **відносними**.

Відмітка точки, розташованої на горизонталі, дорівнює відмітці самої горизонталі. Для визначення відмітки шуканої горизонталі знаходять горизонталь з підписаною відміткою  $H_n$ , відраховують від неї кількість перерізів  $n$ , до шуканої горизонталі, перемножують їх на висоту перерізу рельєфу  $h$  і результат додають до підписаної відмітки або віднімають від неї у залежності від того, вище чи нижче по схилу розташована шукана горизонталь, тобто:

$$H_{ш} = H_n \pm n \cdot h \quad (1.2)$$

Якщо ж точка  $C$  (рис. 1.3.) знаходиться між горизонталями, то через неї проводять пряму  $AB$ , перпендикулярну до цих горизонталей. За допомогою циркуля-вимірювача та масштабної лінійки визначають довжину  $d$  перпендикуляра  $AB$  та його відрізків  $d_1$  та  $d_2$ .

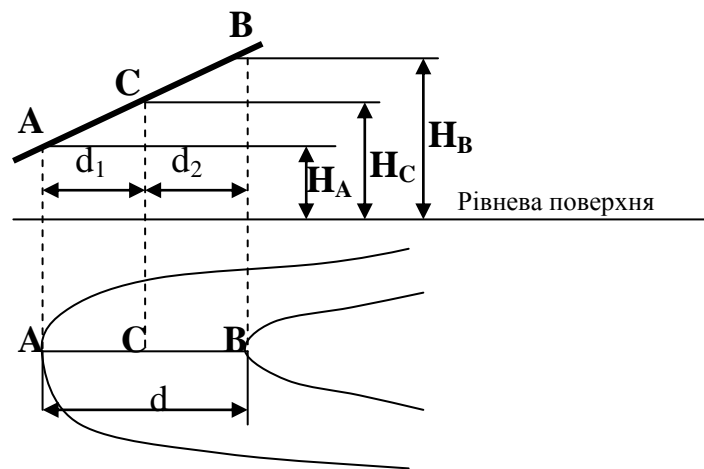


Рис. 1.3. Визначення відмітки точки на топографічному плані (карті)

Відмітку точки  $C$  з урахуванням деформації паперу визначають від обох горизонталей за формулами:

$$H_C = H_A + (H_B - H_A) \cdot \frac{d_1}{d}; \quad (1.3)$$

$$H_C = H_B - (H_B - H_A) \cdot \frac{d_2}{d}.$$

де  $H_A$  та  $H_B$  - відмітки точок  $A$  та  $B$  відповідно.

## 1.6. Трасування

**Трасування** - комплекс робіт по відшукуванню варіанту траси, що дає найбільший економічний ефект.

Проектування напряму лінійної споруди проводять по прямій (або з максимальним наближенням до неї) між відомими пунктами початку і кінця траси.

У рівнинній місцевості, де природний ухил менше допустимого і відхилення траси від прямої визначається тільки контурними перешкодами, трасування ведуть "вільним ходом", способом спроб.



У гірській місцевості, де положення траси визначається головним чином висотними перешкодами (рельєфом), трасування ведуть "напруженим ходом" на топографічній карті (плані) шляхом знаходження в заданому напрямі лінії гранично допустимих для даної категорії споруд ухилів.

Для проведення лінії із заданим ухилом трасування від горизонталі до горизонталі ведуть способом "розхилу циркуля". Коли точка ПТ лежить між горизонталями, виконують перевірку ухилу від неї до найближчої горизонталі 2 по прямій у напрямі лінії ПТ-КТ. Якщо ухил на цій ділянці рівний або менше допустимого, проводять пряму у напрямі точки КТ до перетину з цією горизонталлю. У тому випадку, коли фактичний ухил перевищує заданий, користуючись формулою (1.1), знаходять величину закладання, відповідно граничному ухилу а розхилом циркуля, рівним цьому закладанню, з точки ПТ проводять засічку на найближчій горизонталі (рис. 1.4.), тобто по найкоротшій відстані до точки КТ. При цьому значення  $h$  у формулі (1.1) обчислюють як різницю відміток точки ПТ і найближчої горизонталі.

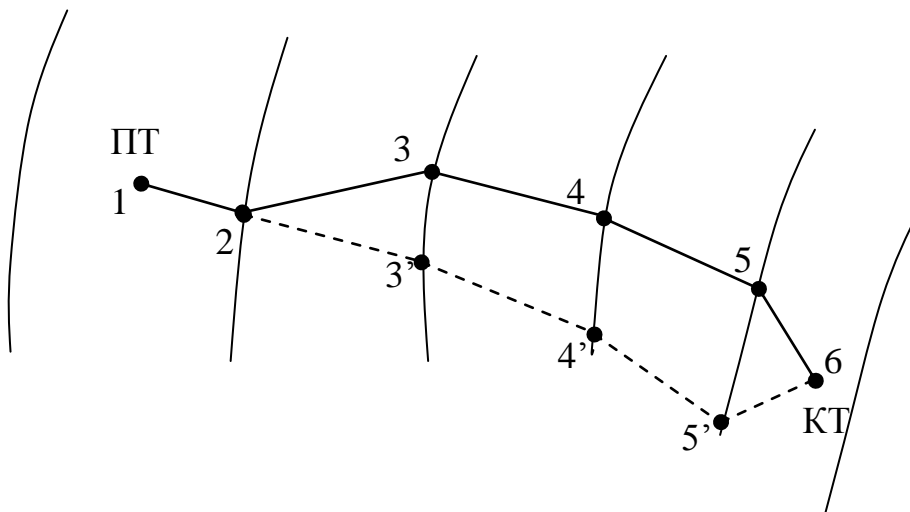


Рис.1.4. Визначення напрямку траси

Надалі від одержаної засічки 2 трасування ведуть способом "розхилу циркуля". Для цього по графіку масштабу закладань встановлюють розхил циркуля, рівний величині закладання відповідно граничному ухилу. Не міняючи розхилу циркуля, одну ніжку його встановлюють на одержану засічку 2 і послідовно проводять засічки на сусідніх горизонталях у напрямі точки КТ, одержуючи точки 3...5 і 3'...5'. Якщо розхил циркуля менше або дорівнює фактичному закладанню між горизонталями, напрям траси проводять по прямій на точку КТ, або по найкоротшій відстані до неї. Якщо точка КТ також лежить між горизонталями, напрям траси на цій ділянці визначають аналогічно діям, описаним при виборі напрямку від точки ПТ.

З одержаних двох і більше варіантів траси вибирають самий економічний, виходячи з умови мінімальної довжини траси, наявності фіксованих точок (природних або штучних перешкод), мінімального об'єму земляних і можливих

додаткових робіт при будівництві траси, а також мінімального відчуження цінних земельних угідь.

### 1.7 Визначення прямокутних координат точок

Для визначення координат точки А (рис. 1.5.) знаходять значення координатних ліній ( $x_1, x_2, y_1, y_2$ ), які утворюють сторони квадрата, в якому знаходиться визначувана точка, і, користуючись вивіреном трикутником, опускають на сторони квадрата з цієї точки А перпендикуляри  $l_x, l_y$ . За допомогою циркуля-вимірювача і поперечного масштабу знаходять їх відповідні довжини на місцевості  $\Delta x$  і  $\Delta y$ . Таким чином координати точки А будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} x_A &= x_1 + \Delta x_1 \\ y_A &= y_1 + \Delta y_1. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Прямокутні координати точки А ( $x_A, y_A$ ) із більшою точністю визначають за формулами:

$$\begin{aligned} x_A &= x_1 + \Delta x_1 \\ y_A &= y_1 + \Delta y_1. \end{aligned} \quad (1.5)$$

При цьому прирощення координат  $\Delta x_1$  і  $\Delta y_1$  визначають з урахуванням лінійної деформації паперу:

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= \Delta x + K_x \cdot \Delta x; \\ \Delta y_1 &= \Delta y + K_y \cdot \Delta y. \end{aligned} \quad (1.6)$$

де  $\Delta x$  і  $\Delta y$  - значення прирощення координат, одержані з безпосередніх вимірювань на топографічному плані (карті), тобто

$$\begin{aligned} \Delta x &= l_x \cdot N; \\ \Delta y &= l_y \cdot N, \end{aligned}$$

$l_x$  та  $l_y$  - довжини перпендикулярів на плані (карті), у см;

$N$  - знаменник чисельного масштабу, в м (км);

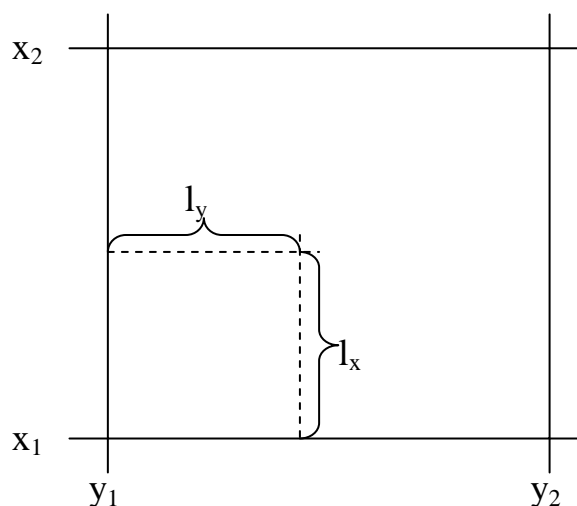


Рис. 1.5. Визначення прямокутних координат точки

$K_x, K_y$  - коефіцієнти деформації паперу, визначувані за формулами (1.7) шляхом старанного виміру довжин ліній координатної сітки (сторін квадрата) по осях  $X$  та  $Y$  ( $l_{x\phi}$  і  $l_{y\phi}$  на рис. 1.6.) та порівняння цих довжин з теоретичними значеннями ( $l_{xT}$  і  $l_{yT}$ ):

$$K_x = \frac{l_{x\phi} - l_{xT}}{l_{xT}}; \quad (1.7)$$

$$K_y = \frac{l_{y\phi} - l_{yT}}{l_{yT}}.$$

Поправки за деформацію слід уводити зі знаками, протилежними отриманим значенням деформацій.

Визначення прирощень координат шляхом автоматичного врахування впливу деформації паперу плану (карти) виконують вимірюванням не однієї, а двох відстаней від ближчих координатних ліній:  $l_{x1}, l_{x2}$  – по осі абсцис;  $l_{y1}, l_{y2}$  - по осі ординат (рис. 1.6.).

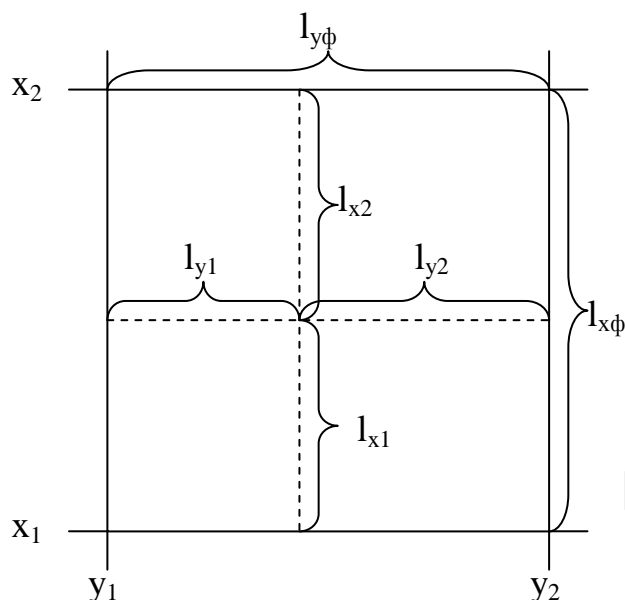


Рис.1.6. Визначення прирощень координат з урахуванням деформації паперу плану (карти)

Тоді прирощення координат обчислюють із контролем від обох найближчих ліній координатної сітки за формулами:

$$\Delta x_1 = \frac{x_2 - x_1}{l_{x1} + l_{x2}} \cdot l_{x1}; \quad \Delta x_2 = \frac{x_2 - x_1}{l_{x1} + l_{x2}} \cdot l_{x2}; \quad (1.8)$$

$$\Delta y_1 = \frac{y_2 - y_1}{l_{y1} + l_{y2}} \cdot l_{y1}; \quad \Delta y_2 = \frac{y_2 - y_1}{l_{y1} + l_{y2}} \cdot l_{y2}.$$

де  $x_2 - x_1$  та  $y_2 - y_1$  - довжини сторін квадрата (на місцевості), у метрах;

$l_{x1}, l_{x2}, l_{y1}, l_{y2}$  - довжини перпендикулярів, виміряні на плані (карті) за допомогою циркуля-вимірювача та масштабної лінійки, у мм (см).

Координати точки **A** визначають від обох найближчих ліній координатної сітки за формулами:

$$\begin{aligned} x_A &= x_1 + \Delta x_1 = x_2 - \Delta x_2; \\ y_A &= y_1 + \Delta y_1 = y_2 - \Delta y_2. \end{aligned} \quad (1.9)$$

При виконанні завдання координати двох-трьох вершин кутів повороту визначають шляхом вирішення прямої геодезичної задачі:

$$\begin{aligned} \Delta X &= d \cdot \cos \alpha, \\ \Delta Y &= d \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1.10)$$

### 1.8 Визначення дирекційних напрямків і румбів прямих вставок траси

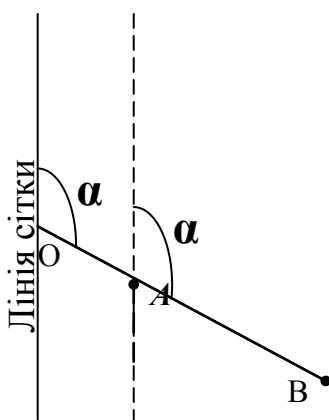


Рис. 1.7. Визначення дирекційного кута лінії на топографічній карті

**Дирекційним кутом  $\alpha$**  називають горизонтальний кут, який відраховується за ходом годинникової стрілки від північного напрямку осевого меридіану чи лінії, паралельній йому, до напрямку заданої лінії.

**Румбом  $r$**  називають горизонтальний гострий кут між найближчим (північним чи південним) напрямком меридіану і напрямком даної лінії.

Дирекційні кути на карті визначають графічним способом відносно вертикальної лінії кілометрової сітки, паралельної осевому меридіану, або вирішенням зворотної геодезичної задачі.

Для визначення дирекційного кута лінії АВ (рис.1.7.) продовжують цю лінію до перетину її із найближчою вертикальною лінією кілометрової сітки або через початкову точку лінії проводять пряму, паралельну вертикальній лінії сітки.

