

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ*  
*ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ*  
*ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ ТА ТУРИЗМУ*  
*Кафедра геодезії і геоінформатики*

***Кваліфікаційна (дипломна) робота***

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«Дослідження та вдосконалення методики високоточного  
нівелювання із застосуванням електронних нівелірів»**

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Виконав: студент групи ЗВ-63

**Луцків Н.І.**

Науковий керівник: к.е.н., доцент

**Рій І.Ф.**

Рецензент: \_\_\_\_\_

**Львів 2024**



## УДК 528. 48

Дослідження та вдосконалення методики високоточного нівелювання із застосуванням електронних нівелірів. Луцків Н.І. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. Львівський національний університет природокористування, 2024.

74 сторінки текстової частини, 14 таблиць, 16 рисунків, 22 літературних джерел.

У роботі проаналізовано способи зміни висоти горизонту приладу та їх вплив на точність нівелювання. У результаті нами запропоновано вдосконалену методику використання цифрового нівеліра. Для зменшення впливу переміщень нівеліра та рейок на точність і скорочення часу на зміну висоти нівеліра, висунуто пропозицію використання методики нівелювання з використанням цифрового нівеліра без перезміни горизонту приладу. Цей підхід призведе до скорочення часу роботи на станції та зменшення впливу систематичних похибок.

**Ключові слова:** геометричне нівелювання, штатив, вертикальна рефракція, перевищення, точність вимірювання, відстань, похибка.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ОСНОВНІ МЕТОДИ ТА СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ .....	7
1.1 Основні вимоги до високоточного геометричного нівелювання .....	7
1.2 Геометричне нівелювання способом “вперед-назад” .....	9
1.3 Нівелювання способом “з середини” .....	11
1.4. Моторизоване високоточне геометричне нівелювання .....	13
2. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ ....	18
2.1. Особливості конструкції цифрових нівелірів та рейок .....	18
2.2 Основні похибки цифрового нівелювання .....	24
2.3 Перевірки та дослідження цифрового нівеліра SOUTH DL-202 .....	27
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ .....	36
3.1. Дослідження впливу вібрації системи "Штатив - нівелір" на точність вимірювань цифровим нівеліром .....	36
3.2. Вплив рефракції на точність геометричного нівелювання .....	40
3.3. Удосконалення методики нівелювання цифровим нівеліром .....	44
3.4 Удосконалення технології геометричного прецизійного нівелювання за допомогою цифрових нівелірів .....	46
3.5. Удосконалення методики виконання високоточного нівелювання за допомогою цифрових нівелірів в умовах недостатньої освітленості штрихкодових рейок .....	51
4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ .....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	64
ВИСНОВКИ .....	70
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	72

## ВСТУП

Геометричне нівелювання залишається важливим методом для створення точних висотних мереж. Незважаючи на розвиток супутникових технологій, цей метод залишається ключовим і матиме значення у майбутньому завдяки вдосконаленню геодезичних приладів. Розвиток цифрових нівелірів підвищує точність і автоматизацію вимірювань, що корисно для ефективності нівелювання.

Високоточне геометричне нівелювання використовується для безпечної експлуатації інженерних споруд і визначення їх деформацій. Розвиток геодезичних приладів призвів до нових можливостей для вимірювань. Електронні нівеліри, зокрема роботизовані, є точними і швидкими, уникнення помилок виконавця.

Нівелювання горизонтальним променем лишається одним з найточніших методів визначення перевищень. Використання цифрових нівелірів усуває похибки відлічування та особисті помилки, мінімізуючи їх.

Дослідження показали, що точність методу "вперед-назад" відповідає точності методу "середини". Цей метод спрощує вибір ліній нівелювання та контролює положення візирного променя.

Багато досліджень присвячено розвитку геодезичних методів для визначення деформацій споруд. Проте, увага до використання цифрових нівелірів у нівелюванні I та II класів та прецизійному нівелюванні залишається недостатньою висвітлена у геодезичній літературі.

Мета дослідження - вдосконалення високоточного нівелювання за допомогою цифрового нівеліра та апробація системи "цифровий нівелір – штрих-кодова рейка" в різних умовах. Щоб цього досягти, запропоновано наступні завдання:

- Аналіз існуючих методик цієї системи.
- Дослідження точності вимірювань цифровим нівеліром при впливі вібрації.

- Розробка методики високоточного нівелювання короткими променями та класифікація прецизійного нівелювання за отриманою точністю.

Досліджено цифрові нівеліри та їх використання для високоточного нівелювання разом із штрих-кодovими рейками. Результати експериментів дозволили розробити метод компенсації впливу вібрації за допомогою амортизаційних підкладок.

Також створено класифікацію прецизійного нівелювання цифровими нівелірами та розроблено методику метрологічної перевірки системи "цифровий нівелір – штрих-кодова рейка" в різних умовах. Результати експериментів використані для складання актів метрологічних характеристик цифрових нівелірів South DL 202.

# 1. ОСНОВНІ МЕТОДИ ТА СПОСОБИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

## 1.1. Основні вимоги до високоточного геометричного нівелювання

Геодезичні роботи, у процесі результаті яких визначають перевищення (різниці висот точок місцевості), називають *нівелюванням*.

Нівелювання розрізняють: нівелювання астрономічне і астрономо-гравіметричне, нівелювання барометричне, нівелювання геометричне, нівелювання гідростатичне, нівелювання механічне, нівелювання мікрометричне, нівелювання супутникове, нівелювання тригонометричне. Знаючи в геодезичній мережі висоту нормальну однієї точки і перевищення відносно неї визначуваних точок, знаходять їх нормальні висоти, тобто висоти над відліковою поверхнею, прийнятою в Державній геодезичній мережі за вихідну (нульову).

Прецизійне нівелювання широко застосовується в різних галузях, таких як будівництво, монтаж, експлуатація складних споруд і обладнання, а також для наукових досліджень, які вивчають рухи Земної кори та інші важливі аспекти. Горизонтальний промінь є одним із найточніших методів вимірювання перевищень. Цифрові нівеліри дозволяють значно зменшити помилки вимірювання, що робить їх дуже точними або навіть усуває. Проте, вертикальна рефракція та нестабільність горизонтальності променя можуть впливати на точність геометричного нівелювання [20].

Інструкція [12] містить суворі вимоги для високоточного нівелювання, включаючи обмеження, пов'язані з атмосферними умовами, часом вимірювання, висотою променя над землею, довжиною та рівномірністю плечей нівелювання, а також дотриманням методики вимірювання у двох напрямках.

Під час нівелювання "зі середини" важливо контролювати стабільність положення візирного променя в горизонтальній площині. Зміна положення між спостереженнями може значно вплинути на точність визначення перевищення,

що є головним недоліком цього методу. У класах I і II значний час витрачається на вирівнювання плеч (з допуском 0,5 м та 1 м відповідно) та їхню довжину (з допуском 50 м). На нахилених ділянках є додаткові обмеження висоти променя над землею (0,8 м та 0,5 м відповідно) [12].

У геометричному нівелюванні визначення перевищення  $h$  ґрунтується на принципі візування горизонтальним променем.

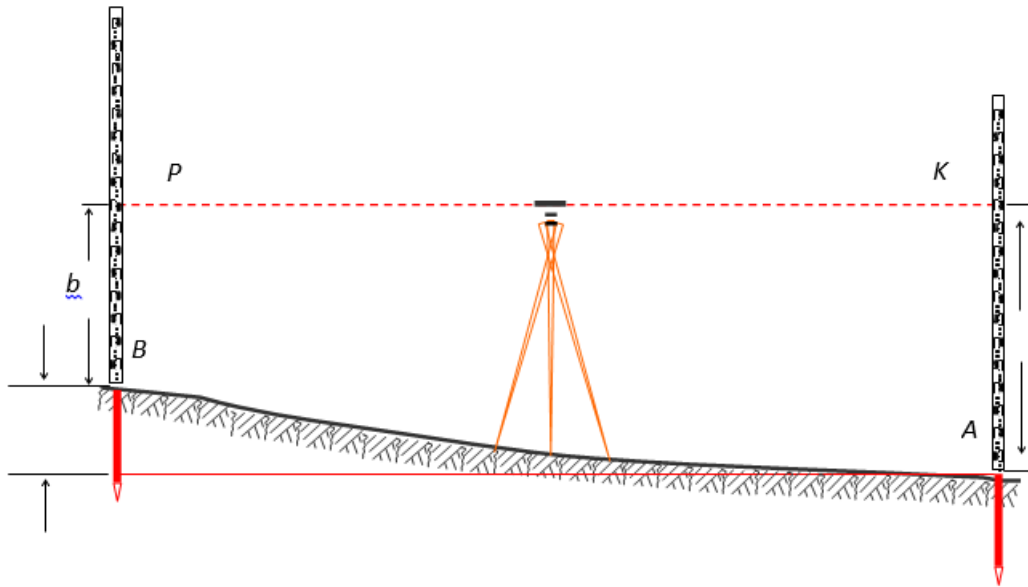


Рис. 1.1 Схема геометричного нівелювання

Горизонтальний промінь у геометричному нівелюванні задає спеціальний геодезичний прилад - *нівелір*, який встановлюють посередині між точками  $A$  і  $B$  (рис. 1.1). На точках  $A$  і  $B$  місцевості прямовисно встановлюють нівелірні рейки з нанесеними на них сантиметровими поділками. Горизонтальний промінь, перетинаючи рейки в точках  $K$  і  $P$ , відсікає на рейках від їхнього початку (п'ятки) відрізки  $a$  і  $b$ , які називаються *відліками* рейки.

Якщо нівелювання виконують від точки  $A$  до точки  $B$ , то точку  $A$  називають задньою і відрік  $a$  заднім, а точку  $B$  - передньою і відрік  $b$  - переднім. Для отримання перевищення від заднього відріку  $a$  віднімають передній -  $b$ .

Як бачимо з рис. 1.1, перевищення  $h$  між точками  $A$  і  $B$  дорівнює:

$$h = a - b. \quad (1.1)$$

Виконання високоточного геометричного нівелювання вимагає точної інструкції [12], високоточних приладів і кваліфікованих виконавців. Завдяки



електронним цифровим нівелірам з кодовими рейками збільшено точність нівелювання, уникнуто особистих похибок та зменшено похибки відлічування та компенсації горизонтального положення променя нівелювання. Нові методики розробляються для урахування нівелірної рефракції під час високоточного геометричного нівелювання. Спосіб геометричного нівелювання "вперед-назад" [6] дозволяє контролювати процес нівелювання на кожній лінії визначення перевищення.

## 1.2. Геометричне нівелювання способом "вперед-назад"

Під час геометричного нівелювання способом "вперед - назад" виконують подвійні вимірювання перевищення способом "вперед" з кінців лінії нівелювання (прямо і зворотно) (рис. 1.2.)

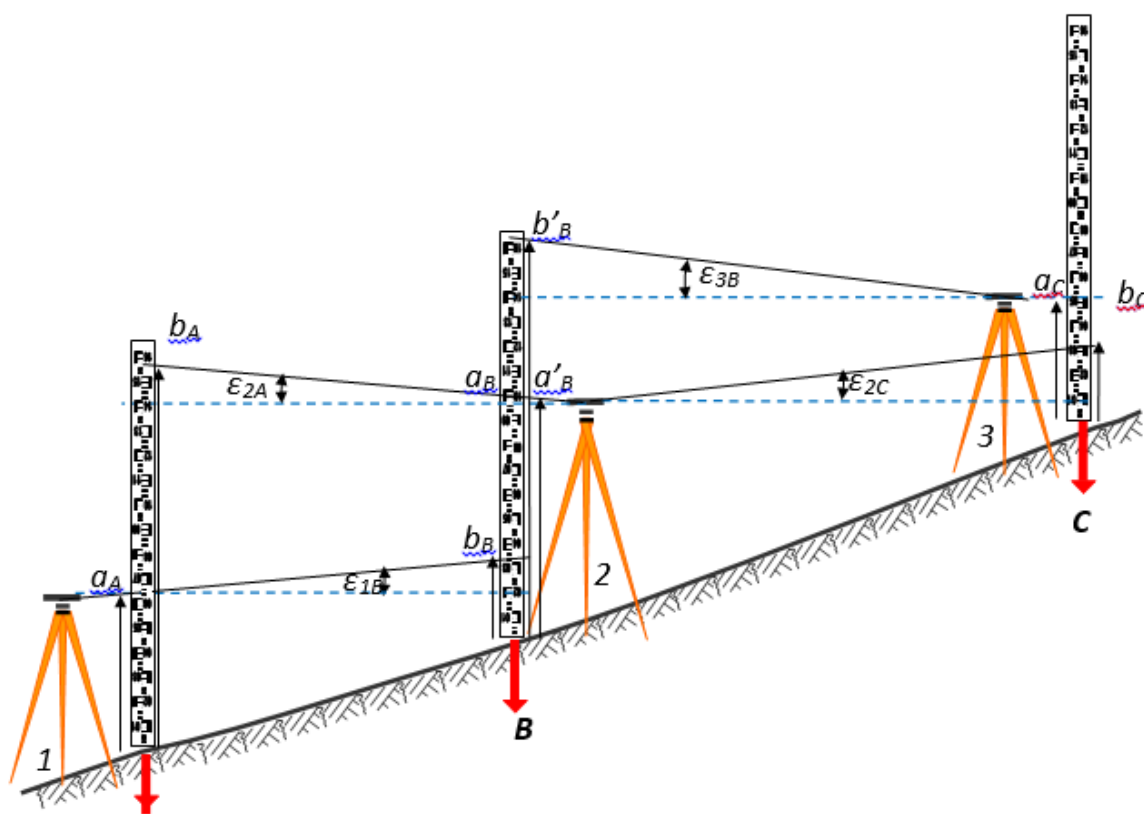


Рис. 1.2. Геометричне нівелювання способом "вперед-назад"

На одній і тій же лінії нівелювання, виконуючи подвійні вимірювання перевищення у прямому і зворотному напрямі, а також умову рівності плеч  $S_{1B}=S_{2A}$ , перевищення по лінії АВ отримують за формулою

$$h_{AB} = \frac{h_{\text{прямо}(AB)} - h_{\text{зворотно}(AB)}}{2} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2} - (k_{1B} - k_{2A}) \frac{S_{1B}^2}{4R_3}. \quad (1.2)$$

де  $a_A, a_B$  – відліки ближніх рейок, що встановлені в точках А і В;

$b_A, b_B$  – відліки дальніх рейок, встановлених у цих же точках;

$S_{1B} = S_{2A} = S_{AB}$  – горизонтальна віддаль між нівеліром, встановленим в положенні 1 та 2, та дальньою рейкою;

$k_{1B}, k_{2A}$  – коефіцієнти вертикальної рефракції відповідно вздовж ліній  $S_{1B}$  і  $S_{2A}$ .

Прийнявши рівність коефіцієнтів вертикальної рефракції  $k_{1B}=k_{2A}$ , нехтуючи впливом вертикальної рефракції, середнє перевищення обчислюють за спрощеною формулою

$$h_{AB}^{\text{ср.}} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2}. \quad (1.3)$$

Для контролю нівелювання на станції пропонується обчислювати сумарний кут  $\varepsilon''$ , який містить кутові величини за негоризонтальність візирного променя, вертикальної рефракції та кривини Землі, за такою формулою:

$$\varepsilon'' = \left( \frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} \right) \frac{\rho''}{S_{AB}}, \quad (1.4)$$

де  $\rho''=206265$ .

Аналізуючи стабільність кута  $\varepsilon''$ , контролюють результат нівелювання. На кожній лінії нівелювання виконують перевірку головної умови нівеліра на горизонтальність візирного променя.

Для визначення самого ж кута негоризонтальності візирного променя  $i''$  необхідно враховувати вертикальну рефракцію і кривину Землі:

$$i'' = \left( \frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} - \frac{(k_{1B} - k_{2A})S_{1B}^2}{2R_3} \right) \frac{\rho''}{S_{1B}}. \quad (1.5)$$

За умови стабільності кута негоризонтальності візирного променя  $i''$  можна знайти середньоінтегральний коефіцієнт вертикальної рефракції за формулою

$$\overline{k}_{AB} = \left( \frac{a_A + a_B - b_A - b_B}{2} \right) \frac{R_3}{S_{AB}^2} + i'' \frac{R_3}{\rho'' S_{AB}} + 1. \quad (1.6)$$

У 2023 році на експериментальному полігоні ЛНУП були проведені дослідження двох методів нівелювання - "вперед-назад" та "з середини", використовуючи електронний нівелір South DL 202 та штрих-кодові рейки. Дослідження тривали з 7 по 23 вересня 2023 року з 9:00 до 17:30.