Потім, приклавши до точки перетину **O** або до початкової точки **A** нуль геодезичного транспортира і, сумістивши його нульовий діаметр відповідно із кілометровою лінією чи паралельною до неї лінією, відраховують за ходом годинникової стрілки кут  $\alpha$  від північного напрямку цих ліній.

У виміряне значення дирекційного кута  $\alpha$  вводять поправку  $\Delta\alpha$  із зворотним знаком за величину кутової деформації паперу, що визначається за формулою:

$$\Delta\alpha = \frac{\sin 2\alpha}{2} \cdot \rho \cdot (K_y - K_x), \quad (1.11)$$

де  $\rho$  - значення радіана в тій кутовій мірі, в якій вираховують  $\Delta\alpha$  (як правило, в хвилинах чи секундах)  $\rho=206265''$ ;

$K_y, K_x$  - коефіцієнти деформації паперу, вираховані за формулою (1.7).

Румб заданої лінії визначають в залежності від значення дирекційного кута та чверті, в яку ця лінія напрямлена, за табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність між дирекційними кутами та румбами

Значення дирекційних кутів $\alpha$	Номер чверті	Назва румбів	Залежність між дирекційними кутами і румбами
$0^{\circ} \dots 90^{\circ}$	I	ПнС	$r = \alpha$
$90^{\circ} \dots 180^{\circ}$	II	ПдС	$r = 180^{\circ} - \alpha$
$180^{\circ} \dots 270^{\circ}$	III	ПдЗ	$r = \alpha - 180^{\circ}$
$270^{\circ} \dots 360^{\circ}$	IV	ПнЗ	$r = 360^{\circ} - \alpha$

Дирекційні кути і румби двох-трьох прямих вставок траси знаходять аналітично шляхом вирішення зворотної геодезичної задачі із використанням раніше знайдених координат точок А і В:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}. \quad (1.12)$$

### 1.9 Визначення кутів повороту траси

**Кут повороту траси  $\varphi$**  (рис. 1.8.) – це кут між продовженням попередньої і наступною після вершини повороту прямою вставкою траси.

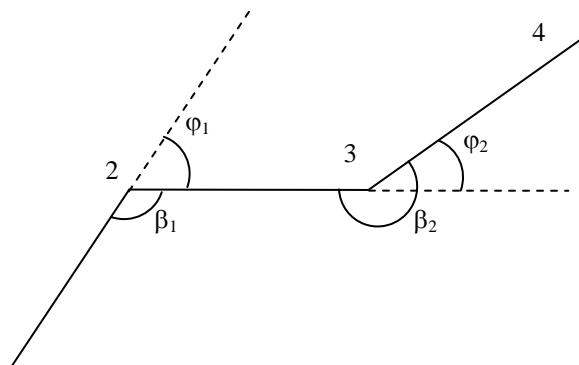


Рис. 1.8. Визначення кутів повороту траси

Два-три кути необхідно визначити графічним, а решту – аналітичним способом.

При графічному способі проводять безпосереднє вимірювання за допомогою геодезичного транспортира кутів  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  або кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  при вершині повороту й в подальшому обчислюють кути повороту за формулою

$$\varphi_1 = 180^{\circ} - \beta_1, \quad (1.13)$$

якщо значення кутів при вершині повороту менше  $180^{\circ}$ , та за формулою

$$\varphi_2 = \beta_2 - 180^\circ, \quad (1.14)$$

якщо значення кутів при вершині повороту більше  $180^\circ$ .

### 1.10 Визначення довжини лінії

Довжину ліній на планах (картах) в залежності від необхідної точності визначають із допомогою циркуля - вимірника, масштабної лінійки, графіків лінійного і поперечного масштабів.

При користуванні лінійкою виміряну відстань на плані (карті)  $l$  в сантиметрах перемножують на число метрів  $N$  в одному сантиметрі відповідного масштабу плану (карти) і одержують шукану відстань  $d_\phi$  в метрах на місцевості.

$$d_\phi = l \cdot N \quad (1.15)$$

При користуванні графіками лінійного чи поперечного масштабів їх попередньо оцифровують для відповідного масштабу в метрах на місцевості і по розхилу циркуля, рівного довжині лінії на плані (карті), визначають шукану відстань  $d_\phi$  на місцевості.

При графічному способі визначення довжини ліній у виміряне значення її  $d_\phi$  вводять поправку  $\Delta d$  із зворотним знаком за лінійну деформацію паперу:

$$d = d_\phi - \Delta d, \quad (1.16)$$

$$\Delta d = d_\phi \cdot K_d, \quad (1.17)$$

де  $K_d$  - коефіцієнт деформації:

$$K_d = K_x \cdot \cos^2 \alpha + K_y \cdot \sin^2 \alpha, \quad (1.18)$$

$K_x, K_y$  - ті ж коефіцієнти, що і в формулі (1.7)

При відомих координатах початкової і кінцевої точок відрізка його довжину можна визначити аналітичним способом шляхом розв'язання зворотної геодезичної задачі:

$$d = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} \quad (1.19)$$

### 1.11 Визначення ухилів ліній

Ухили ліній визначають за формулою ухилів (1.1) як різницю відміток початкової та кінцевої точок, поділену на закладання.

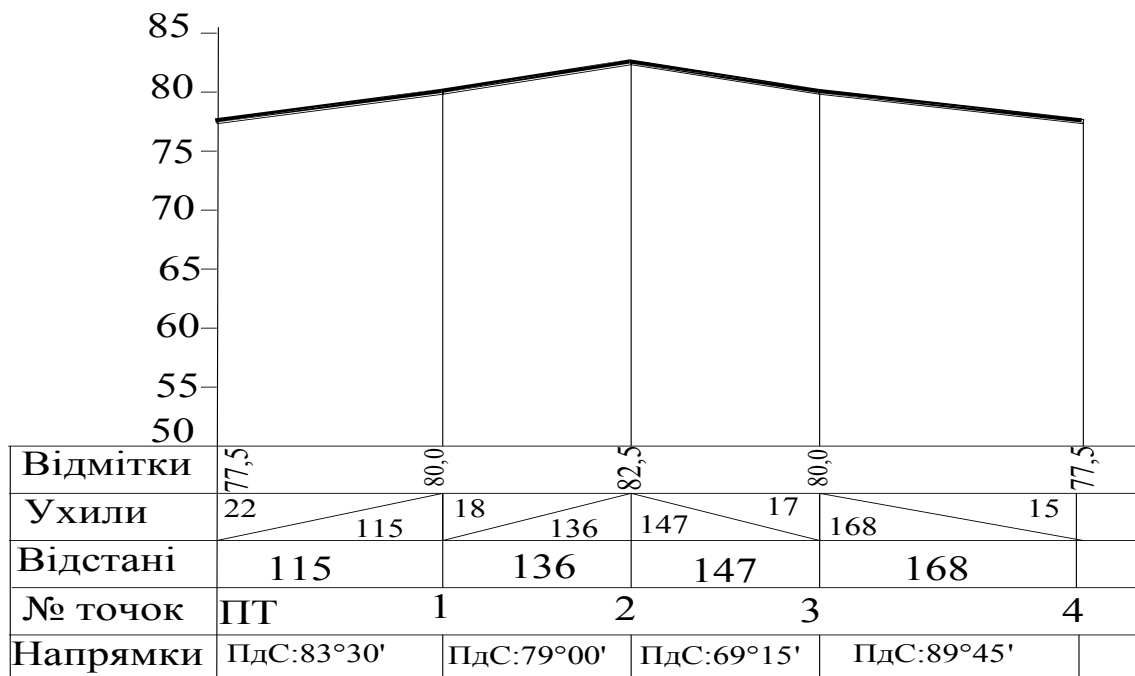
У тих випадках, коли кінцеві точки лінії лежать на сусідніх горизонталях, її ухил можна визначити, користуючись графіком масштабу закладань (рис.1.2). Для цього розхилом циркуля з плану (карти) знімають його розмір, нижню ніжку циркуля установлюють на основу масштабу закладань (рис.1.2.) та переміщують вздовж основи доти, доки верхня ніжка не стане на кривій. У цьому місці по основі знімають значення ухилу лінії. При переміщенні циркуля треба слідкувати, щоб верхня та нижня ніжки знаходилися на одному перпендикулярі до основи.

## 1.12 Побудова профілю траси

**Профілем** називають вертикальний розріз земної поверхні у заданому напрямку. На основі відомого значення довжини траси, відміток поверхні землі, горизонтального і вертикального масштабів профілю визначають розмір листа та будують на ньому профільну сітку відповідно до вимог рис. 1.9. За заданим напрямком траси нумерують точки перетину ліній з горизонталями і характерними лініями рельєфу - тальвегом та вододілом (рис. 1.4.).

У графу відстаней профільної сітки у заданому масштабі переносять з карти довжини відповідних відрізків між пронумерованими точками (рис. 1.9.).

Якщо горизонтальний масштаб профілю та масштаб плану (карти) однакові, трасу по точках перетину лінії з горизонталями спочатку переносять на смужку паперу, а потім, приклавши смужку до графі відстаней, трасу переносять на профіль.



Масштаби: горизонтальний 1:5000  
вертикальний 1:500

Рис. 1.9. Профіль траси

Вертикальний масштаб на профілі повинен бути в 10 разів більшим від горизонтального.

У графу відміток записують висоти відповідних точок, які обчислюють відповідно п. 1.3. Відмітку **умовного горизонту** (верхньої лінії профільної сітки) вибирають із таким розрахунком, щоб вона була кратною 10 м, а найнижча точка профілю знаходилася на відстані від лінії умовного горизонту в межах 4-8 см. Цю відмітку записують на лінії умовного горизонту. Від лінії умовного

горизонту будують шкалу висот і оцифровують її через 1 см у прийнятому вертикальному масштабі.

Над усіма перенесеними точками від лінії умовного горизонту встановлюють перпендикуляри, на яких відповідно до масштабу відкладають відмітки цих точок. Кінці перпендикулярів з'єднують прямими лініями і одержують профіль місцевості в заданому напрямку.

У графу ухилів переносять ухили ліній, при цьому розподільна ордината проставляється лише у місцях зміни ухилів траси. У середині кожного прямокутника графи ухилів проводять діагональ: із верхнього лівого кута у правий нижній, якщо ухил від'ємний (лінія йде на зниження), або з лівого нижнього кута у верхній правий, якщо ухил додатний. На горизонтальних ділянках траси посередині прямокутника проводять горизонтальну риску. У верхній частині прямокутника вказують значення ухилу в тисячних, а під нею - відстань, на якій діє цей ухил.

У графу напрямків записують відповідні значення орієнтирних кутів прямих вставок траси.

### **1.13. Оформлення роботи**

Роботу слід виконувати на стандартних листах А4. Вона повинна бути зброшурованим звітом, до складу якого входять: титульний лист, копія завдання, ділянка карти (плану) з нанесеними на ній варіантами траси (прийнятий варіант виконується червоною лінією), короткий опис методики виконання окремих розділів роботи, розрахункові дані (по можливості зведені в таблиці) і профіль траси.

На рецензію робота представляється в закінченому вигляді і повинна містити всі розділи, передбачені завданням.

## **РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 2** **КАМЕРАЛЬНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ПОЛЬОВИХ** **ВИМІРЮВАНЬ ТЕОДОЛІТНОЇ ЗЙОМКИ**

### **2.1 Зміст роботи**

За результатами польових вимірювань провести камеральну обробку матеріалів теодолітної зйомки.

Склад і порядок виконання робіт наступний.

Обчислювальна обробка:

- ув'язка кутів у теодолітному ході;
- обчислення дирекційних напрямів сторін ходу і їх румбів;
- обчислення горизонтальних прокладань ліній ходу;
- обчислення прирощень координат;
- обчислення координат вершин теодолітного ходу.

Графічна обробка:



- побудова координатної сітки;
- побудова на плані теодолітного ходу;
- нанесення на план ситуації;
- оформлення ситуаційного плану ділянки.

## 2.2 Вихідні дані

Вихідними даними для виконання завдання є: схема теодолітного ходу, на якій приведені горизонтальні кути при вершинах полігону, довжини сторін ходу і кути їх нахилу, до горизонту; абрис сторін полігону; початковий дирекційний кут, який встановлюють для кожного студента індивідуально: число градусів дирекційного кута визначають за кількістю букв прізвища студента, помноженою на 10, плюс число, складене з двох останніх цифр номера залікової книжки, а кількість хвилин складається з двох останніх цифр номера залікової книжки. Якщо кількість хвилин перевищує 60', то надлишок переводять в градуси.

Приклад: Сидоров, номер залікової книжки 113267.

Дирекційний кут дирекції сторони 1-2:

$$\alpha_{1-2} = 7 \times 10 + 67^\circ + 67' = 138^\circ 07'.$$

Координати пункту 1, визначають таким чином: X – число метрів, дорівнює числу градусів дирекційного кута, а частки метра числу його хвилин; Y – дорівнює X плюс число метрів складене з номера групи, помноженому на 100.

У даному прикладі для групи 2:

$$X = 138,07 \text{ м}; \quad Y = 338,07 \text{ м}.$$

## 2.3 Ув'язка кутів в полігоні

Виписують із схеми полігону (рис.2.1.) в графу 1 відомості обчислення координат (табл. 2.1) номери всіх вершин замкненого теодолітного ходу, в графу 2 - відповідно виміряні значення горизонтальних кутів.

Знаходять суму всіх виміряних кутів полігону  $\Sigma\beta_{\text{вим.}}$  та записують під загальною рисою графи 2.

Визначають кутову нев'язку  $f_\beta$  в полігоні за формулою:

$$f_{\beta_{\text{вим}}} = \Sigma\beta_{\text{вим}} - \Sigma\beta_{\text{теор}}, \quad (2.1)$$

де  $\Sigma\beta_\phi$  - сума всіх виміряних кутів в теодолітному ході;

$\Sigma\beta_{\text{теор}}$  - теоретична сума внутрішніх кутів, яку в замкненому теодолітному ході (полігоні) визначають за формулою:

$$\Sigma\beta_{\text{теор.}} = 180^\circ (n - 2), \quad (2.2)$$

де  $n$  – кількість виміряних кутів в ході.

Порівнюють отриману кутову нев'язку  $f_\beta$  з допустимою  $f_{\beta_{\text{доп}}}$ , вирахованою за формулою:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \cdot \sqrt{n}, \quad (2.3)$$

де  $n$  – кількість вимірних кутів в ході.

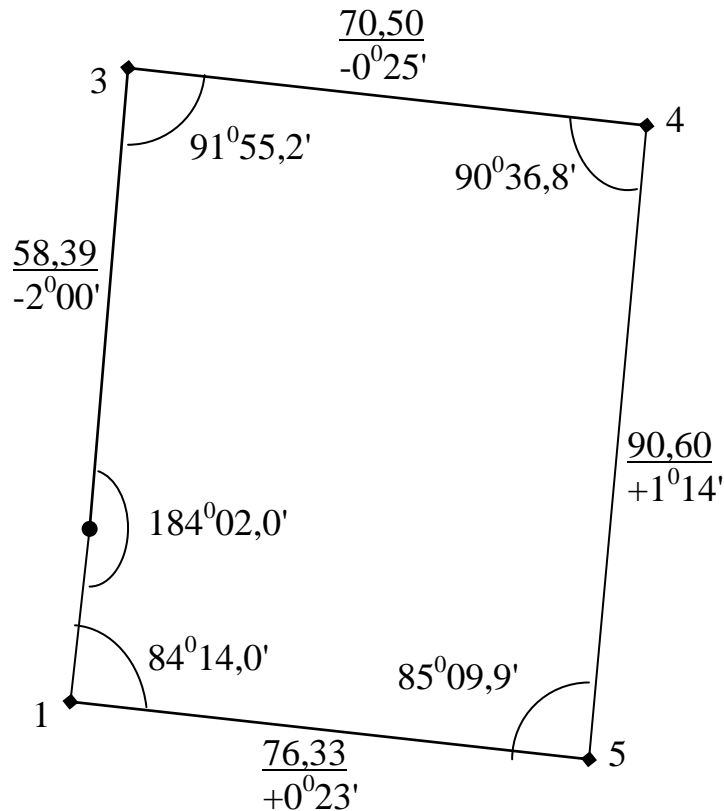


Рис. 2.1. Схема теодолітного ходу

Якщо  $f_{\text{вим.}} \leq f_{\text{доп.}}$ , то її розподіляють порівну на всі кути із зворотним знаком, тобто вводять поправки  $\Delta\beta$  з округленням до десятих часток хвилин (графа 3):

$$\Delta\beta = -f_{\beta} / n. \quad (2.4)$$

Якщо величина нев'язки не може бути поділена порівну на всі кути, більшу поправку вводять у кути, складені більш короткими сторонами. Коли нев'язка значно менша допустимої, її розподіляють тільки на кути з короткими сторонами.

Для малих полігонів та коротких ходів допускається введення поправок у вимірні кути, які мають частки хвилин для округлення їх значень до цілих хвилин, а залишкову частину нев'язки розподіляють у кути з більш короткими сторонами.

Правильність ув'язки кутів контролюють шляхом порівняння суми виправлених (ув'язаних) кутів (графа 4) з теоретичним їх значенням для дотримання умови  $\Sigma\beta_{\text{випр.}} = \Sigma\beta_{\text{теор.}}$

## 2.4 Обчислення дирекційних кутів та румбів

У графу 5 проти першої лінії 1-2 записують дирекційний кут  $\alpha_{1-2}$ .

По вихідному дирекційному напрямку та ув'язаним горизонтальним кутам знаходять дирекційні напрямки всіх наступних сторін полігону (графа 5) за таким правилом: дирекційний кут наступної сторони  $\alpha_{2-3}$  ходу дорівнює дирекційному куту попередньої сторони плюс або мінус  $180^0$  і мінус або плюс відповідно правий або лівий по ходу виправлений кут, утворений цими сторонами. При вимірних кутах, які лежать справа по ходу:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^0 - \beta_{np}; \quad (2.5)$$

і при вимірних кутах, які лежать зліва по ходу

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - 180^0 + \beta_{лів}, \quad (2.6)$$

де  $n$  - порядковий номер вершини полігону.

Контролем обчислення у замкненому ході є отримання дирекційного кута початкової сторони, а у розімкненому - дирекційного кута кінцевої твердої сторони ходу. Для зручності подальших обчислень за дирекційними кутами сторін полігону знаходять їх румби згідно табл. 1.1.

Обчислені значення румбів округлюють до цілих хвилин та записують проти відповідних дирекційних кутів до графі 6.

## 2.5 Обчислення горизонтальних прокладань

Горизонтальні прокладання обчислюють тільки для тих сторін полігону, для яких кут нахилу більший  $1,5^0$ :

$$d = D - \Delta D, \quad (2.7)$$

де  $D$  - виміряна довжина сторони;

$\Delta D$  - поправка до вимірної довжини за нахил лінії до горизонту.

Таблиця 2.1 – Відомість обчислення координат

Номери вершин	Вимірні кути		Поправки	Виправлені кути		Дирекційні кути		Румби			Горизонтальні прокладання, м	Прирошення координат, м				Координати, м		Номер вершини						
	0	/		0	/	0	/	назва	o	/		обчислені		виправлені		±	X		±	Y				
												±	ΔX	±	ΔY						±	ΔX	±	ΔY
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14											
1																		1						
2	184	02,0	+0,5'	184	02,5	138	07,0	ПдС	41	53,0	26,76	-	19,92	+	+1	17,87	-	19,92	+	17,88	+ 138,07	+	338,07	2
3	91	55,2	+0,4'	91	55,6	134	04,5	ПдС	45	55,5	58,35	-	40,59	+	+1	41,92	-	40,59	+	41,93	+ 118,15	+	355,95	3
4	90	36,8	+0,4'	90	37,2	222	08,9	ПдЗ	42	08,9	70,50	-	52,27	-	+1	47,31	-	52,26	-	47,29	+ 77,56	+	397,88	4
5	85	09,9	+0,4'	85	10,3	311	31,7	ПнЗ	48	28,3	90,60	+	60,07	-	+2	67,83	+	60,08	-	67,81	+ 25,30	+	350,59	5
1	88	14,0	+0,4'	88	14,4	46	21,4	ПнС	46	21,4	76,33	+	52,68	+	+1	55,27	+	52,69	+	55,29	+ 85,38	+	282,78	1
2						138	07,0														+ 138,07	+	338,07	
						P=322,54						+	112,75	+	115,06	+	112,77	+	115,10					
												-	112,78	-	115,14	-	112,77	-	115,10					
												$f_x = -0,03$		$f_y = -0,08$		$f_x = 0,00$		$f_y = 0,00$						

$$\Sigma\beta_{теор.} = 180^\circ (n - 2) = 540^\circ 00'$$

$$f_{\beta_{вим}} = \Sigma\beta_{вим} - \Sigma\beta_{теор} = 0^\circ 02,1'$$

$$f_{\beta_{доп}} = \pm 1' \cdot \sqrt{n} = \pm 0^\circ 02,24'$$

$$f_{абс.} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,08^2} = 0,085 \text{ м}$$

$$f_{відн.} = \frac{1}{P \div f_{абс.}} = \frac{1}{322,54 \div 0,085} = \frac{1}{3796} \leq \frac{1}{2000}$$

Поправку знаходять за спеціальною таблицею [6] або обчислюють за формулою:

$$\Delta D_v = -2D \cdot \sin^2 \frac{v}{2}, \quad (2.8)$$

де  $v$  – кут нахилу лінії до горизонту,

Порядок користування таблицею розглянемо на прикладі знаходження горизонтального прокладання сторони полігону 2 - 3 (рис. 2.1.).

$v_{2-3} = 2^{\circ}00'$ ,	$D_{2-3} = 58,39\text{м}$	$\Delta D_i$
	50,00м	30,00мм
	8,00м	4,90мм
	0,30м	0,18мм
	0,09м	0,06мм
Разом:	58,39м	$\Delta D_v = 35,14\text{мм} \approx 0,04\text{м}$

Таким чином:  $d = D - \Delta D_v = 58,39 - 0,04 = 58,35\text{м}$

Для проміжних значень кутів нахилу поправки знаходять інтерполяцією між сусідніми значеннями кутів. Для ліній з кутами нахилу меншими  $1,5^{\circ}$  поправки не вводять і вписують у графу 7 їх виміряні значення.

## 2.6 Обчислення та ув'язка прирощень координат

Прирощення координат  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  обчислюють за значеннями дирекційних кутів  $\alpha$  або румбів  $r$  та горизонтальними прокладаннями  $d$  сторін полігону, користуючись таблицею натуральних значень тригонометричних функцій або таблицею прирощень координат, за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta X &= d \cdot \cos\alpha = d \cdot \cos r; \\ \Delta Y &= d \cdot \sin\alpha = d \cdot \sin r. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Знаки прирощень обирають у залежності від чверті за знаками  $\sin\alpha$  і  $\cos\alpha$  або за назвами румбів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Знаки прирощень координат

Значення дирекційних кутів $\alpha$	Назва румбів	Знаки прирощень координат	
		$\Delta X$	$\Delta Y$
$0^{\circ} \dots 90^{\circ}$	ПнС	+	+
$90^{\circ} \dots 180^{\circ}$	ПдС	-	+
$180^{\circ} \dots 270^{\circ}$	ПдЗ	-	-
$270^{\circ} \dots 360^{\circ}$	ПнЗ	+	-

Обчислені значення прирощень координат округлюють до сотих часток метра та записують у графи 8 та 9.

Підсумовують окремо додатні та від'ємні значення  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  і записують під загальною рискою відповідних граф.

Знаходять нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  в прирошеннях координат. Оскільки у замкненому полігоні теоретичне значення алгебричної суми прирощень координат дорівнює нулю, то значення фактичних сум, відмінних від нуля, складуть нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  в прирошеннях координат за осями  $X$  та  $Y$ :

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \pm \sum \Delta X_i, \\ f_y &= \pm \sum \Delta Y_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

У розімкненому ході, який спирається на тверді точки з відомими координатами, нев'язки  $f_x$  та  $f_y$  визначають за формулами:

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \pm \sum \Delta X_i - \sum \Delta X_{\text{теор.}}, \\ f_y &= \pm \sum \Delta Y_i - \sum \Delta Y_{\text{теор.}} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

де  $\sum \Delta X_{\text{теор.}} = X_{\text{кін.}} - X_{\text{поч.}}$ ;  $\sum \Delta Y_{\text{теор.}} = Y_{\text{кін.}} - Y_{\text{поч.}}$  - теоретичні суми прирощень координат як різниці абсцис і ординат твердих кінцевої та початкової точок ходу.

Абсолютну лінійну нев'язку  $f_{\text{абс.}}$  у теодолітному ході обчислюють з точністю до сотих часток метра:

$$f_{\text{абс.}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (2.12)$$

Відносна лінійна нев'язка виражається аліквотним дробом (дріб, чисельник якої дорівнює одиниці) і має задовольняти умову:

$$\frac{f_{\text{абс.}}}{P} \leq \frac{1}{2000}, \quad (2.13)$$

де  $P$  – периметр полігону або сума довжин сторін розімкненого ходу.

Якщо відносна нев'язка не перевищує допустиму, тобто  $1/2000$  довжини ходу, то до прирошення координат вводять поправки, обчислені за формулами:

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= \frac{-f_x}{P} \cdot d_i, \\ v_{yi} &= \frac{-f_y}{P} \cdot d_i \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

де  $v_{xi}$ ,  $v_{yi}$  - поправки до прирошення координат по осям  $X$  та  $Y$ ;

$d_i$  - довжина відповідної сторони ходу.

Обчислені поправки округлюють до сотих часток метра та записують до граф 8 та 9 зверху над відповідними значеннями прирощень зі знаками, протилежними знакам нев'язок. Суми поправок  $\Delta X$  та  $\Delta Y$  повинні дорівнювати нев'язкам  $f_x$  та  $f_y$  з протилежним знаком.

Обчислюють виправлені (ув'язані) значення прирощень координат як алгебраїчну суму прирощень координат та відповідних їм поправок та записують до граф 10 і 11.

Алгебрична сума виправлених приращень координат по кожній осі для полігону має дорівнювати нулю, а для розімкненого ходу - їх теоретичному значенню.

## 2.7 Обчислення координат вершин теодолітного ходу

До граф 12 та 13 для точки 1 записують її координати  $X$  та  $Y$ , обчислені при підготовці вхідних даних. Після цього по виправленим приращенням обчислюють координати решти вершин ходу:

$$\left. \begin{aligned} X_n &= X_{n-1} + \Delta X_{випр.}; \\ Y_n &= Y_{n-1} + \Delta Y_{випр.}; \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

де  $X_n, Y_n$  - координати наступної точки відповідно по осям  $X$  та  $Y$ ;  
 $X_{n-1}, Y_{n-1}$  - координати попередньої точки.

Контролем правильності обчислення координат є одержання координат початкової точки для полігону або координат кінцевої точки для розімкненого ходу.

## 2.8 Побудова координатної сітки

За отриманими координатами вершин теодолітного ходу розраховують потрібний розмір аркуша ватману. Спочатку визначають число рядів квадратів по осі абсцис, для чого максимальні додатні та від'ємні абсциси округлюють до ближчих більших за абсолютним значенням, кратних стороні квадрата відповідного масштабу. Округлені абсолютні значення додають та ділять на довжину сторони квадрата, отримуючи число рядів квадратів по осі  $X$ .

Приклад. Розрахувати число  $n$  рядів квадратів для осі абсцис в масштабі 1:1000, якщо  $X_{\min} = -135\text{м}$ ,  $X_{\max} = +247\text{м}$ , сторона квадрата  $a = 100\text{м}$ .

Округлюючи значення абсцис, отримуємо  $X_{\min} = -200\text{м}$ ,  $X_{\max} = +300\text{м}$ .

$$n = \frac{|X_{\min}| + |X_{\max}|}{a} = \frac{200 + 300}{100} = 5 \text{ рядів}. \quad (2.16)$$

У тому випадку, коли всі абсциси мають однаковий знак, найменше та найбільше їх значення округлюють відповідно до ближчих найменшого та найбільшого чисел, кратних стороні квадрата. Різниця між ними, поділена на довжину сторони квадрата, покаже кількість рядів квадратів по осі  $X$ .

Приклад.  $X_{\min} = +185\text{м}$ ,  $X_{\max} = +218\text{м}$ .

Округлюючи їх значення, отримаємо  $X_{\min} = +100\text{м}$ ,  $X_{\max} = +300\text{м}$ .

Тоді:

$$n = \frac{|X_{\min}| - |X_{\max}|}{a} = \frac{300 - 100}{100} = 2 \text{ ряди}. \quad (2.17)$$

Аналогічний розрахунок виконують для визначення числа рядів квадратів по осі  $Y$ .