У цій програмі досліджень метод "вперед-назад" застосовувався з трьох станцій на відстані 50 м між ними. Перевищення вздовж ліній А-В і В-С склали -0,71767 м та -0,75930 м відповідно, здійснено 26 вимірювань на відстані 2,6 км.

Вимірювання перевищень виконувалися за різних погодних умов - сонячно, перемінно, похмуро. Використовуючи методику [6] для спостережень методом "вперед-назад", було знайдено середні перевищення між точками В і А та С і В, а перевищення між точками С і А - як суму з цих середніх перевищень.

### 1.3. Нівелювання способом "з середини"

Для вимірювання перевищення між точками С і А, використовувалась станція 2 зі сторонами плеч 50 м за методом "з середини". При цьому залишалася незмінною висота нівеліра, але була додатково виміряна рейка на короткому плечі – 3 м, що була розташована у точці В. Це сприяло використанню результатів вимірювань на станції 2 методом "вперед-назад", максимально синхронізуючи обидва підходи до спостережень.

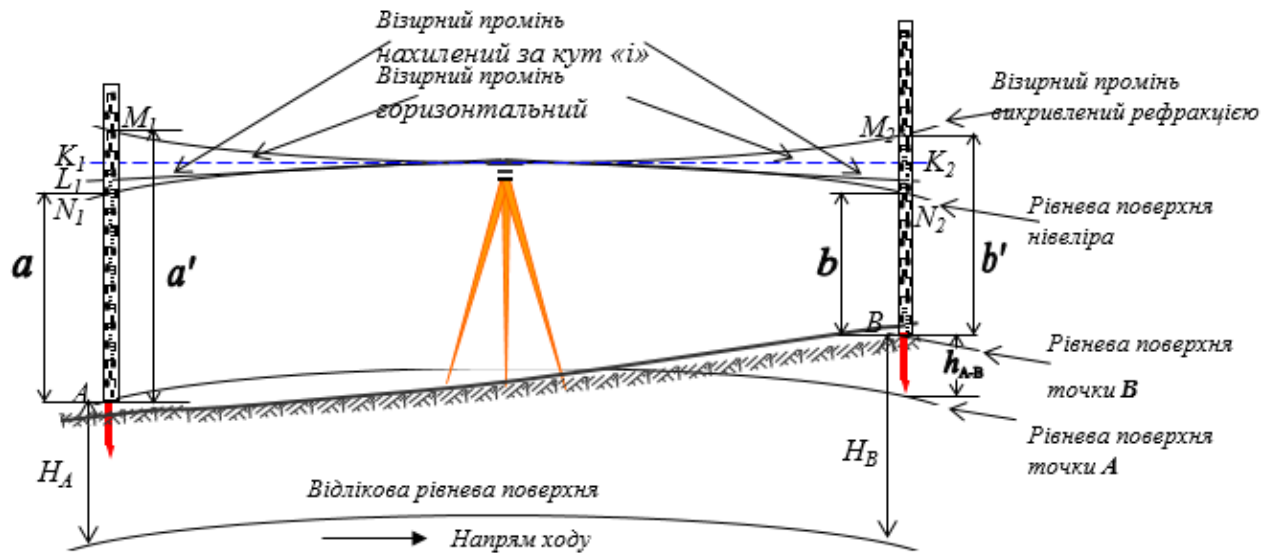


Рис. 1.3. Геометричне нівелювання способом "із середини"

У порівняльному експерименті було оцінено ефективність методів "із середини" і "вперед-назад" для визначення перевищень, і виявлено, що обидва підходи мають однакову точність. Показники середньої абсолютної помилки (0,39 мм) та середнього квадратичного відхилення (0,29 мм) були ідентичними. Зауважені систематичні похибки (наприклад, 10 мм на 2,6 км) свідчать про можливе накопичення похибок у вимірюваннях, що варто врахувати в майбутніх дослідженнях. Аналіз помилок залишено для подальшого дослідження.

Під час контролю за положенням променя візування використовувався метод "вперед-назад". За отриманими спостереженнями встановлено, що середнє значення негоризонтальності склало  $-1,76''$  з відхиленням від середнього у розмірі  $0,73''$ . Це свідчить про стабільність положення лінії візування та правильну роботу компенсатора нівеліра South DL 202.

У 2023 році на полігоні кафедри геодезії і геоінформатики ЛНУП проведено дослідження двох методів геометричного нівелювання. Використано три нівелірні ходи між пунктами RP01-RP03, RP03-RP07, RP07-RP01 в обох напрямках. Електронний нівелір South DL 202 та штрих-кодові рейки використовувались згідно з методикою і допусками для нівелювання III класу [12]. Результати представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

## Результати нівелювання експериментального полігону ЛНУП

Назва ходу	$L$	$n$	$\Sigma h$ прямо	$\Sigma h$ зворотньо	$\Delta h$	$\Sigma h$ сер
із середини						
RP01-RP03	162,04	5	-8,55257	8,55330	-0,00073	-8,55293
RP03-RP07	241,79	7	12,28763	-12,28780	0,00017	12,28772
RP07-RP01	236,64	4	-3,73553	3,73573	-0,00020	-3,73563
$\Sigma=$	640,47	16	-0,00047	0,00123	-0,00077	-0,00085
					m=0,00045	
спосіб "вперед-назад"						
RP01-RP03	161,35	9	-8,55203	8,55255	-0,00052	-8,55229
RP03-RP07	243,61	13	12,28852	-12,28823	-0,00028	12,28838
RP07-RP01	237,30	7	-3,73542	3,73495	0,00047	-3,73518
$\Sigma=$	642,26	29	0,00107	-0,00073	-0,00033	0,00090
					m=0,00051	

Аналіз таблиці 1.1 показує, що два методи нівелювання дають близьку точність. Спосіб "вперед-назад" використовує більше станцій, ніж метод "із середини", але експерименти підтверджують приблизно однакову точність обох методів. "Вперед-назад" спрощує процес нівелювання через установку лінії нівелювання. Цей метод також дозволяє контролювати положення променя візування нівеліра, обчислюючи сумарний кут негоризонтальності  $\varepsilon$ ". Щоб зменшити перефокусування зорової труби нівеліра, рекомендується починати нівелювання на наступній станції з плеча, на якому закінчилося нівелювання на попередній станції.

#### 1.4. Моторизоване високоточне геометричне нівелювання

Моторизоване нівелювання має велику перевагу перед іншими способами виконання геодезичних робіт, оскільки його можна проводити протягом усього сезону та протягом робочого дня навіть при різних погодних умовах. Цей факт підтверджений дослідженнями в різних країнах, таких як Замбія, Малайзія, Франція та США. В Швеції економічно виправдано знизити вартість виконання

робіт на половину в порівнянні з класичними методами. Спочатку виникла проблема перевезення інструментів для більш ефективного використання методу. Спочатку прилади перевозили на велосипедах, і роботи з нівелювання виконувались безпосередньо з транспорту. Пізніше почали використовувати мотоцикли, а потім автомобілі. Це питання залишалося актуальним протягом усього часу.

Завдяки фірмі Carl Zeiss, яка у 1972 році представила нівелір Ni002, настала нова ера у нівелюванні. У сучасні часи використовується нівелір DNA-03 від компанії Leica Geo System. Цей нівелір був першим, що автоматично горизонтує візирну вісь нівеліра і приводить її у робоче положення. Пізніше з'явилися нівеліри з компенсаторами, які автоматично встановлюють вісь приладу вертикально. Ці новітні технології значно поліпшили моторизоване нівелювання та збільшили його ефективність.

З використанням сучасних технологій досягнуті значні темпи вимірювання: середня швидкість нівелювання складає 2,2 км/год з середньою довжиною плечей 35 метрів; загальний час встановлення нівеліра на станції та вимірювання триває 1,6-2,4 хвилини, залежно від довжини сторін; середньодобові вимірювання становлять 12 км в одну сторону. Ці дані показують, що ефективний час вимірювання моторизованого нівелювання складає близько 5,5 годин на день, що є результатом оптимального розподілу роботи між всіма учасниками бригади.

Порівняно з іншими методами, моторизоване нівелювання дозволяє виконувати геодезичні роботи протягом усього полярного сезону. До інших переваг цього методу належить можливість отримати перевищення між точками, використовуючи всього лише два відліки на задню і передню рейку, що відбувається завдяки електронному нівеліру DNA-03 фірми Leica Geo System.

В Європі застосовують моторизований метод нівелювання через його економічну доцільність. На сьогоднішній день цей метод можна успішно впровадити і в Україні, особливо якщо буде доступний нівелір DNA03 від Leica GeoSystem.

Під час моторизованого нівелювання задіяна команда, яка складається із 6 осіб та 5 автомобілів. У команді є досвідчений геодезист, що проводить вимірювання з кузова автомобіля, спостерігач, який перевозить його між стаціями, і два реєчники, що переміщуються автомобілями. Попереду команди рухається авто з виконавцем, розставляючим дорожні знаки, щоб попередити учасників руху про проведення вимірювальних робіт. Ще один автомобіль їде позаду групи і збирає дорожні знаки, перевозить інструмент та забезпечує зв'язок між геодезистом і реєчниками за допомогою радіозв'язку.

Всі роботи виконуються безпосередньо з автомобілів, за винятком випадків, коли потрібно передати висоту від репера чи від проміжної станції до репера. Це пересування сприяє швидкості проведення нівелювання. Для цього використовується спеціальний штатив, одна ніжка якого знаходиться за межами автомобіля, а інші дві проходять крізь отвір у кузові авто та встановлюються на землі. Нівелір прикріплено до спеціального приладу, щоб автоматично піднімати його при транспортуванні. Зокрема, рейки перевозяться на спеціалізованих автомобілях і мають пристрої для стійкого установаження в робоче положення.

Відстані від нівеліра до рейок (плечі до 40 м) відрізняються не більше, ніж на 1 см. Для вимірювання плечей використовується електронний спідометр на кожному автомобілі, що дає змогу контролювати їх рівність. Автомобіль з рейкою під'їжджає до автомобіля з нівеліром, скидає показники спідометра на нуль і починається нове вимірювання. Коли відстань до табло стає 40 м, реєструвальна машина зупиняється. Щоб встановити рейки, автомобілі розташовуються по черзі: задня рейка, потім автомобіль з нівеліром і передня рейка, що також монтується на машині. Потім рейки регулюються за допомогою спеціального пристрою на автомобілі та сферичного рівня. Нівелір встановлюють на штатив та закріплюють його, опускають на землю за допомогою механізму, вбудованого в кузов автомобіля. Після опускання нівеліра на землю і фіксації його ніжок штатива, прилад вирівнюється за допомогою підіймальних гвинтів по сферичному рівню.

Задня рейка служить зразком для встановлення передньої. Спостерігач робить відлік за задньою рейкою, потім за передньою, завершуючи вимірювання на станції. Після того, як автомобіль з задньою рейкою переміщується вперед, вона стає передньою, а автомобіль з передньою рейкою автоматично перетворюється на задню. Рівномірність плеч контролюється згідно з описаним вище методом. Похибка нівелювання складає від 0,1 до 0,05 мм на кожному кілометрі подвійного ходу, а різниці в нулях рейок не враховуються як близькі до нуля. З урахуванням розташування нівеліру на суцільному штативі та променя візира, що проходить над поверхнею на висоті від 1,5 до 2 метрів, ця технологія сприяє усуненню багатьох джерел похибок і збільшує швидкість виконання робіт. Нівелювання першого класу проводять у прямому та зворотному напрямках. Рейки піддають калібруванню та перевірці 1-2 рази на рік. У порівнянні з традиційним методом, вартість робіт знижується на 50%. Більше 100 000 кілометрів подвійного ходу проведено методом моторизованого нівелювання, і результати підтверджують ефективність цього методу після 25 років його використання.

Новітні технології, такі як GPS, поки не можуть ефективно конкурувати з геометричним нівелюванням. Також у майбутньому традиційні методи визначення висоти матимуть своє місце на ринку нівелювання, забезпечуючи потрібну точність для мереж високої точності. Успіх залежатиме від метрологічної перевірки цифрових нівелірів та інварних штрих-кодових рейок. Компаратори рейок існують у двох типах: автоматичні та механічні, хоча вони відрізняються, обидва забезпечують однакову точність. Автоматичний компаратор працює за принципом порівняння штрихів рейки з еталоном, що дозволяє економити час та зусилля. Механічний компаратор вимірює ширину та відстань між штрихами для подальшого порівняння з допусками. Автоматичний компаратор повністю автоматизований, забезпечуючи економію часу.

Автоматичний компаратор – пристрій для компарування рейки, повністю автоматизований, оснащений електронним термометром, сервомоторами які



рухають рейку по всій довжині шахти, також має сенсори, які розташовані по всій її довжині, та забезпечують визначення метрологічних даних [Лаврішко].

У автоматичному компараторі вимірювання проводяться автоматично, тоді як у механічному виконується пряме порівняння. Щоб дослідити рейку та визначити похибку нанесення штрихів, вставляємо інварну рейку в пристрій і запускаємо відповідне програмне забезпечення на ЕОМ. Після підведення рейки до нульового положення за допомогою оптичної осі, ми активуємо пристрій, і лазерний промінь пройде шлях  $ab$ , повернувшись назад. Результати положення рейки відображаються на екрані ЕОМ, відліки беруться з обох сторін штриха, трьома наведеннями, а потім усереднюються. Отримані дані заносяться до таблиці на ЕОМ. Послідовно зміщуючи рейку на відрізок  $l_2$ , знову здійснюємо вимірювання по всій її довжині. Зазначається, що довжина відрізка  $l_2$  змінюється в залежності від типу штрихів рейки - метрових або дециметрових. Отримана таблиця містить дані про ширину кожного штриха та відстані між ними, які потім порівнюються з допустимими значеннями. В результаті вимірювань ми отримуємо похибку нанесення штрихів, яка не перевищує 0,05 мм. Ці результати, згідно з інструкцією, вважаються задовільними, що робить рейку придатною для використання в моторизованому нівелюванні I-го класу.

Моторизоване нівелювання є продуктивним і ефективним методом високоточного геометричного нівелювання. Цей метод виконується майже удвічі швидше і економічніше порівняно з класичними методами. Загалом у світі та Європі вже проведено понад 100 000 км моторизованого нівелювання, що підтверджує його перспективність навіть після 25 років використання для точних вимірювань. Навіть при несприятливих умовах середня квадратична похибка складає менше 1 мм. Покращені умови праці роблять цей метод фізично легшим, а також збільшують темпи виробництва на 50 % порівняно з класичним методом. Вартість робіт також зменшується на 50 % у порівнянні з іншими методами. З огляду на плани з створення нової нівелірної мережі в Україні, цілком доцільно залучити метод моторизованого нівелювання до цієї справи.

## 2. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

### 2.1. Особливості конструкції цифрових нівелірів та рейок.

**Нівелір** (від фр. Niveau - рівень, нівелір) - геодезичний інструмент для нівелювання, тобто визначення різниці висот (перевищення) між точками на земній поверхні та у відкритих і підземних гірничих виробках.

Нівеліри поділяються на кілька типів залежно від різних критеріїв:

#### 1) *За способом вимірювання:*

Прилади з горизонтальним променем візування, які можна розділити на дві основні категорії:

а) З циліндричним рівнем, такі як глухі, з перекладною трубою, лазерні (візирна вісь замінена або дубльована лазерним променем).

б) З компенсатором.

- Мікронівеліри.
- Нівеліри гідромеханічні.

#### 2) *За способом зчитування вимірювань:*

- Оптико-механічні (відлік по рейці, відлічує спостерігач).
- Цифрові (автоматизований процес вимірювання).

#### 3) *За рівнем точності:*

- Високоточні (для найвищих класів нівелювання та високоточного прицевийного нівелювання).
- Точні (для нівелювання IV-III класів).
- Технічні (для технічного нівелювання та будівельних робіт).

В останні роки набули поширення цифрові нівеліри. Принцип визначення перевищень цифровим нівеліром аналогічний до класичних оптичних нівелірах. Загальний принцип роботи цифрових нівелірів є подібним від різних фірм-виробників. Відмінності нівелірних систем в основному полягає в системах

кодування і, відповідно в пристрої блоку розпізнавання кодів [40, 43].