Після визначення кількості квадратів приступають до побудови координатної сітки з загальноприйнятою довжиною сторони квадрата 10 см за допо-

могою лінійки Дробишева (ЛД - 1), циркуля - вимірювача та масштабної лінійки або координатографа.

1-й спосіб (за допомогою лінійки ЛД - 1) використовують при великих розмірах ділянки і відповідно великій кількості квадратів або при стандартних розмірах рамки  $40 \times 40$  см для масштабу 1:5000 та  $50 \times 50$  см - для планів у масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500.

Порядок побудови сітки:

- відступають від нижнього краю листа паперу на 5...8 см і проводять по скошеному краю лінійки тонку лінію АВ;
- нульовий штрих першого віконця лінійки суміщають із началом лінії АВ і по скошеним краям шести віконець поділяють лінію на 5 відрізків;
- прикладають на око перпендикулярно лінійку нульовим штрихом першого віконця до точки А лінії АВ і прокреслюють дуги по скошеним краям всіх віконець;
- прикладають нульовий штрих першого віконця лінійки до точки В і по кінцю лінійки роблять засічку на останній (шостій) дузі, яка зроблена при положенні лінійки, отримуючи точку С;
- аналогічно будують дві інші сторони квадрата ВД та СД;
- сполучивши між собою точки А, В, С, Д, а також однойменні точки, які знаходяться на протилежних сторонах квадрата, прямими лініями, отримують сітку квадратів.

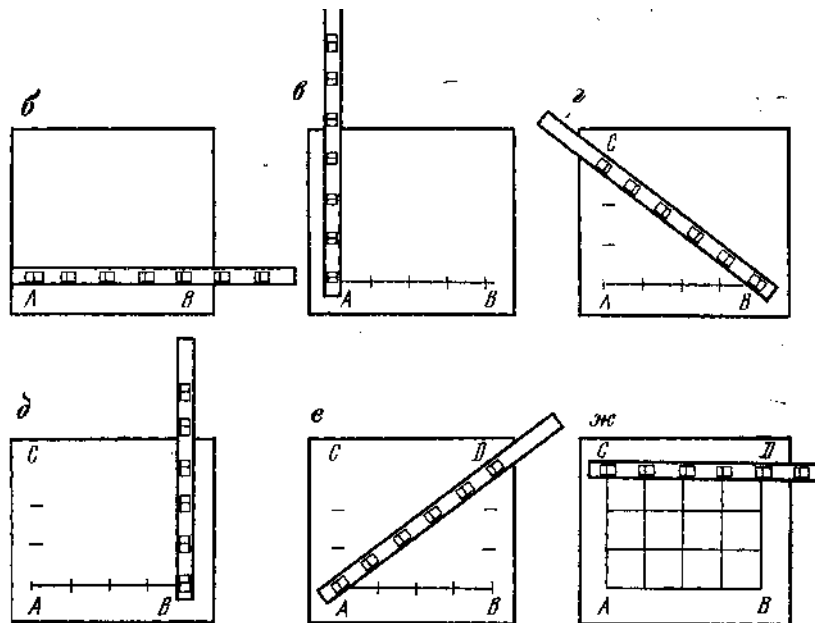


Рис. 2.2. Побудова координатної сітки за допомогою лінійки Дробишева

2-й спосіб - діагоналей (за допомогою циркуля - вимірювача та масштабної лінійки) використовується при побудові невеликої кількості квадратів (рис.2.3.):



- на листі креслярського паперу, розмір якого розрахований по координатам вершин ходу, за допомогою лінійки з кута на кут проводять діагоналі;
- від точки перетину діагоналей по всім напрямкам за допомогою циркуля - вимірювача відкладають рівні відрізки, довжина яких повинна бути такою, щоб біля країв листа залишалися поля шириною 3...5 см;
- сполучивши кінці відрізків прямими, отримують прямокутник;
- на сторонах прямокутника за допомогою циркуля-вимірювача і масштабної лінійки відкладають відрізки по 10 см;
- сполучивши відповідні точки ділення протилежних сторін прямокутника прямими, отримують сітку квадратів.

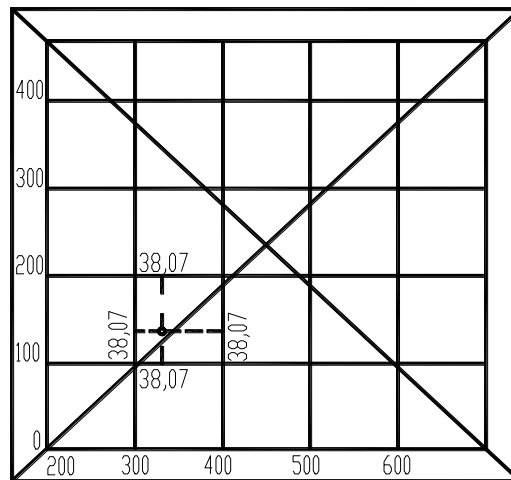


Рис. 2.3. Побудова координатної сітки способом діагоналей

Побудову координатної сітки контролюють циркулем - вимірювачем шляхом порівняння між собою довжин діагоналей квадратів. Якщо розходження між ними перевищують 0,2 мм, сітку будують заново.

Лінії координатної сітки підписують по осям X та Y відповідно зі значенням координат пунктів і масштабом плану. При цьому оцифровування координатних ліній виконують з таким розрахунком, щоб мінімальні значення координат мав південно-західний кут координатної сітки, а теодолітний хід розміщувався приблизно посередині листа паперу і не виходив за межі побудованої сітки.

## 2.9 Побудова теодолітного ходу

За вирахованими координатами за допомогою циркуля - вимірювача і масштабної лінійки (поперечного масштабу) на план наносять вершини теодолітного ходу у наступному порядку.

Наприклад, для нанесення точки I з координатами  $X = 138,07\text{м}$  і  $Y = 338,07\text{м}$  спочатку з'ясовують, в якому квадраті знаходиться точка. Для даного

прикладу це буде квадрат, обмежений координатними лініями по осі X - 100 і 200, а по осі Y - 300 і 400 (див. рис. 2.3.). Потім від абсциси зі значенням 100 по двом вертикальним лініям цього квадрата, відкладають догори 38,07 м і проводять лінію, паралельну лінії з абсцисою 100. Аналогічним чином відкладають відрізки по осі Y і проводять лінію, паралельну ординаті 300. На перетині цих ліній отримують точку 1. Таким же чином виконують побудову всіх інших точок ходу.

Нанесені вершини ходу наколюють голкою циркуля – вимірювача і обводять її колом  $\varnothing$  1,5 мм. Ліворуч від точки вказують номер вершини, а праворуч - її відмітку.

Побудову вершин ходу контролюють шляхом порівняння відстаней, визначених за допомогою циркуля - вимірника і масштабної лінійки, між точками на плані з відповідними прокладаннями у графі 7 відомості обчислення координат. Розходження між ними не повинні перевищувати в масштабі плану 0,2мм.

Для виявлення грубих помилок побудови сторін теодолітного ходу транспортиром визначають румби і порівнюють отримані значення з вирахованими у графі 6 відомості (табл.2.1)

Після побудови вершин теодолітного ходу і контролю їх послідовно сполучують тонкими лініями.

## **2.10 Нанесення на план ситуації**

Нанесення ситуації на план виконують у заданому масштабі на основі абрисів. Спосіб побудови контурів відповідає способу зйомки на місцевості.

Для нанесення контурів користуються транспортиром, циркулем - вимірювачем та масштабною лінійкою. При побудові перпендикулярів можна користуватися вивіреним трикутником.

Нанесення ситуації на план необхідно починати з найбільш важливих контурів місцевості.

Похибка у нанесенні зображень на план не повинна перевищувати 0,4 мм.

При викреслюванні планів потрібно суворо дотримуватися видів і розмірів умовних знаків [8].

При побудові контурів місцевості всі допоміжні креслення виконують тонкими лініями. Значення кутів та відстаней, наведених в абрисі, на план не наносять.

## **2.11 Оформлення плану**

Оформлення плану роблять після перевірки правильності нанесення контурів місцевості. Всі лінії на плані проводять товщиною 0,10 мм. Виключення складають лінії, товщина яких передбачена [8]. Сітку квадратів повністю не викреслюють: позначають лише хрестиками  $6 \times 6$  мм їх вершини.

Повністю оформлений план, виконаний олівцем наводять тушшю, дотримуючись вимог [8]. Усі допоміжні лінії креслення з плану видаляють.

Зарамкове оформлення плану виконують у відповідності з рис. 2.4.

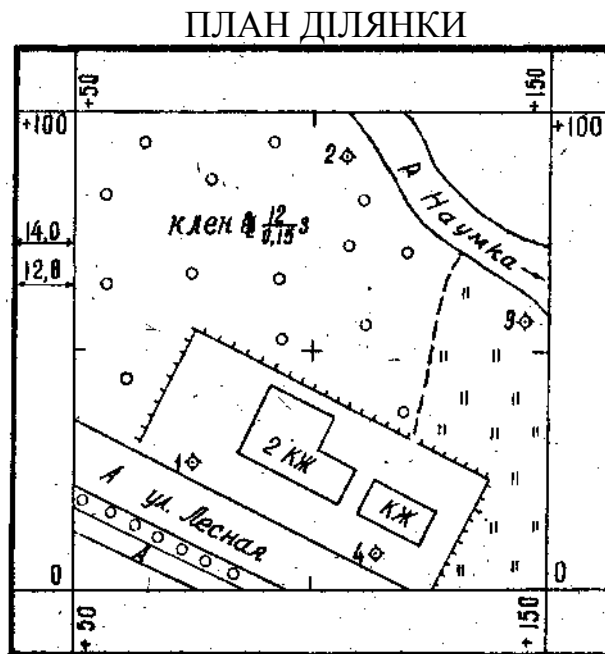
## 2.12 Обчислення площі полігону за координатами його вершин

Площа полігону, вершини якого позначені за рухом годинникової стрілки (рис. 2.1.), можна вирахувати аналітично за формулою:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}), \quad (2.18)$$

де  $X$  і  $Y$  – координати відповідних вершин полігону (табл. 2.1).

Послідовність обчислення площі наведена в табл. 2.3. Контролем обчислень є рівність алгебричних сум різниць координат у графах 4 і 5 та рівність алгебричних сум у графах 6 і 7. Допустима похибка обчислення площі аналітичним способом дорівнює 1/1000.



1:500

Група ПЦБ-1д-06  
Фоменко К.П.

Рис. 2.4. Оформлення плану ділянки місцевості

Таблиця 2.3 – Відомість обчислення площі полігону

Номер вершини	Координати, м					
	$X_i$	$Y_i$	$X_{i-1} - X_{i+1}$	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$
1	2	3	4	5	6	7
1	+138,07	+338,07	-32,77	+73,17	+10102,58	-11078,55
2	+118,15	+355,95	+60,51	+59,81	+7066,55	+21538,53
3	+77,56	+397,88	+92,85	-5,36	-415,72	+36943,15
4	+25,30	+350,59	-7,85	-115,10	-2912,03	-2741,61
5	+85,38	+282,78	-112,77	-12,52	-1068,96	-31889,10
			$\Sigma+153,36$	$\Sigma+132,98$	$\Sigma 12772,42$	$\Sigma 12772,42$
			$\Sigma-153,36$	$\Sigma-132,98$	$1/2\Sigma=6386,21\text{м}^2 = 0,64\text{ га}$	
			0,00	0,00		

На рецензування представляють:  
 відомість обчислення координат;  
 ситуаційний план ділянки;  
 відомість обчислення площі полігону.

### РОЗРАХУНКОВА-ГРАФІЧНА РОБОТА № 3

#### **КАМЕРАЛЬНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ВИШУКУВАНЬ І ПРОЕКТУВАННЯ ЗА ПРОФІЛЕМ ПОЗДОВЖНЬОЇ ОСІ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ**

##### **3.1 Зміст роботи**

За даними виконаних польових вимірювань провести камеральну обробку матеріалів лінійних вишукувань і проектування за профілем.

Склад і порядок виконання робіт наступний.

Обчислювальна обробка:

1) пікетажної книжки - обчислення кутів повороту траси; обчислення румбів прямих вставок траси; знаходження елементів кругових кривих, розрахунок пікетажних значень початку і кінця кривих; обчислення координат вершин теодолітного ходу; складання відомості прямих і кривих;

2) журналу геометричного нівелювання - обчислення перевищень по червоних і чорних сторонах рейок і визначення середніх перевищень; виконання посторінкового контролю обчислення перевищень; ув'язка нівелірного ходу; обчислення відміток всіх зв'язуючих точок ходу і відміток проміжних точок.

Графічна обробка:

- побудова поздовжнього профілю траси;
- проектування за профілем.

### 3.2 Вихідні дані

Вихідними даними для виконання завдання є:

а) для обробки матеріалів:

праві кути при вершинах теодолітного ходу, перший з яких визначають таким чином: число градусів дорівнює 100 плюс число, складене з двох останніх цифр номера залікової книжки, а кількість хвилин - числу з двох останніх цифр номера залікової книжки. Якщо число хвилин перевищує 60', то надлишок переводять в градуси. Значення подальших кутів при вершинах ходу визначають послідовним збільшенням значення першого кута на 10°, 20° і т.д.

Наприклад: номер залікової книжки № 118267; кут  $\beta_1 = 100^\circ + 67^\circ + 67' = 168^\circ 07'$ ; кут  $\beta_2 = 168^\circ 07' + 10^\circ = 178^\circ 07'$ ;

- дирекційний кут початкового напрямку траси в градусах приймається рівним двом останнім цифрам номера залікової книжки;
- радіус кругової кривої визначають за кількістю букв в прізвищі студента, помноженій на 10, плюс число з двох останніх цифр номера залікової книжки. Для даного прикладу радіус кривої  $R = 7 \cdot 10 + 67 = 137$  м;
- радіуси подальших кривих встановлюють послідовним збільшенням радіусу першої кривої на 10, 20 м і т.д.;
- координати початку траси приймають рівними:  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ;
- відмітку репера № 17 визначають так: кількість цілих сотень метрів дорівнює номеру підгрупи, помноженому на 100, плюс число з двох останніх цифр номера залікової книжки; частки метра дорівнюють числу з двох останніх цифр номера залікової книжки. Відмітка репера № 18 менше відмітки репера №17 на 2900 мм.

Наприклад:

$$H_{\text{Реп. №17}} = 9 \cdot 100 + 67 + 0,67 = 967,670 \text{ м};$$

$$H_{\text{Реп. №18}} = 967,670 - 2,900 = 964,770 \text{ м};$$

відліки по рейках встановлюють для кожного студента індивідуально і заносять в журнал геометричного нівелювання по наперед заготовлених варіантах;

б) для проектування:

- наявність на профілі траси не менше двох фіксованих точок, які задає викладач;
- гранично допустимі проектні ухили, встановлювані для кожного студента індивідуально;
- дотримання балансу (рівність насипу і виїмок) земляних робіт;
- забезпечення мінімального об'єму земляних робіт.

### 3.3 Обробка пікетажної книжки

Кути повороту траси для виміряних праворуч лежачих по ходу при вершині повороту кутів, якщо кут при вершині менше  $180^\circ$ , обчислюють за формулою:

$$\varphi = 180^\circ - \beta;$$

Якщо кут  $\beta$  перевищує  $180^\circ$  - то за наступною формулою:

$$\varphi = \beta - 180^\circ.$$

Використовуючи залежність між дирекційними кутами і кутами при вершинах ходу, за румбом початкового напрямку і кутах при вершинах обчислюють румби решти прямих вставок траси. Значення румбів записують в пікетажній книжці (рис. 3.2.) уздовж стрілок, вказуючих напрями повороту траси.

За заданими радіусами  $R$  і кутами повороту  $\varphi$  визначають всі елементи горизонтальних кругових кривих (рис. 3.1.) - тангенс  $T$ , довжину кривої  $K$ , бісектрису  $B$ , домер  $D$  за спеціальними таблицями [7] або за формулами:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2};$$

$$K = \frac{\pi R \cdot \varphi^\circ}{180^\circ} = \frac{R \cdot \varphi}{\rho}; \quad (3.1)$$

$$B = R(\sec \frac{\varphi}{2} - 1);$$

$$D = 2T - K,$$

де  $\rho$  - радіан.

Значення кутів повороту траси, радіусів і елементів кругових кривих записують в пікетажній книжці зліва від траси проти вершин відповідних кутів.

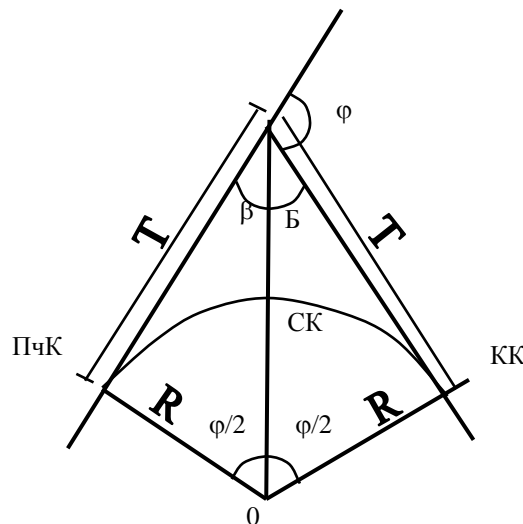


Рис. 3.1. Схема до розрахунку головних точок кривої

Розраховують пікетажні значення початку ПчК і кінця КК кругових кривих з обов'язковим контролем обчислення. Розрахунок проводять в пікетажній книжці праворуч від траси проти відповідних кутів повороту. За результатами розрахунків точки ПчК і КК наносять на трасу, позначаючи їх колами діаметром 1,0 мм. Поряд з точкою зліва від траси записують її найменування, а справа - її пікетажне значення.

За довжинами сторін ходу та їх румбами обчислюють координати вершин ВК теодолітного ходу.

### 3.4 Обробка журналу геометричного нівелювання

Обчислюють перевищення  $h_{\text{вир}}$  на кожній станції між зв'язуючими точками по чорних і червоних сторонах рейок як різницю відліків по задній  $a$  (граф 3) і передній  $b$  (граф 4) рейках (табл.3.1). Так, перевищення на станції 1 між репером 17 і ПК0 буде:

по чорній стороні:

$$h'_{\text{вир}} = a_{\text{чор}} - b_{\text{чор}} = 1582 - 1684 = -102 ;$$

по червоній стороні:

$$h''_{\text{вир}} = a_{\text{чер}} - b_{\text{чер}} = 6266 - 6370 = -104 .$$

Результати обчислень зі своїм знаком записують в графу 6. Розбіжність між перевищеннями по чорних і червоних сторонах рейок не повинна перевищувати  $\pm 5$  мм для технічного нівелювання.

З обчислених перевищень по чорних і червоних сторонах рейок знаходять середні їх значення і записують в графу 7. Середні значення перевищень, керуючись правилом Гауса, округляють до цілого числа міліметрів.

Виконують посторінковий контроль обчислень. З цією метою в кожній з граф 3 і 4 знаходять суми всіх задніх і передніх відліків, записують їх під підсумковою межею сторінки. Рядком нижче під ними записують їх різницю, потім - половину цієї різниці, яка повинна дорівнювати алгебричних сумі середніх перевищень.

У графі 6 знаходять подвоєні суми позитивних і негативних перевищень, під ними - загальну алгебричну суму, потім - її половину.

У графі 7 під підсумковою межею записують суми позитивних і негативних середніх перевищень, нижче - алгебричну суму перевищень.

Контролем цих обчислень є рівність остаточних результатів (сум середніх перевищень) в графах 3, 4, 6 і 7. Незначна розбіжність в графі 7 (в 1...2 мм), за рахунок округлення середніх значень перевищень на окремих станціях, не вища за погрішність відліку по рейці і нею можна знехтувати.

Після посторінкового контролю виконують загальний контроль по журналу, для чого остаточні суми середніх перевищень відповідних граф всіх сторінок алгебрично складають, одержуючи загальне перевищення між кінцевою і початковою точками нівелірного ходу.

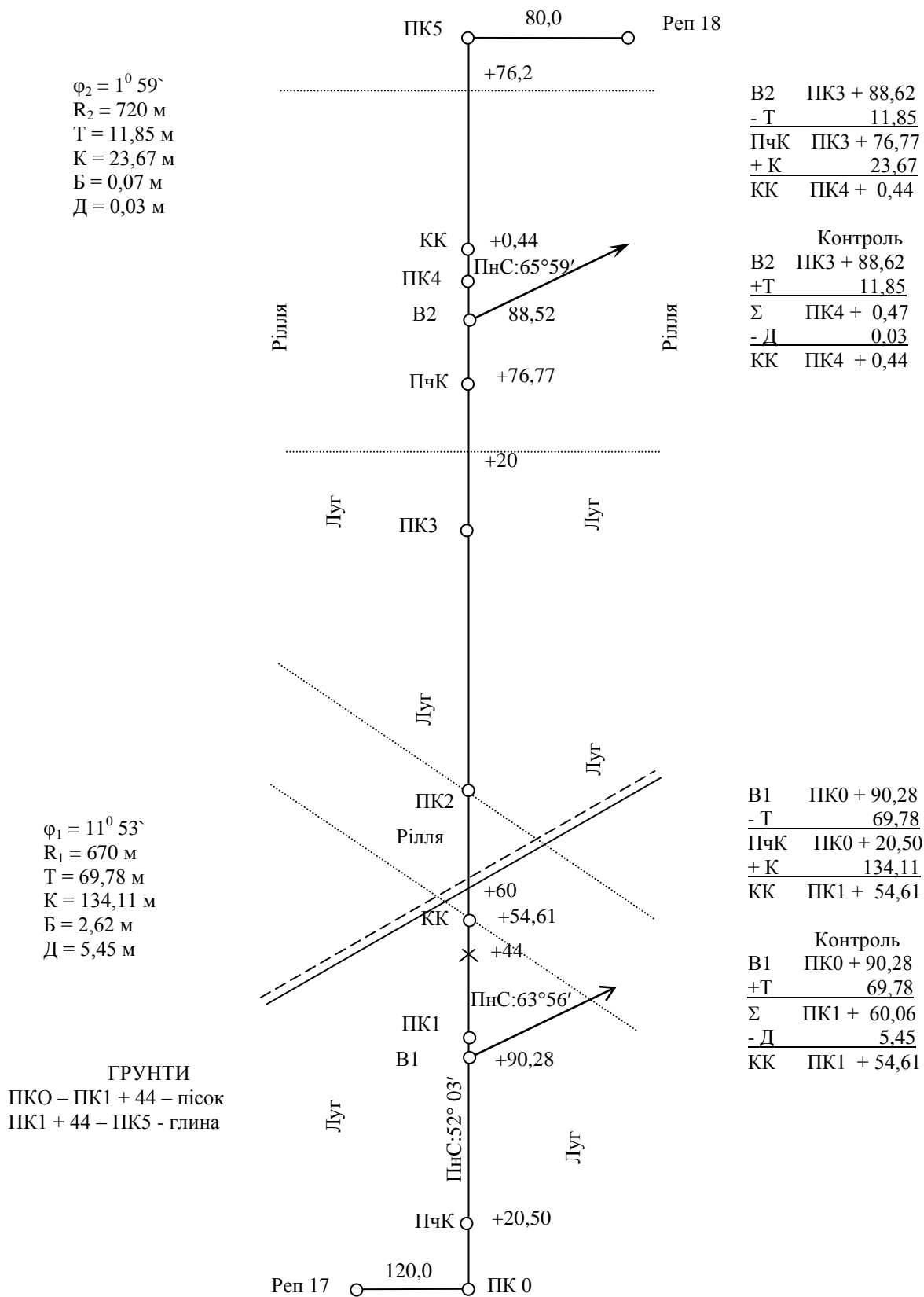


Рис. 3.2. Пікетажна книжка



За відомими відмітками початкової  $H_{\text{поч}}$  (репер 17) і кінцевої  $H_{\text{кін}}$  (репер 18) точок ходу обчислюють в кінці журналу теоретичну суму перевищень:

$$\sum h_{\text{теор}} = H_{\text{кін}} - H_{\text{поч}} . \quad (3.2)$$

Фактична нев'язка ходу  $f_h$  в замкнутому полігоні визначають за формулою:

$$f_h = \sum h_{\text{сер}} . \quad (3.3)$$

а для розімкненого ходу за формулою::

$$f_h = \sum h_{\text{сер}} - \sum h_{\text{теор}} . \quad (3.4)$$

Одержана нев'язка не повинна перевищувати допустиме значення, яке визначають за формулою:

$$f_{\text{ндоп}} = \pm 50\sqrt{L}, \text{ мм} , \quad (3.5)$$

де  $L$  - довжина ходу, км.

Якщо  $f_h \leq f_{\text{ндоп}}$ , то в усі середні значення перевищень порівно вводять поправки з округленням до 1 мм і зі знаком, зворотним знаку нев'язки. Коли порівно поправки ввести неможливо, більші за абсолютним значенням поправки вводять у перевищення, отримані на станціях у середині ходу. Якщо кількість міліметрів у нев'язці менше числа станцій у ході, то в деякі перевищення на початку і наприкінці ходу поправки не вводять. Поправки записують зі своїм знаком над середніми перевищеннями в графу 7. Сума усіх поправок повинна дорівнювати абсолютній величині нев'язки.

Знаходять виправлені (ув'язані) значення середніх перевищень як алгебричну суму перевищень і відповідних їм поправок і записують у графу 8. Контролем правильності виконаних обчислень є рівність сум ув'язаних і теоретичних перевищень.

Обчислюють відмітки всіх зв'язкових точок нівелірного ходу з точністю до 1 мм:

$$H_n = H_{n-1} + h_{\text{випр}} , \quad (3.6)$$

де  $H_n$  - відмітка шуканої вершини ходу;

$H_{n-1}$  - відмітка попередньої вершини;

$h_{\text{випр}}$  - ув'язане перевищення точки  $n$  над точкою  $n-1$ , узятє зі своїм знаком.

Контролем правильності обчислення відміток є рівність різниці відміток останньої і першої точок, і суми ув'язаних перевищень на даній сторінці, а по журналу - одержання відмітки вихідної вершини для замкненого ходу чи відмітки кінцевої точки розімкненого ходу (у даному прикладі відмітки репера 18). Варто пам'ятати, що відмітки виражають у метрах, а відліки по рейках і перевищення - у міліметрах.

Таблиця 3.1 – Журнал нівелювання

Но- мери стан- цій	Номери точок візу- вання	Відліки по рейках, мм			Перевищення, мм						Відмітки горизонту приладу Н <sub>i</sub> , м	Відмітки точок, , м
		задній	пере- дній	про- між- ній	±	вира- хувані	±	середні	±	виправ-лені		
1	2	3	4	5	6		7		8		9	10
1	Репер 17	1582										967,670
	ПК 0	6266	1684 6370			- 0102 - 0104	+ 1 - 0103	- 0102				967,568
2	ПК 0	1406										967,568
	ПК 1	6090	2311 6995			- 0905 - 0905	+ 1 - 0905	- 0904				966,664
3	ПК 1	1089										966,664
	ПК 2 + 44	5773	2501 7183	0307		- 1412 - 1410	+ 1 - 1411	- 1410			967,754	965,254 967,447
4	ПК 2	0908										965,254
	+56	5592	0960 5640			- 0052 - 0048	+ 1 - 0050	- 0049				965,205
Посторінковий контроль		28706	33644			+0000	+0000	+0000				-2,465
		-4938 -2469				-4938 -2469	-2469	-2465				

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	+ 56	1410				+ 1			965,205
	ПК 3	6094	1847		- 0437	- 0437	- 0436		964,769
6	ПК 3	1108				+ 2			964,769
	ПК 4	5792	1811		- 0703	- 0704	- 0702		964,067
7	ПК 4	2342				+ 1			964,067
	ПК 5	7026	0741		+ 1601	+ 1601	+ 1602		965,669
8	ПК 5	0517				+ 1			965,669
	Реп.18	5203	1418		- 0901	- 0900	- 0899		964,770
Посторінко- вий контроль		29492	30371		+ 3202	+ 1601	+ 1602		-0,435
			-879		- 4081	- 2041	- 2037		
			-439,5		-879	- 440	- 435		
					-439,5				
Загальний ко- нтроль по хо- ду		58198	64015		+ 3202	+ 1601	+ 1602		-2,900
			-5817		- 9019	- 4510	- 4502		
			-2908,5		- 5817	- 2909	- 2900		
					- 2908,5				

$$h_{\text{теор}} = H_{\text{реп18}} - H_{\text{реп17}} = -2900 \text{ мм};$$

$$f_h = \Sigma h_{\text{сер}} - h_{\text{теор}} = -2909 - (-2909) = -9 \text{ мм};$$

$$f_{h_{\text{дон}}} = \pm 50\sqrt{L} = \pm 50\sqrt{0,7} = \pm 42 \text{ мм}$$

Для визначення відміток проміжних точок спочатку двічі обчислюють відмітку горизонту приладу для відповідної станції:

$$\begin{aligned} H_i &= H_3 + a; \\ H_i &= H_n + v, \end{aligned} \quad (3.7)$$

де  $H_3$  і  $H_n$  – відмітки відповідно задньої і передньої точок нівелювання для даної станції;  $a$  й  $v$  – відліки по чорним сторонах рейок, установлених відповідно на задній і передній точках.