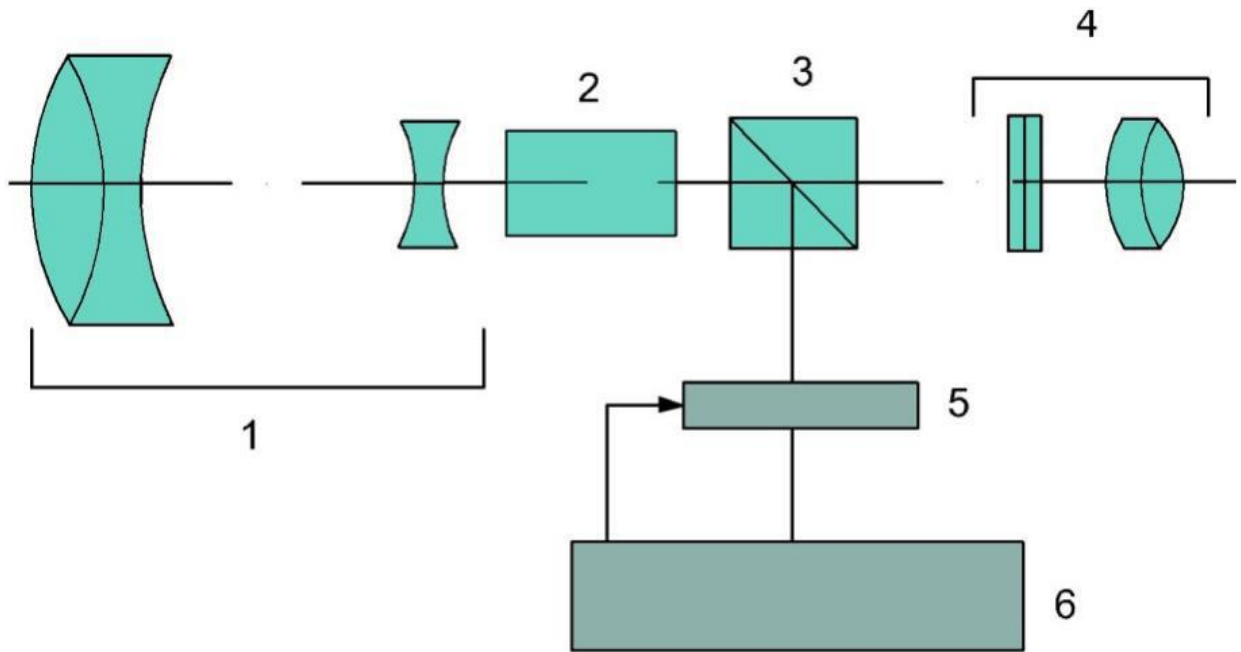


Рис. 2.1 Загальна схема цифрових нівелірів (1 – телеоб’єктив; 2 – оптичний елемент компенсатора; 3 – куб призма (світлорозділювач); 4 – сітка ниток з окуляром; 5 – ПЗЗ-матриця; 6 – мікропроцесор).

На рис. 2.1 представлена загальна схема, що охоплює всі сучасні цифрові нівеліри. Зоровий прилад (1), спільно з компенсатором нахилу (2), формує зображення кодової рейки, яке потім через світлорозділювач (3) направляється на багатоелементний приймач (БЕП) (5). Електронний блок (6) обробляє дані від приймача, визначаючи позначення на рейці, її довжину та перевищення на пункті вимірювання. Встановлені в окулярі (4) інструменти дозволяють візуально налаштувати позицію на рейці. На оберненому боці штрих-кодової рейки зазвичай розташована стандартна Е-подібна маркування, яка, за необхідності, дозволяє використовувати цифровий нівелір у оптичному режимі.

У цифрових нівелірах Leica зображення рейки передається на матричний фотодетектор через світлорозділювач. Цей пристрій (3) оброблений таким чином, що інфрачервона частина зображення рейки потрапляє на фотодетектор (5), тоді як світло видимого діапазону відображається на сітці ниток. Це забезпечує високу інтенсивність для фотоприймача, максимальна чутливість якого у інфрачервоній області. Лінійний фотоприймач складається з 256

світлочутливих фотодіодів довжиною приблизно 6,5 мм, розташованих через кожні 25 мкм. Кутове поле зору нівеліра -  $2^\circ$ . При мінімальній відстані до рейки в 1,8 м на детекторі відображається фрагмент рейки розміром 70 мм, а при максимальній відстані в 100 м - фрагмент розміром 3,5 м. Положення фокусної лінзи визначається за допомогою "датчика фокусу" [40].

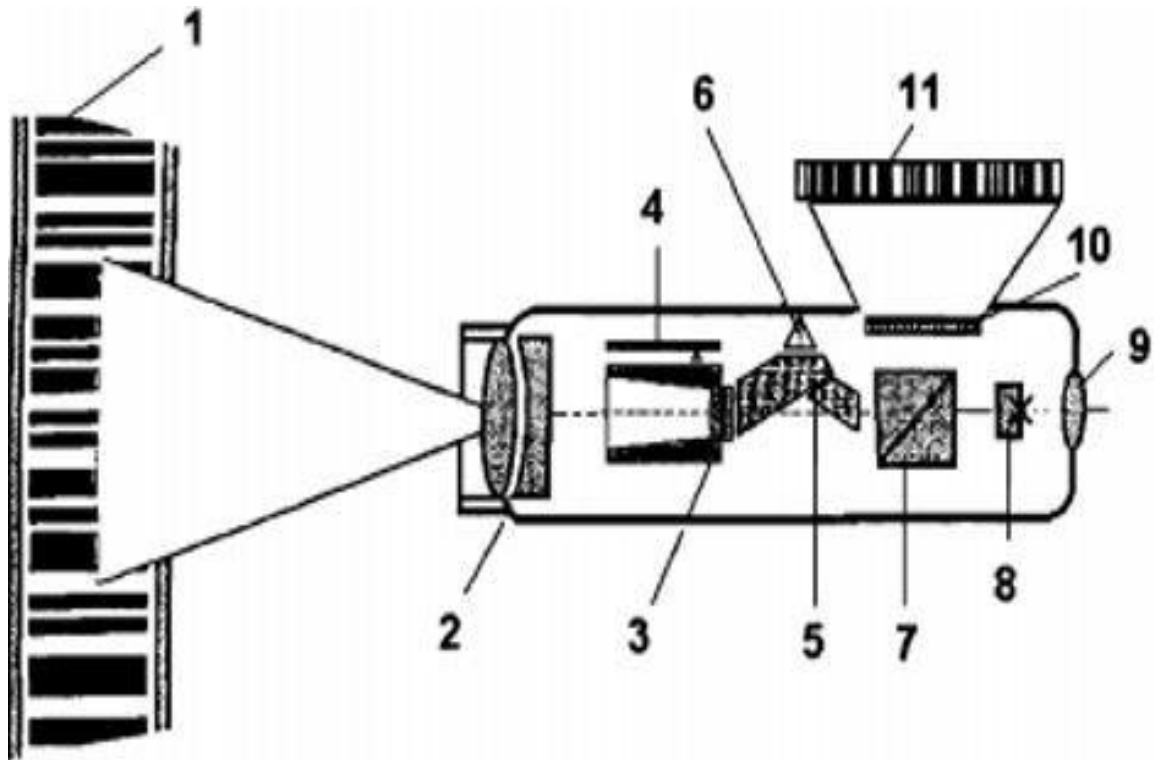


Рис. 2.2. Принцип зчитування відліку цифрового нівеліра (1 – штрихкова нівелірна рейка; 2 – об'єктив; 3 – фокусувальний компонент; 4 – датчик положення фокусувального компонента; 5 – блок компенсатора; 6 – блок контролю положення компенсатора; 7 – світлорозділювач; 8 – сітка ниток; 9 – окуляр; 10 – ПЗЗ-матриця; 11 – зображення коду нівелірної рейки.)

Обчислювальна система (рис. 2.2) застосовує однокристальний мікропроцесор та вентиляну матрицю для кореляційних розрахунків. Лінійний приймач конвертує код рейки у аналоговий сигнал, який потім посилюється, цифрується та відображується у вигляді 256 елементів зображення. Фокусна лінза рухається для вимірювань в діапазоні від 1,8 до 100 метрів на 14 мм для отримання відстані до рейки. Процес вимірювання складається з декількох етапів. Перший - націлювання на рейку та фокусування. Після натискання

кнопки початку вимірювань активується зчитування положення фокусної лінзи і контроль компенсатора. Зображення коду рейки сприймається та цифрується в ПЗЗ-матриці під час виконання вимірювань.