Розбіжність між двома обчисленими значеннями  $H_i$  не повинна перевищувати  $\pm 2$  мм. Середню відмітку горизонту приладу записують у графу 9. Потім визначають відмітку проміжної точки:

$$H_{mn} = H_i - c, \quad (3.8)$$

де  $c$  - відлік по чорній стороні рейки, установленної на проміжній точці. Відмітку проміжної точки записують у відповідному рядку графи 10.

### **3.5 Побудова поздовжнього профілю автомобільної дороги**

Основним графічним документом для проектування автодоріг є поздовжній профіль місцевості. Профілем називають вертикальний розріз земної поверхні в заданому напрямі.

Поздовжній профіль (рис.3.3.) будують за даними пікетажної книжки та нівелірного журналу на міліметровці.

Профілі мають два масштаби: горизонтальний і вертикальний. При цьому для наочності зображення вертикальний масштаб приймається в 10 разів крупнішим за горизонтальний. Масштаб профілю визначають залежно від його призначення і рельєфу місцевості. Так, при вишукуваннях для автомобільних доріг державного значення профілі складають в масштабах 1:5000 (горизонтальний) і 1:500 (вертикальний), а для міських вулиць, аеродромних смуг і автомобільних доріг промислових підприємств - в масштабах відповідно 1:2000 і 1:200.

Для побудови профілю проводять розграфлення профільної сітки з назвами горизонтальних граф, їх розмірами та послідовністю розташування відповідно до вимог рис.3.3.

ПОЗДОВЖНИЙ ПРОФІЛЬ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

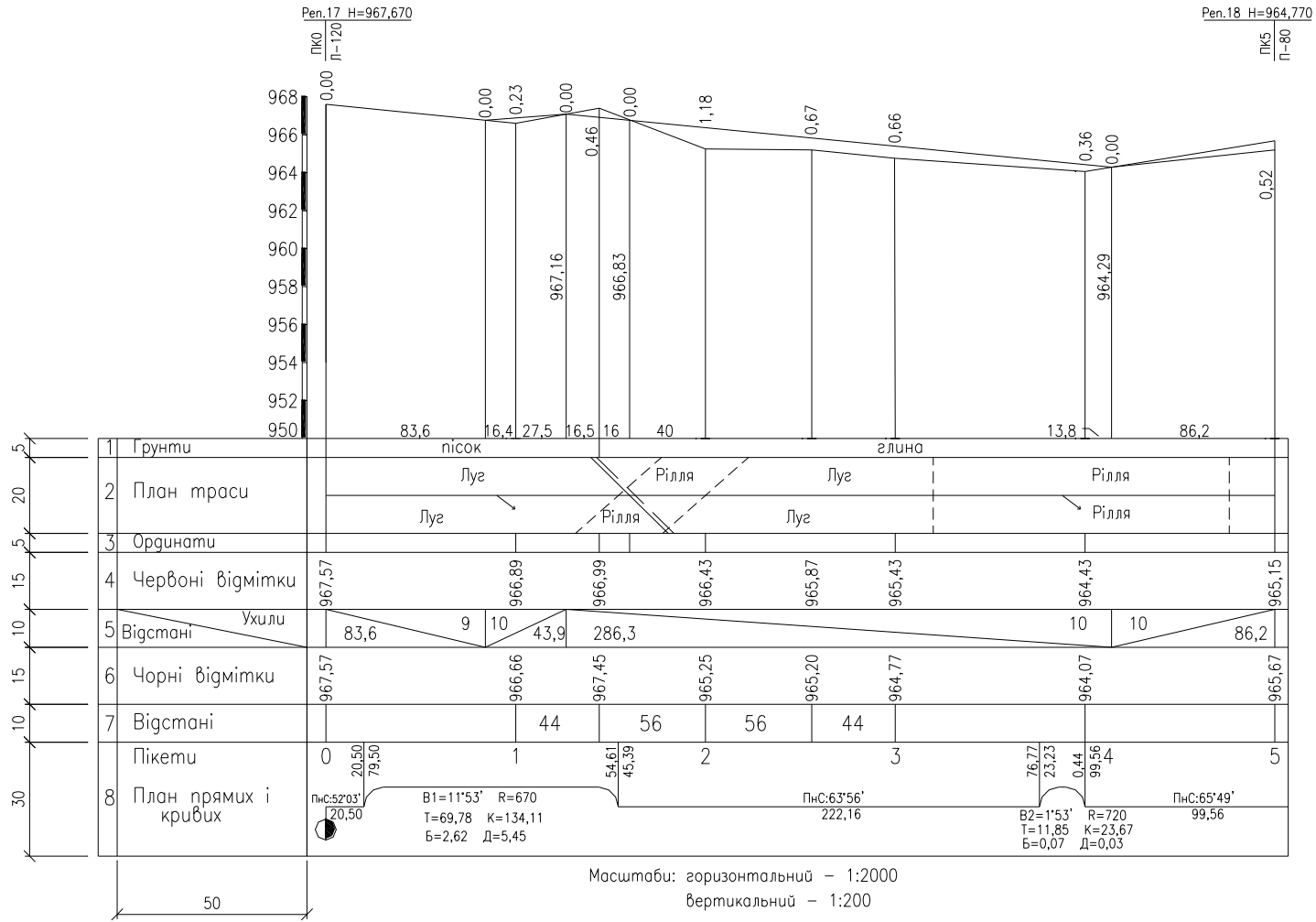


Рис. 3.3. Поздовжній профіль автомобільної дороги

Верхню лінію профільної сітки, так звану лінію умовного горизонту, ви-креслюють на потовщеній горизонтальній лінії міліметрівки, розташовуючи її початок на одній з потовщених вертикальних ліній міліметрівки.

Заповнюють графу відстаней, відкладаючи в ній спочатку пікети, а потім - плюсові точки, фіксуючи їх положення вертикальними перегородками (ординатами). Під нижньою лінією графи відстаней, так званою пікетажною лінією, підписують номери пікетів. Пікетажні значення плюсових точок не підписують, а відстані між ними і сусідніми пікетами проставляють в графі відстаней. Якщо між сусідніми пікетами плюсових точок немає, то графу відстаней між ними не заповнюють, тобто відстань 100 м не пишеться. Якщо на пікеті є декілька плюсових точок, то сума відстаней між вертикальними відрізками в межах пікету повинна дорівнювати 100 м.

Заповнюють графу ординат, для чого на всіх пікетах і плюсових точках проводять вертикальні відрізки (перегородки).

Заповнюють графу чорних відміток, вписуючи в неї з нівелірного журналу з округленням до 0,01 м відмітки всіх пронівельованих пікетних і плюсових точок.

На відстані 5 мм ліворуч від нульового пікету над лінією умовного горизонту і перпендикулярно до неї вверх будують шкалу висот, оцифровку якої проводять у відповідному масштабі через 1 см. При цьому відмітку умовного горизонту вибирають залежно від чорних відміток профілю з таким розрахунком, щоб вона була кратною 10 м, а найнижча точка профілю була на відстані від лінії умовного горизонту в межах 4...8 см (в даному прикладі перевищення на місцевості 8...16 м). Цю відмітку (на рис. 3.3. - 950 м) записують на лінії умовного горизонту.

По чорних відмітках будують лінію профілю, відкладаючи вверх на перпендикулярах до лінії умовного горизонту в прийнятому масштабі відповідні різниці між чорними відмітками пікетних і плюсових точок і відміткою лінії умовного горизонту. Поєднуючи прямими лініями побудовані сусідні точки, одержують поздовжній чорний профіль траси. Від точок перелому профілю до лінії умовного горизонту проводять ординати.

За даними пікетажної книжки заповнюють графу "Ґрунти". Для цього на вказаних пікетах проводять ординати і між ними підписують назви ґрунтів.

Для заповнення графи 2 посередині її проводять вісь траси, умовно розгорнену в пряму лінію, і в прийнятому масштабі будують план смуги місцевості, прилеглої до траси, в повній відповідності з пікетажною книжкою.

Замість зображень умовних позначень угідь можна писати відповідні назви: «луг», «рілля» і т.п. Короткими стрілками показують напрям основних ухилів місцевості.

Графи прямих і кривих заповнюють на основі пікетажної книжки і відомості прямих і кривих, відкладаючи в масштабі розраховані пікетажні значення початку ПчК і кінця КК кривих по середній лінії графи. Початок і кінець кривої відзначають перпендикулярами, опущеними від лінії пікетажа на середню лінію графи. Уздовж перпендикулярів з двох сторін записують відстані від початку і

кінця кривої до найближчих заднього і переднього пікетів. Сума цих відстаней повинна дорівнювати 100 м.

Криві умовно позначають скобами, обернутими при повороті управо опуклістю вверху, а при повороті вліво - опуклістю вниз. Під кожною кривою записують значення всіх її елементів, над серединою прямої вставки - її довжину, а під нею - румб даного напрямку.

На відстані 1,5 см над лінією профілю показують положення реперів. Для цього проводять взаємно перпендикулярні вертикальні і горизонтальні відрізки завдовжки близько 2 см. Уздовж вертикальних відрізків (зліва і справа) записують прямокутні координати реперів щодо траси, а на горизонтальній межі указують номери реперів і їх відмітки.

Для зображення кілометрового покажчика від лінії пікетажа опускають перпендикуляр завдовжки 12 мм, на кінці якого викреслюють коло діаметром 5 мм і її праву половину заливають тушшю.

Заголовний напис профілю, масштаби і інші підписи розташовують відповідно до зразка (див. рис.3.3.).

### 3.6 Нанесення на профіль проектної лінії автомобільної дороги

Проектну (червону) лінію наносять відповідно до завдання.

Обчислюють відмітки фіксованих точок, якщо нівелюванням на місцевості їх не визначали. Для цього знаходять ухил місцевості  $i$  для ділянки, на якій розташована фіксована точка:

$$i = \frac{H_n - H_z}{d} \quad (3.9)$$

де  $H_n - H_z$  - різниця чорних відміток, найближчих до фіксованої точки відповідно передній і задній точок профілю;

$d$  - горизонтальна відстань між цими точками.

Відмітка фіксованої точки визначається за формулою:

$$H_\phi = H_z \pm id_\phi \quad (3.10)$$

де  $H_z$  і  $i$  - позначення ті ж, що і у формулі (3.9);

$d_\phi$  - відстань від задньої точки профілю до фіксованої.

Знак перевищення  $h = i \cdot d_\phi$  залежить від знаку ухилу.

Приклад. Відмітка фіксованої точки ПК1+60 (існуюча автомобільна дорога) визначається в наступній послідовності:

знаходять ухил місцевості на ділянці ПК1+44 – ПК2:

$$i = \frac{H_{ПК1+44} - H_{ПК2}}{d} = \frac{967,45 - 965,25}{56} = 0,039;$$

визначають відмітку фіксованої точки:

$$H_{ПК1+60} = H_{ПК1+44} - id_\phi = 967,45 - 0,039 \cdot 16 = 966,83 \text{ м.}$$

Обчислену чорну відмітку фіксованої точки, що одночасно є і проектною, округляють до 0,01 м і записують посередині ординати точки над лінією

умовного горизонту (див. рис.3.3.). Аналогічно обчислюють відмітки інших фіксованих точок.

Враховуючи, що мінімальний об'єм земляних робіт може бути забезпечений у тому випадку, коли проектна лінія співпадатиме або максимально наближатиметься до чорної, для кожного схилу траси обчислюють природний ухил місцевості і порівнюють його з проектним (допустимим). Для тих схилів, де природні ухили рівні або менше граничного, проектну лінію проводять по лініях чорного профілю.

Для відрізків, де природний ухил перевищує допустимий, проектну лінію проводять з максимальним наближенням до чорної, тобто проектування ведуть по гранично допустимих ухилах. Обов'язковою умовою проектування є проходження червоної лінії через фіксовані точки.

Обчислюють проектні відмітки точок переломів червоної лінії, а також всіх пікетних і плюсових точок. Визначення червоних відміток проводять через прийнятий для даної ділянки проектний ухил від найближчих фіксованих точок з відомими відмітками за формулою (3.10).

Заповнюють графу ухилів, проводячи в місцях переломів (зміни ухилів) проектної лінії ординати. Біля кожної ординати, зліва і справа уздовж неї, вертикально записують відстані в метрах від місця даної зміни ухилу до найближчих заднього і переднього пікетів. Якщо його зміна відбувається на пікеті, то з обох боків пишуть нулі.

Усередині кожного прямокутника графи ухилів проводять діагональ: з верхнього лівого кута в нижній правий, якщо ухил негативний (лінія йде на пониження), або з лівого нижнього кута у верхній правий, якщо ухил позитивний. На горизонтальних ділянках посередині графи проводять горизонтальну межу. Над діагоналлю або горизонталлю указують значення проектного ухилу в тисячних, а під нею - відстань, на якій діє ухил. Наприклад, запис  $9/83,6$  показує, що проектна лінія йде зверху зліва вниз направо, її ухил -  $0,009$  діє на відстані  $83,6$  м.

Приклад. Визначити відмітку проектної лінії на ПК2, якщо допустимий проектний ухил складає  $0,010$ .

Оскільки природний ухил на ділянці траси ПК1+44-ПК2 більше допустимого і складає  $0,039$ , з урахуванням забезпечення мінімального об'єму земляних робіт проектну лінію доцільно вести вверх з проектним ухилом  $i_{np}=0,010$ . Таким чином, підставляючи значення  $H_{ПК1+60}$ ,  $i$  і  $d$  у формулу, проектна відмітка ПК2 буде дорівнювати:

$$H_{ПК2} = H_{ПК1+60} - i \cdot d = 966,83 - 0,010 \cdot 40 = 966,43 \text{ м.}$$

Аналогічно обчислюють проектні відмітки решти точок.

Обчислені проектні відмітки округляють до  $0,01$  м і записують в графу червоних відміток під відповідними ординатами. Червоні відмітки на горизонтальній ділянці траси виписують тільки на початку і в кінці ділянки.