Спочатку виконується швидка "груба" оптимізація для приблизного визначення відліку по рейці та масштабу отриманого зображення, яка займає близько 1 секунди. Потім розпочинається точна оптимізація зображення, де відлік по рейці та масштаб обчислюються з використанням 8-бітного сигналу. Результати обробляються та реєструються.

На рейці (рис. 2.3) є штрих-кодові символи 11, розміщені через два інтервали "P1" та "P2", які залишаються сталими. Ці інтервали мають тільки два значення - "P1" та "P2", що відрізняються за величиною. Три послідовні штрихи формують один блок, а вибраний набір значень ширини позначається як  $W_x$ , де  $x = 1, 2, 3, 4 \dots$

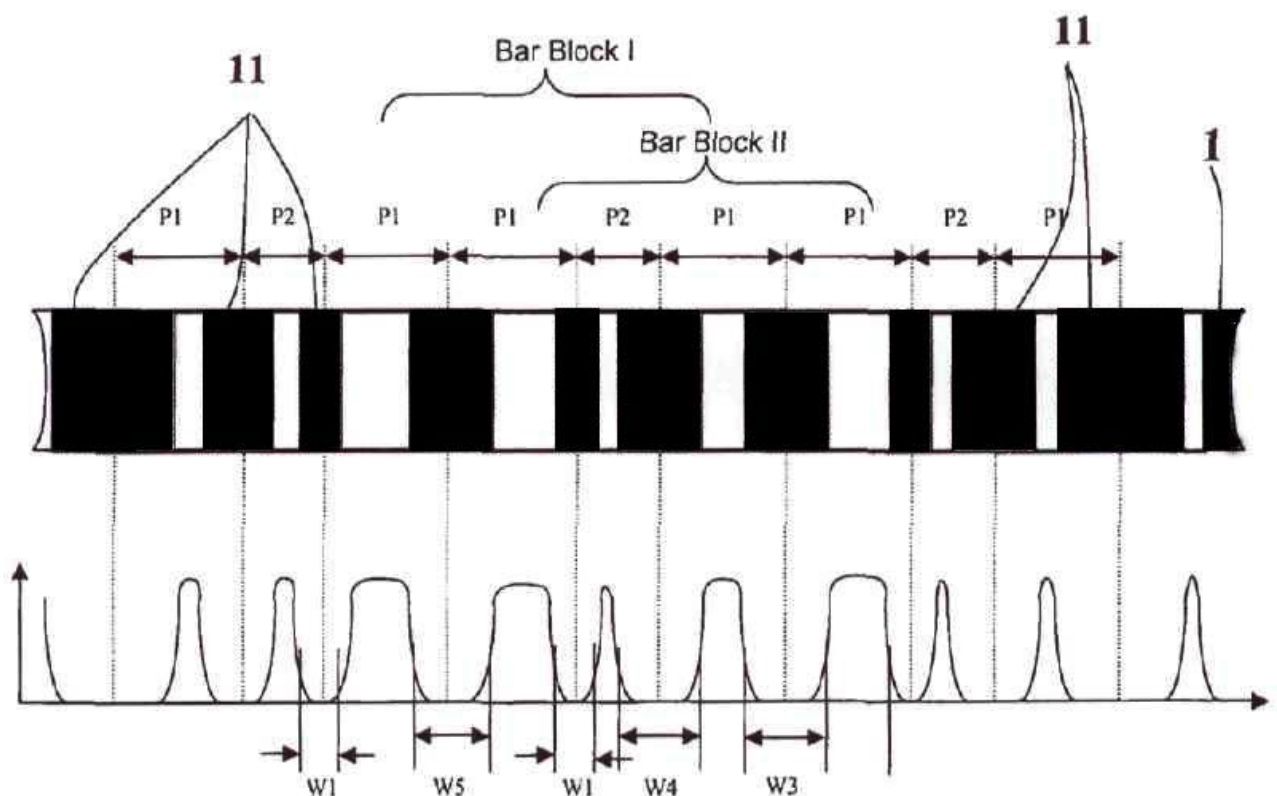


Рис. 2.3. Штрих-код нівелірів фірми Leica

Чорно-білі елементи рейки утворюють специфічний код, максимальна довжина якого складає 4,05 метри. Цей код вважається непередбачуваним та

забезпечує унікальність на короткому відрізку рейки. Аналіз результатів вимірювань базується на принципі взаємозв'язку.

У пам'яті пристрою зберігається послідовність коду, що складається з чорно-білих елементів, формуючи двійковий код завдовжки 4,05 метра. Усі компоненти коду мають розмір, кратний базовій ширині 2,025 мм. Ця послідовність коду відповідає послідовності натуральних чисел, при цьому максимальна ширина складає 15 базових компонентів (30,375 мм).

Виробник описує цю послідовність чисел як непередбачувану для створення "ілюзії випадковості", з метою уникнення повторень навіть у невеликому фрагменті коду. Під час вимірювання зображення участі коду реєструється сенсором та перетворюється в програмному забезпеченні. Отриманий сигнал фотоприймача порівнюється з еталонним за допомогою математичного методу. Цей процес включає визначення двох параметрів: "розташування на рейці" та "масштаб", яке називається оптимізацією з метою максимальної відповідності між вимірним сигналом і еталонним. Для точного розрахунку кореляції "розташування на рейці" та "масштаб" використовується 8-бітний сигнал. Після цього результати обробляються, відображаються і фіксуються.

Фрагмент кодової рейки для визначення горизонтальної візирної осі проходить через оптичну систему, що складається з об'єктива 1, фокусної лінзи 2, маятникового дзеркала 9 та жорстко закріплених призм 3 і 4, а також світлорозподільної призми 6 (рис. 2.4). Через окуляр спостерігається зображення рейки на площині сітки ниток для фокусування. Це дозволяє проектувати чітке зображення фрагмента рейки на лінійчатий фотодетектор. У всіх моделях нівелірів South використовуються однакові ПЗЗ приймачі. На ПЗЗ-лінійці довжиною 28,6 мм розміщено 2048 пікселів розміром приблизно 13,7 мкм кожен, з інтервалом між елементами в 0,25 мкм. Для обробки 2048 елементів приймача активуються близько 1800, через те, що краї зображення часто мають погіршені характеристики через слабке освітлення.

Зображення рейки породжує контрастний сигнал ПЗЗ-приймача, який передається до швидкого АЦП через аналоговий послідовний вихід. Мікроконтролер зберігає цифровий сигнал у своїй оперативній пам'яті. Остаточне цифрове відтворення направляється до програми обробки зображень для визначення показника, що відображається на екрані пристрою або зберігається у довгостроковій пам'яті (флеш-накопичувач).

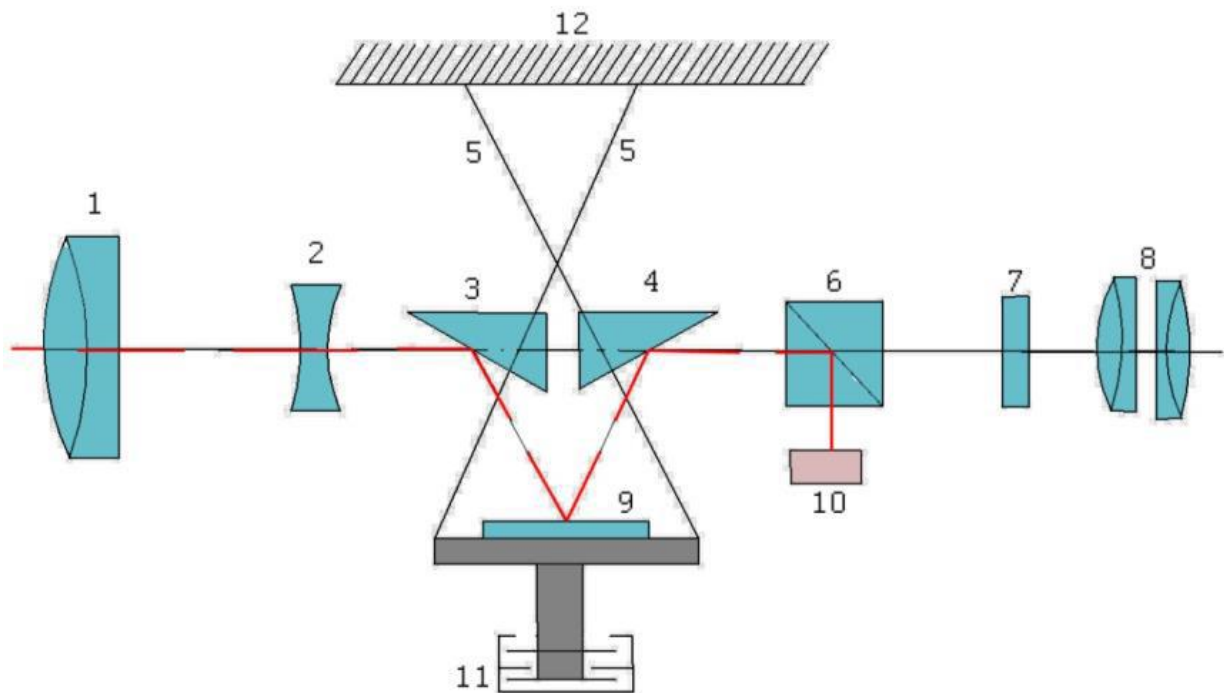


Рис. 2.4 Принципова схема нівеліра South 1 – об'єктив; 2 – фокусувальна лінза; 3, 4 – призми; 5 – нитки; 6 – світлорозподільвач; 7 – сітка ниток; 8 – окуляр; 9 – дзеркало-компенсатор; 10 – лінійчатий фотодетектор; 11 – повітряний демпфер; 12 – корпус труби.