Контролем правильності обчислень є отримання проектних значень ухилів через відповідні відмітки точок.



По червоних відмітках точок перелому траси наносять на профіль проектну лінію. На кожному пікеті і плюсовій точці обчислюють робочі відмітки  $h_p$  (висоти насипів і глибини виїмок) як різницю червоної  $H_{пр}$  і чорної  $H_{чор}$  відміток:

$$h_p = H_{пр} - H_{чор} . \quad (3.11)$$

На виїмках робочі відмітки записують під червоною лінією, а на насипах - над нею. Над точками перетину чорної лінії з червоною, так званими точками нульових робіт або перехідними, записують робочі відмітки 0,00.

З точок нульових робіт опускають ординати на лінію умовного горизонту і з подібності трикутників (рис.3.4.) визначають горизонтальні відстані від цих точок до найближчих заднього і переднього пікетів або плюсових точок за наступними формулами:

$$X = \frac{ad}{a+b} \quad Y = \frac{bd}{a+b} , \quad (3.12)$$

де  $a$  і  $b$  - робочі відмітки відповідно на задній і передній точках профілю, між якими знаходиться точка нульових робіт;

$d$  - горизонтальна відстань між цими точками.

Обчислення відстаней  $X$  і  $Y$  контролюється дотриманням рівності  $d=X+Y$ .

Відмітку  $H_0$  точки нульових робіт (синю відмітку) обчислюють за формулою (3.10) із округленням до сотих часток метра записують уздовж ординати, опущеної з точки нульових робіт на лінію умовного горизонту. Зліва і праворуч від цієї ординати над лінією умовного горизонту записують відстані  $X$  і  $Y$ .

Приклад. Визначити відстань від точки нульових робіт  $X$  (до точки ПК4) і  $Y$  (до точки ПК5), коли:  $a=0,36$  м,  $b = 2,24$  м і  $d = 100$  м.

$$X = \frac{0,36 \cdot 100}{0,36 + 2,24} = 13,8 \text{ м.}$$

Відмітку точки Д отримують продовженням проектної лінії до ПК5 із заданим проектним ухилом з тим же знаком:

$$H_{ПК5} = H_{ПК4} - i \cdot d = 964,43 - 0,010 \cdot 100 = 963,43 \text{ м.}$$

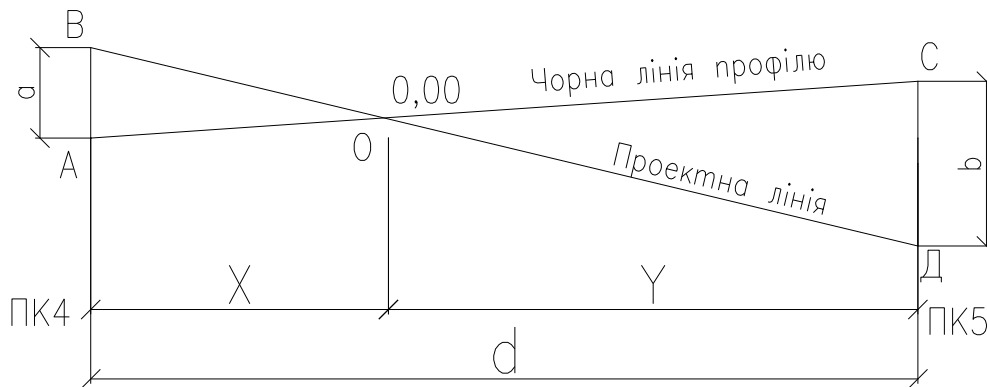


Рис. 3.4. Схема до визначення відстаней до точок нульових робіт

### 3.7 Оформлення профілю

Всі написи і побудови виконують тушшю тонкими лініями.

Червоною тушшю оформляють проектну лінію і всі робочі відмітки (окрім нульових), вісь дороги в графі 2, всі лінії і цифри в графі ухилів, розділову лінію між графами 4 і 5, проектні відмітки, всі лінії і написи в графі 6 (окрім номерів пікетів).

Синьою тушшю виконують перпендикуляри з точок нульових робіт на лінію умовного горизонту, робочі нульові відмітки, відмітки точок нульових робіт, горизонтальні відстані між ординатою, опущеною з точки нульових робіт і сусідніми пікетними або плюсовими точками, а також лінію пікетажа (нижню лінію графі).

Всю решту ліній, цифр і написів виконують чорною тушшю.

Насипи офарблюють карміном (червоною фарбою), виїмки - гуммігутом (жовтою фарбою).

На рецензування представляють:

- пікетажний журнал;
- журнал геометричного нівелювання;
- поздовжній профіль траси автомобільної дороги.

## РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА № 4

### **КАМЕРАЛЬНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ НІВЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНІ ПО КВАДРАТАХ І ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ**

#### 4.1 Зміст роботи і вихідні дані

За результатами польових вимірювань провести камеральну обробку матеріалів нівелювання поверхні по квадратах і виконати проектування оформляючих площин.

А. Обчислювальна обробка нівелювання: виконується аналогічно розрахунково-графічній роботі № 3.

Б. Графічна обробка: побудова плану майданчика в горизонталях; оформлення плану.

В. Проектування вертикального планування: проектування горизонтальної і похилої майданчиків; складання картограм робіт; складання відомостей балансу і об'ємів земляних робіт.

Вихідними даними для виконання завдання є:

1) для обробки матеріалів:

- схема нівелірного ходу і ділянки висотної зйомки (рис.4.1.),
- відмітка репера № I, що приймається індивідуально і дорівнює відмітці Реп.№ I7 по РГР № 3;
- відліки по рейках, які встановлюються для кожного студента індивідуально і заносяться в журнал нівелювання по наперед заготовлених варіантах; сторона квадрата дорівнює 20 м, висота перетину рельєфу 0,5 м;

- масштаб плану - 1:500;

2) для проектування:

- забезпечення мінімального об'єму і нульового балансу земляних робіт;
- для проектування похилого майданчика – напрямок і величина найбільшого ухилу, який встановлюється індивідуально.

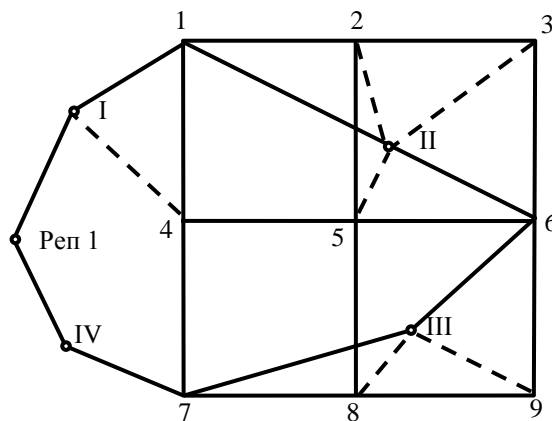


Рис. 4.1 Схема нівелювання ділянки по квадратах

## 4.2 Складання плану в горизонталях

На листі креслярського паперу в заданому масштабі будують мережу квадратів. Праворуч від вершин квадратів виписують їхні відмітки з округленням до 0,01 м.

За відмітками вершин квадратів із прийнятим перерізом рельєфу проводять горизонталі, відмітки яких при цьому повинні бути кратними висоті перерізу рельєфу. Відшукування слідів горизонталей виконують способом аналітичної чи графічної (за допомогою міліметрівки, палетки) інтерполяції. Під інтер-

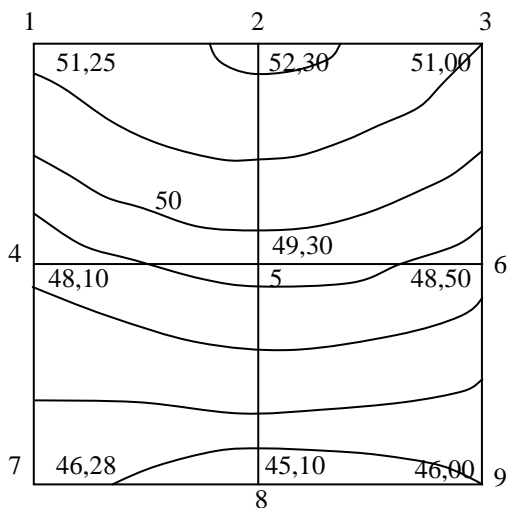


Рис. 4.2. План ділянки в горизонталях

поляцією розуміють знаходження планового положення точок з відмітками, кратними висоті перерізу рельєфу, між точками з відомими висотами. Метод інтерполяції застосовують, коли між точками рівномірний ухил, без перегинів рельєфу.

Приклад аналітичної інтерполяції. Різниця відміток першої і четвертої вершин першого квадрата складає  $51,25 - 48,10 = +3,15$  м (рис. 4.2.). За висотою перерізу рельєфу 1 м легко установити, що між цими точками проходять горизонталі з відмітками 51, 50 і 49 м. Виходячи зі сторони квадрата 20 м, що в масштабі 1:500 складає 4 см на плані, знаходять відстань до горизонталі з відміткою 51 м із пропорції:

$$X - 0,25 \text{ м}$$

$$4 \text{ см} - 3,15 \text{ м}$$

$$\text{Звідки } x_1 = \frac{1 \cdot 4}{3,15} = 1,27 \text{ см і т.д.}$$

Аналогічно визначають положення горизонталей по інших сторонах квадрата і по одній з його діагоналей - у напрямку більшого ухилу.

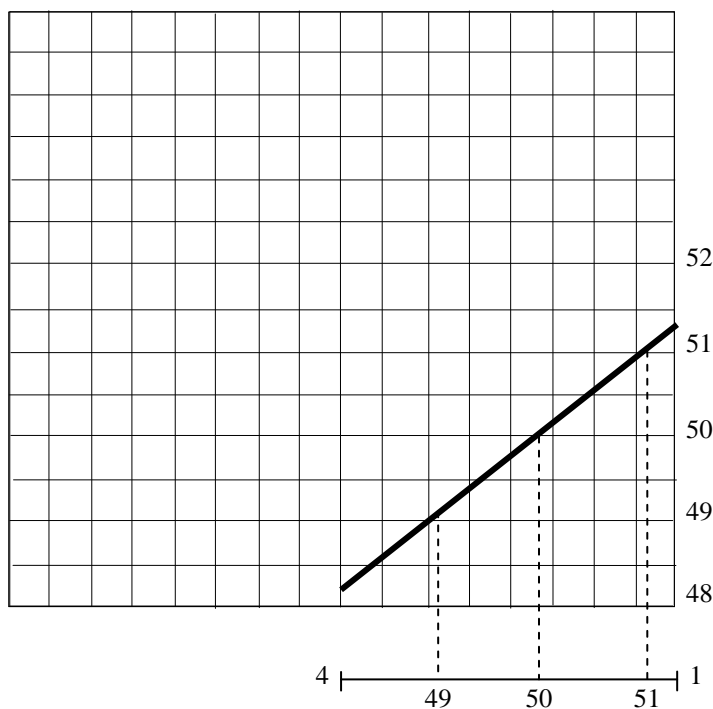


Рис. 4.3. Інтерполяція за допомогою міліметрівки

Приклад графічної інтерполяції за допомогою міліметрівки. Невеликий лист міліметрівки (рис. 4.3.) прикладають потовщеною вертикальною лінією до однієї з вершин квадрата. Нижню горизонтальну потовщену лінію приймають за умовний горизонт і надають йому найближчу до молодшої точки меншу відмітку, кратну перерізу рельєфу. Іншим потовщеним сантиметровим лініям, паралельним лініям умовного горизонту, надають відмітки в послідовно зростаючому порядку, кратні висоті перерізу рельєфу. Потім на вертикальних лініях, що виходять з вершин квадрата 4 і 1, у прийнятому масштабі відзначають відпо-

відно до значень відміток положення відповідних точок (48,10, і 51,25 м) і з'єднують їх прямою лінією. Перетин цієї лінії з потовщеними горизонталями міліметрівки проектують перпендикулярно на лінію умовного горизонту (і відповідно на сторону квадрата). Проекції цих точок будуть поділяти сторону квадрата пропорційно різниці висот його вершин і відповідати відміткам горизонталей, що пересікають цю сторону квадрата.

Після інтерполяції всі точки з однаковими відмітками з'єднують від руки плавними кривими лініями - горизонталями (див. рис. 4.2.). У розривах горизонталей, кратних 5 м, підписують їхні відмітки. При цьому основи цифр повинні бути спрямовані убік зниження місцевості і, по можливості, до південної чи східної рамок плану.

При кожній замкнутій горизонталі, а також у напрямку характерних ліній рельєфу ставлять бергштрихи. Через контури будівель горизонталі не проводять, рельєф штучних поверхонь із твердим покриттям горизонталями не зображують, а вписують тільки відмітки пронівельованих точок.

### 4.3 Оформлення плану

При кресленні елементів рельєфу горизонталі, їхні відмітки й умовні знаки піску проводять коричневою тушшю. Всі інші лінії, умовні знаки і написи виконують чорною тушшю.

Товщина горизонталі повинна бути 0,1 мм, а горизонталі, кратні 2 і 5 м (при перерізі рельєфу відповідно 0,5 і 1,0 м), проводять потовщеними лініями - 0,25 мм.

Над північною рамкою плану виконують заголовний напис, а під південною - указують чисельний масштаб плану і висоту перерізу рельєфу.

### 4.4 Проектування горизонтальної площини за умов нульового балансу земляних робіт

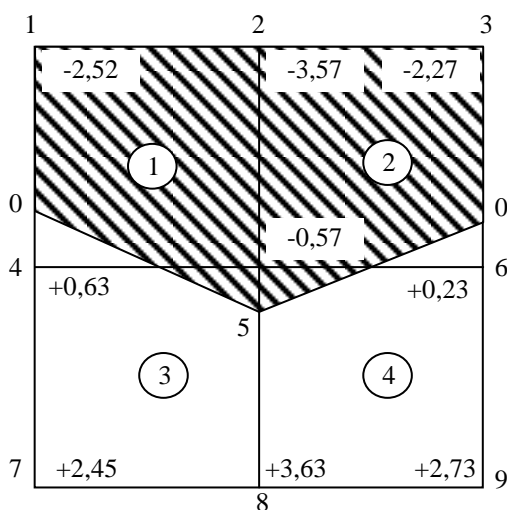


Рис. 4.4. Картограма земляних робіт

Обчислюють проектну відмітку  $H_{пр}$  горизонтальної площини за умов нульового балансу земляних робіт:

$$H_{пр} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4 \cdot n}, \quad (4.1)$$

де  $\sum H_1, \sum H_2, \sum H_3, \sum H_4$  - сума чорних відміток вершин квадратів, що входять відповідно в один, два, три і чотири квадрати;

$n$  - число квадратів.

У даному прикладі (рис. 4.2.):

$$H_{пр} = 48,73 \text{ м.}$$

Обчислюють робочі відмітки  $h_p$  вершин квадратів:

$$h_p = H_{np} - H_q \quad (4.2)$$

де  $H_{np}$  і  $H_q$  - відповідно проектні і чорні відмітки поверхні землі.

Додатні робочі відмітки будуть указувати на необхідну висоту насипу, а від'ємні - на глибину виїмки. Робочі відмітки зі своїм знаком виписують у відповідних вершин квадратів на картограму земляних робіт (рис. 4.4).

На сторонах квадратів, що мають робочі відмітки з протилежними знаками, аналітичним чи графічним способом знаходять точки нульових робіт.

Приклад. На стороні квадрата 1-4 відстань  $X$  від вершини 4 до точки нульових робіт знаходять із пропорції:

$$X - 0,63 \text{ м} \\ 4 \text{ см} - (0,63 + 2,52) \text{ м} \quad X = \frac{0,63 \cdot 4}{0,63 + 2,52} = 0,8 \text{ см} .$$

Графічно точку нульових робіт визначають у такий спосіб (рис.4.5.). З вершин 1 і 4 перпендикулярно стороні квадрата 1-4 і в різні сторони від неї проводять перпендикуляри, довжина яких в прийнятому масштабі відповідає робочим відміткам. Кінці перпендикулярів з'єднують прямою лінією і на перетині цієї лінії зі стороною квадрата знаходять точку нульових робіт. Сусідні точки нульових робіт з'єднують прямими лініями, одержуючи лінію нульових робіт.

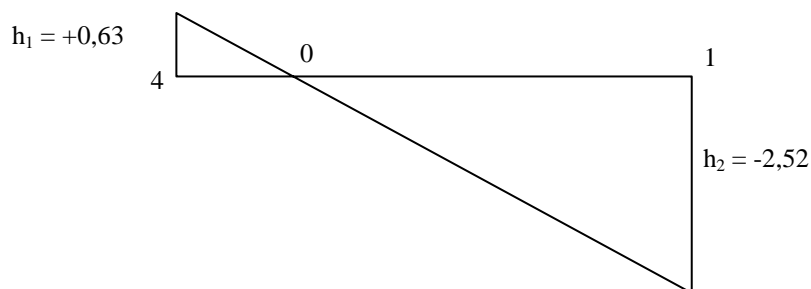


Рис.4.5. Схема до визначення точок нульових робіт

#### 4.5 Обчислення балансу земляних робіт

Обчислюють баланс земляних робіт у кожному квадраті:

$$V_o = \sum h_p \frac{P}{4} , \quad (4.3)$$

де  $\sum h_p$  – алгебрична сума робочих відміток вершин квадрата;

$P$  – площа квадрата.

Порядок розрахунку приведений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість балансу земляних робіт

Номери ква- дратів	$\Sigma h_p$	P/4	Баланс	
			«-» Виймка	«+» Насип
1	-6,03	100	603	---
2	-6,18	100	618	---
3	+6,14	100	---	614
4	+6,02	100	---	602
Разом:			1221	1216

$$\Delta V = -5 \text{ м}^3$$

$$\text{Розбіжність: } \frac{|\Delta V|}{|V_v| + |V_n|} = \frac{5}{1221 + 1216} = 0,002 = 0,2\%.$$

#### 4.6 Обчислення об'ємів земляних робіт

Об'єм земляних робіт обчислюють роздільно для виймки і насипу:

$$V_v = \frac{(-\sum h_p)^2}{\sum h_{p1}} \cdot \frac{P}{4}; \quad V_n = \frac{(+\sum h_p)^2}{\sum h_{p1}} \cdot \frac{P}{4}, \quad (4.4)$$

де  $V_v$  і  $V_n$  – об'єм відповідно виймки і насипу;

$(-\sum h_p)$  і  $(+\sum h_p)$  – суми робочих відміток вершин квадрата, що мають відповідно знаки «-» і «+»;

$\sum h_{p1}$  – сума абсолютних значень робочих відміток квадрата;

P – площа квадрата.

Порядок розрахунку приведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Відомість об'ємів земляних робіт

Номери квдратів	$(-\Sigma h_p)^2$	$(+\Sigma h_p)^2$	$\Sigma h_{p1}$	P/4	Об'єм земляних ро- біт, м <sup>3</sup>	
					«-» Виймка	«+» Насип
1	44,36	0,40	7,29	100	608,50	5,49
2	41,09	0,08	6,69	100	614,20	1,20
3	0,32	45,02	7,28	100	4,37	618,40
4	0,32	43,43	7,16	100	4,37	606,56
Разом:					1231,54	1231,65

$$\text{Розбіжність: } 0,11 \text{ м}^3 < 1,5\%.$$

Більш точні результати дає спосіб підрахунку об'ємів земляних робіт по трикутних призмах. Для одержання трикутних призм у всіх квадратах в одному напрямку проводять діагоналі. Потім підраховують об'єми виймок і насипів у "однорідних" трикутниках:

$$V = \frac{1}{6} \cdot a^2 \cdot (h_1 + h_2 + h_3), \quad (4.5)$$

де  $a$  - сторона квадрата;

$h_1, h_2, h_3$  - робочі відмітки трикутника.

Для підрахунку об'ємів насипів і виїмок у змішаних трикутниках (пересічених нульовою лінією) спочатку знаходять баланс  $V_6$  земляних робіт, тобто різницю об'ємів насипів і виїмок:

$$V_6 = \frac{1}{6} \cdot a^2 \cdot (h_1' + h_2' + h_3') \quad (4.6)$$

де  $h_1', h_2', h_3'$  - робочі відмітки вершин змішаного трикутника зі своїм знаком (насип - зі знаком "+" і виїмка - зі знаком "-");

$a$  - сторона квадрата.

Далі визначають об'єми насипу і виїмки:

$$V_n (\text{або } V_v) = \pm \frac{1}{6} \cdot a^2 \cdot \frac{h_3^3}{(h_1 + h_3) \cdot (h_2 + h_3)}, \quad (4.7)$$

де  $h_1, h_2, h_3$  - ті ж позначення, що й у формулі (2.6), але узяті без урахування знаків, в абсолютних значеннях. При цьому  $h_3$  вибирають зі знаком, протилежним двом іншим робочим відміткам трикутника.

Приклад. Для "однорідного" трикутника № 1 першого квадрата (рис. 4.6.) об'єм виїмки:

$$V_{e1} = \frac{1}{6} \cdot 400 \cdot [(-2,52) + (-3,57) + (-0,57)] = -439,3 \text{ м}^3.$$

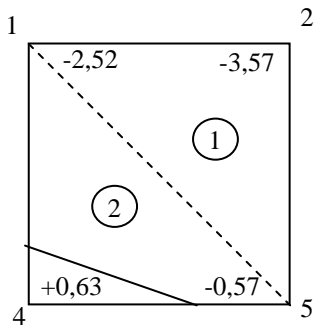


Рис. 4.6. Схема до розрахунку об'ємів земляних робіт по трикутниках

Баланс земляних робіт для змішаного трикутника № 2:

$$V_{62} = \frac{1}{6} \cdot 400 \cdot [(-2,52) + (-0,57) + 0,63] = -164 \text{ м}^3$$

Об'єм насипу трикутника № 2:

$$V_{n2} = \frac{1}{6} \cdot 400 \cdot \frac{0,63^3}{(2,52 + 0,63) \cdot (0,57 + 0,63)} = +4,4 \text{ м}^3$$

а об'єм виїмки трикутника № 2 буде дорівнювати алгебраїчній різниці балансу і насипу, тобто:

$$V_{e2} = V_{62} - V_{n2} = (-164) - 4,4 = -168,4 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм виїмки в першому квадраті буде дорівнювати сумі об'ємів виїмки в трикутниках № 1 і № 2:

$$V_e = V_{e1} + V_{e2} = (-439,3) + (-168,4) = -607,7 \text{ м}^3.$$

Аналогічно обчислюють об'єми для всіх інших змішаних трикутників і записують їх у відомість.



#### 4.7 Проектування похилої площини заданого проектного ухилу при нульовому балансі земляних робіт

Розв'язання задачі починають з обчислення ухилів проектної площини в напрямку двох взаємно перпендикулярних сторін квадратів (рис. 4.7.):

$$\begin{aligned} i_x &= i \cdot \cos \beta_1; \\ i_y &= i \cdot \cos \beta_2, \end{aligned} \quad (4.8)$$

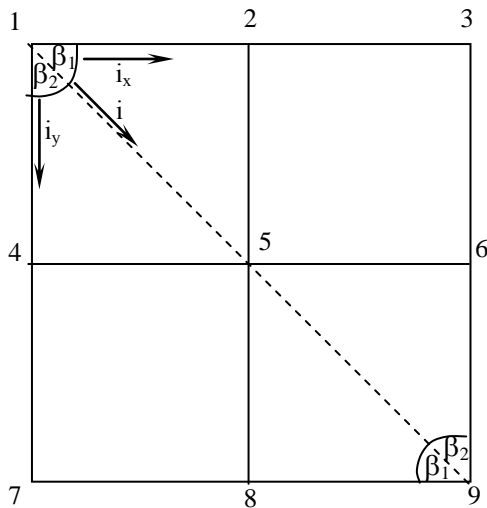


Рис.4.7. Схема до планування площадки під похилу площину

де  $i_x$  і  $i_y$  - ухили по взаємно перпендикулярних сторонах квадратів;

$\beta_1$  і  $\beta_2$  - кути між напрямком найбільшого ухилу  $i$  і відповідними взаємно перпендикулярними сторонами квадратів;

$i$  - заданий (проектний) ухил.

Кути  $\beta_1$  і  $\beta_2$  можуть бути розраховані з прямокутних трикутників чи зняті безпосередньо з плану за допомогою транспортира.

При проектуванні похилої площини з дотриманням балансу

земляних робіт попередньо визначають положення її центра ваги:

$$X_{ц.м} = \frac{\sum X_k}{n} \quad \text{і} \quad Y_{ц.м} = \frac{\sum Y_k}{n}, \quad (4.9)$$

де  $X_k$  і  $Y_k$  - координати вершин квадратів.

За формулою (25.1) обчислюють проектну відмітку центру ваги  $H_{ц.т.}$  балансуєчої площини.

По відомій відмітці центру ваги обчислюють проектні відмітки  $H_{пр}$  всіх вершин квадратів:

$$H_{пр} = H_{ц.м.} + i_x d_x + i_y d_y, \quad (4.10)$$

де  $d_x$  і  $d_y$  - відстані відповідних вершин квадрата від центру ваги в прямокутній системі координат;

$i_x$  і  $i_y$  - ухили зі своїм знаком в напрямку від центру ваги до цих вершин.

Потім обчислюють робочі відмітки цих вершин.

Приклад. Дані: найбільший ухил у напрямку діагоналей 1-5-9 (рис. 4.7.)  $i=0,010$ ; сторона квадрата 20 м; чорні відмітки вершин квадратів зазначені на рис. 4.2.

Оскільки напрямок найбільшого ухилу збігається з діагоналями квадратів, то кути, складені цим напрямком і сторонами квадратів, будуть рівні:  $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$ .

Тоді 
$$i_x = i_y = i \cdot \cos 45^\circ = 0,010 \cdot 0,707 = 0,007 .$$

Центром ваги фігури буде вершина 5, а її проектна відмітка:

$$H_{ц.т.} = \frac{194,53 + 385,00 + 197,20}{4 \cdot 4} = 48,73 м.$$

Обчислення проектних відміток інших вершин квадратів і їхніх робочих відміток виконується відповідно до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Відомість обчислення проектних і робочих відміток вершин квадратів

Номери вершин	Ухили, тисячні, відносно центру ваги		Відстані від центру ваги, м		Проектні відмітки, м	Чорні відмітки, м	Робочі відмітки, м
	$i_x$	$i_y$	$d_x$	$d_y$			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+0,007	+0,007	20	20	49,01	51,25	-2,24
2	0	+0,007	0	20	48,87	52,30	-3,43
3	-0,007	+0,007	20	20	48,73	51,00	-2,27
4	+0,007	0	20	0	49,87	48,10	+1,77
5	0	0	0	0	48,73	49,30	-0,57
6	-0,007	0	20	0	48,59	48,50	+0,09
7	+0,007	-0,007	20	20	48,73	46,28	+2,45
8	0	-0,007	0	20	48,59	45,10	+3,49
9	-0,007	-0,007	20	20	48,45	46,00	+2,45

Обчислення балансу й об'ємів земляних робіт виконують так само, як при плануванні ділянки під горизонтальну площину. На рецензування представляють наступні матеріали:

- журнал нівелювання;
- план ділянки в горизонталях;
- відомості балансу й об'ємів земляних робіт;
- картограму земляних робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курс инженерной геодезии. / Под ред. В.Е. Новака. – М.: Недра, 1989.
2. Лабораторный практикум по инженерной геодезии. / В.Ф. Лукьянов и др. - М.: Недра, 1990.
3. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Под ред. Михелева. – М.: Высш. шк., 2000.
4. Кулешов Д.А., Стрельников Т.Е. Инженерная геодезия для строителей - М.: Недра, 1990.
5. Руденко А.А., Терех М.Д. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей 7.092101 – «Промислове та цивільне будівництво», 7.092103 – «Міське будівництво та господарство», 7.092601 – «Водопостачання та водовідведення» - Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2005.
6. Матаев А.Ф. Универсальные геодезические таблицы – М.: Недра, 1979.
7. Митин Н.А. Таблицы для разбивки круговых кривых на автомобильных дорогах. – М.: Недра, 1990.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1990.
9. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя, 1986.

*Методичне видання*

**А. І. Юхименко**

*к.т.н., доцент*

## **ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ**

### **Методичні вказівки**

### **до контрольних та самостійних робіт**

*для студентів ЗДІА*

*спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"*

*денної та заочної форм навчання*

Підписано до друку 04.07.2018р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 2,8. Наклад 1 прим. Ціна 17,33 грн.

Внутрішній договір № 164/18

Запорізька державна інженерна академія  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею  
Запорізької державної інженерної академії  
з оригінал-макету авторів

69006, м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226  
ЗДІА