Вимірювання по рейці відбувається через позицію країв інтервалів  $b_i$  на ПЗЗ-лінійці відносно оптичної вісі та номерів відповідних інтервалів  $S_i$ . Цифрові рейки нівелірів South мають два відмінних коди, залежні від розташування. Стандартний код (рис. 3.5. б) використовується для відліку від 4 м до 100 м, але код (рис. 3.5. г) – для відліку на невеликій відстані (від 1 до 4 м). Обидва коди забезпечують точне та чітке вимірювання.

Стандартний код представляє собою двійковий код, "слово" якого – 1 байт (8 бітів). Кожен біт має розмір 2 см, складений з двох 1-сантиметрових частин.

Довжина відрізка рейки  $\Delta l$ , що відповідає одному закодованому слову (байту), становить 15 см при загальній довжині рейки  $l = 3,0$  м,  $q = 2$  см та  $N = 7,5$  штрихів коду. Для надійності на великих відстанях виконується розпізнавання з двох "слів" (байтів), що означає, що відрізок рейки для розпізнавання складає 30 см ( $2\Delta l$ ).

Виробники активно працюють над досягненням високої точності вимірювань та роблять рейки легкими та міцними. Новий матеріал, скловолокно (фіберглас), з прекрасним співвідношенням міцності та ваги, та низьким коефіцієнтом лінійного розширення – 10 ррт (мм/км), з'явився недавно. Зазвичай на одному боці рейки наноситься двійковий код для автоматичного вимірювання, а на протилежному – звичайна шкала для візуального вимірювання.

## 2.2 Основні похибки цифрового нівелювання

У 1990 році був представлений перший цифровий нівелір, внаслідок чого у виробників виникло питання про точність вимірювань. Незважаючи на проведені дослідження, виявлено, що цифрові нівеліри мають систематичні відхилення, які походять від компенсатора нахилу. Ці недоліки стосуються горизонтального нахилу, гістерезису та інших факторів. Вітер також може викликати коливання компенсатора, що впливає на точність вимірювань, особливо в цифрових нівелірах. При високій освітленості реєстрація зображення займає менше часу, що може призвести до непомічення руху перехрестя сітки ниток. Технологія відліку осереднює вимірювання для покращення точності, як у нівелірах фірми Trimble-Zeiss.

Температура впливає на лінію візування цифрового нівеліра через об'єктив і приймач, які піддаються впливу температурних змін. Це може змінити вимірювальні характеристики ПЗЗ лінійки, а отже, і лінію візування. Температурний ефект у цифрових нівелірах виявляється сильніше, ніж у оптико-механічних приладах.



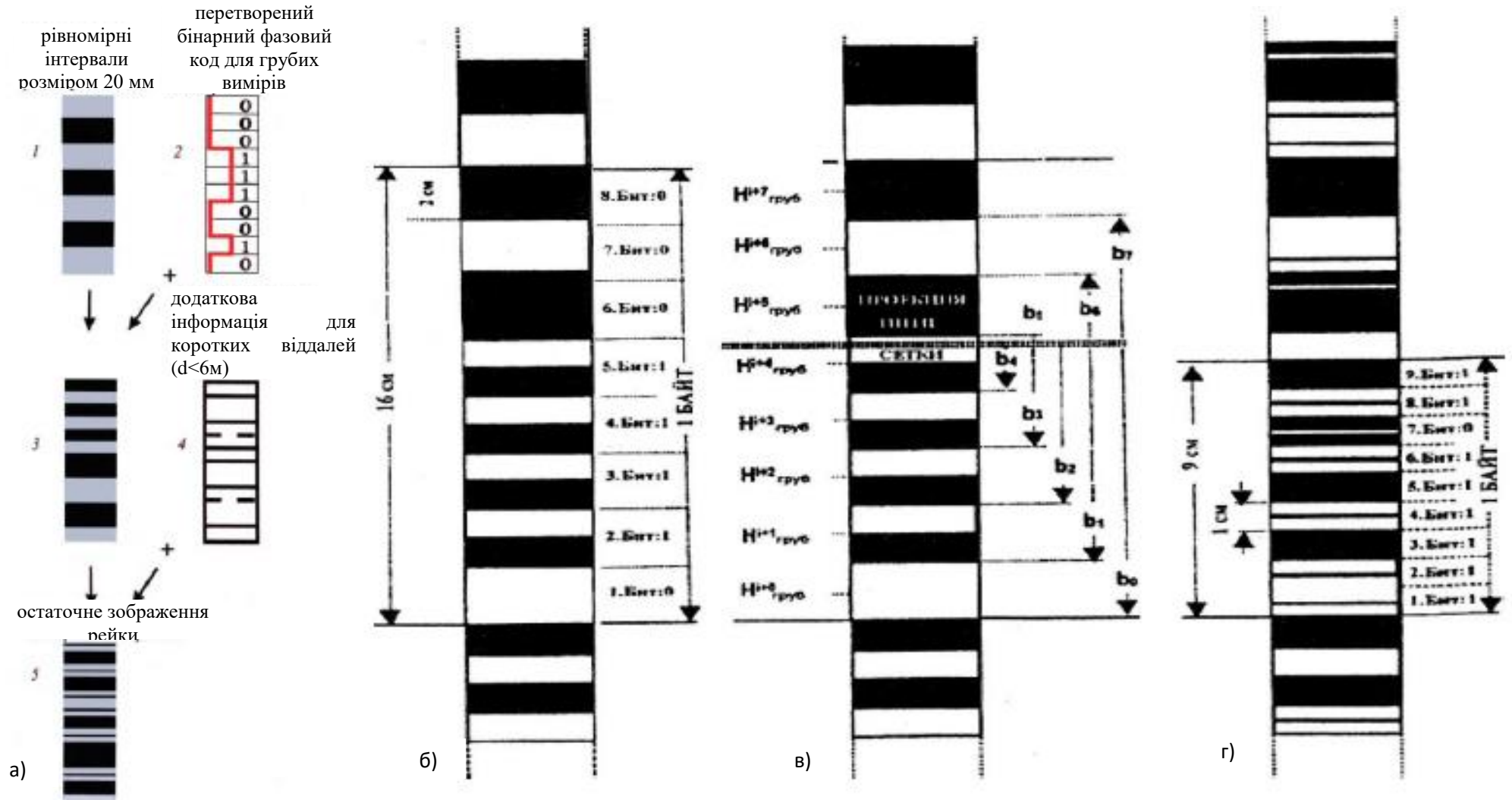


Рис. 2.5 Організація коду рейки South а) – організація коду рейки, б) – основа штрих-коду, в) – ділянка штрих-коду видимий далі 6 м, г) – ділянку штрих-коду видимий ближче 6 м.

Рейки: Виробники пропонують широкі діапазони вимірювань, але це може призвести до значних похибок на краях рейки. Під час точних вимірювань у цих областях, які можуть досягати до 6 см, систематичні похибки слід уникати, уникаючи використання крайових ділянок рейки, де немає можливості візуального спостереження.

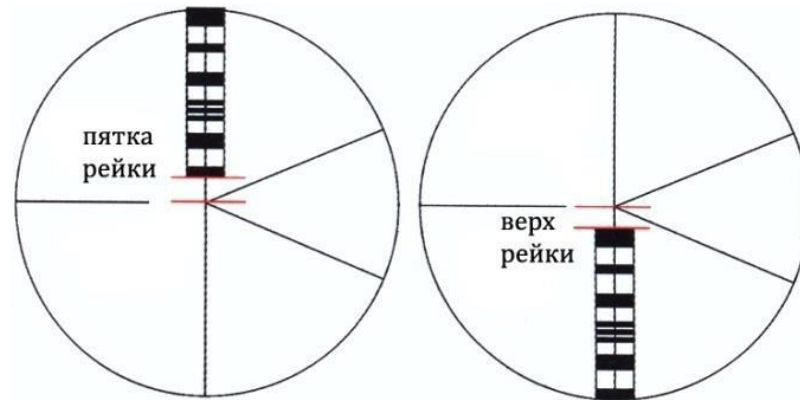


Рис 2.6. Вимірювання на краях рейки

Закриття зображення рейки: Оптичні перешкоди, такі як гілки або паркани, можуть частково закривати зображення фрагмента рейки. Якщо це становить менше 30% фрагмента коду та перешкода чітко відрізняється на зображенні, алгоритми обробки ідентифікують та виключають ці області для подальшої обробки, уникаючи порушення кодової послідовності.

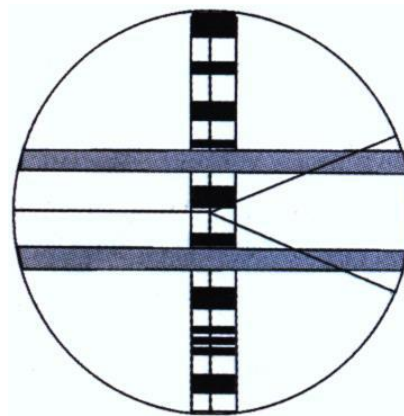


Рис. 2.7 Маскування коду візуальною перешкодою

Освітлення: В умовах недостатнього освітлення на ПЗЗ-приймачі немає достатньо світла для обробки. Галогенові приставні освітлювачі рейок можуть бути використані як рішення. Протилежна проблема виникає при вимірюванні у

напрямку сонця, коли сонячне світло може перешкоджати приймачу і окуляру, що вимагає їх захисту.

Рейка, яка не розташована перпендикулярно до напрямку спостереження, проектує на приймач ПЗЗ лише вузьку частину штрих-коду. Електронні нівеліри можуть без проблем працювати з таким розташуванням рейки, обертання якої може бути не менше 50 градусів.

Відхилення масштабу штрих-коду на рейці впливає так само, як у традиційних нівелірних рейках. Поміж переваг штрих-коду, цифрове нівелювання також має складні відхилення масштабу, які контролюються за допомогою інтерферометрів або компараторів, досягаючи точності в кілька мікрометрів.

Неадекватний масштаб штрих-коду може спричинити систематичні помилки у вимірюваннях до 0,4 мм через лінійну зміну масштабу віддалі від рейки. Помилка початку рейки і п'ятки, розташованої на ній, може спричинити розбіжності у вимірах.

Рейка, яка не перебуває вертикально, призводить до спотворень вимірювань через помилку установки. Навіть невеликий нахил може призвести до висотно-залежних відхилень. Але електронні нівеліри не можуть виявити цей нахил через особливості їх приймачів, що реєструють загальну світлову енергію на піксель, тому не можуть виявити похил штрих-кової рейки.

### **2.3 Перевірки та дослідження цифрового нівеліра SOUTH DL-202**

Нівелір DL-202 - точний цифровий прилад для технічного нівелювання IV і III класів та вимірювання висот на об'єктах. Автоматичне відлічування штрих-кодових рейок спрощує процес роботи. Відлік рейки та відстані до неї відображаються на дисплеї нівеліра, з можливістю автоматичного збереження результатів у внутрішній пам'яті. Отримані дані можна легко передати на ПК через USB порт для подальших розрахунків.



Рис. 2.8. Загальний вигляд цифрового нівеліра South DL 202

Таблиця 2.1

## Технічні характеристики нівеліра

<u>Нівелювання</u>		
Точність нівелювання (Середня квадратична похибка визначення перевищення на 1 км подвійного ходу)	Електронне вимірювання	±1,5 мм
	Оптичне вимірювання	±2,0 мм
<u>Вимірювання віддалі (електронне)</u>		
Діапазон вимірювання		від 1.5 до 105 м
Точність вимірювання віддалі (СКП)	До 10 м	± 10 мм
	Більше 10 м	1/1000
Час електронного вимірювання		3 с
<u>Зорова труба Прямого зображення</u>		
Збільшення		32 <sup>x</sup>
Мінімальна віддаль фокусування		1,5 м
Роздільна здатність		3''
Поле зору		1°20'
<u>Компенсатор</u>		
Компенсатор		Маятниковий, з магнетним демпфером
Діапазон роботи		±12'
Точність		0,5''/1'
<u>Загальні характеристики</u>		
Внутрішня пам'ять		16 Мб (до 10000 точок)
Дисплей		LCD, 128x32 dpi з підсвічуванням
Оцифрування горизонтального круга		1°
Ціна поділки сферичного рівня		8'/2 мм
Діапазон робочих температур		Від -20°C до +50°C

**1. Перевірка сферичного рівня**

*Вісь сферичного рівня має бути паралельна до осі обертання нівеліра.*

Круглий рівень установлюють по центру за допомогою трьох підймальних гвинтів. Повертають верхню частину нівеліра на 180° для перевірки рівняності. Якщо бульбашка залишається в центрі, перевірка успішна. У випадку, якщо відхилення бульбашки перевищує 0,3 поділки, за допомогою виправних гвинтів

коригують її положення на половину зазначеного відхилення до центру. Після цього проводять повторну перевірку.

## **2. Перевірка меж компенсації компенсатора**

*У нівелірів із компенсаторами діапазон роботи компенсатора має бути щонайменше 15'.*

Межі компенсації нівеліра визначаються обмеженням компенсатора адекватною ціною поділки сферичного рівня та точністю розміщення бульбашки. Визначення меж компенсації виконується через підймальні гвинти, розміщуючи нівелір на відстані близько 40 м від рейки. Перш ніж встановити бульбашку по центру, вимірюють рейку на різних позиціях підймального гвинта та фіксують значення, що можуть відрізнитися в межах точності вимірювання. Далі, враховуючи кількість зубців, які обернули гвинт, та ціну поділки одного зубця, розраховують кут межі компенсації компенсатора  $\Delta$  у вертикальному напрямку від вертикальної осі, наприклад, об'єктива донизу, за вищенаведеною формулою:

$$\Delta = \xi' \cdot m .$$

Встановлюють початковий зубець навпроти дротика й обертають підймальний гвинт на рейці. Обчислюють кут межі компенсації від вертикальної осі нівеліра та устанавлюють бульбашку рівня на середину. Потім обертають підймальний гвинт у вказаному напрямку й відлічують рейку для запису відліку. Множать кількість зубців на їхню ціну поділки для отримання меж компенсації компенсатора. Після повернення початкового зубця обертають гвинт в інший бік для визначення меж компенсації в протилежному напрямку (табл.2.2).

**3. У нівелірах із компенсаторами, які використовуватимуться у нівелюванні IV та III класу, середня квадратична похибка самоустановлення візирного променя має бути менша, ніж 0,5'.**

*Похибка визначення перевищення на станції нівелірами з компенсаторами, які використовуватимуться для нівелювання III класу має бути меншою 3 мм, а IV класу - 5 мм(для віддалі між рейками 100 м).*

## Дослідження меж роботи компенсатора нівелірів

Кут нахилу	Відлік рейки, мм			
	Поздовжній нахил нівеліра		Поперечний нахил нівеліра	
	об'єктів догори	об'єктів донизу	ліворуч	праворуч
0'	1205	1205	1205	1205
2'	1205	1205	1205	1205
4'	1205	1205	1205	1205
6'	1205	1205	1205	1205
8'	1205	1205	1205	1205
10'	1205	1205	1205	1205
12'	1205	1205	1205	1205
14'	1205	1205	1205	1205
16'	1205	1205	1205	1205
18'	1205	1205	1205	1208
20'	1205	1205	1201	
22'	1205	1209		
24'	1205			
26'	1201			

Систематична похибка нахилу візирної осі горизонтально на 1' нахилу має бути меншою 0,3".

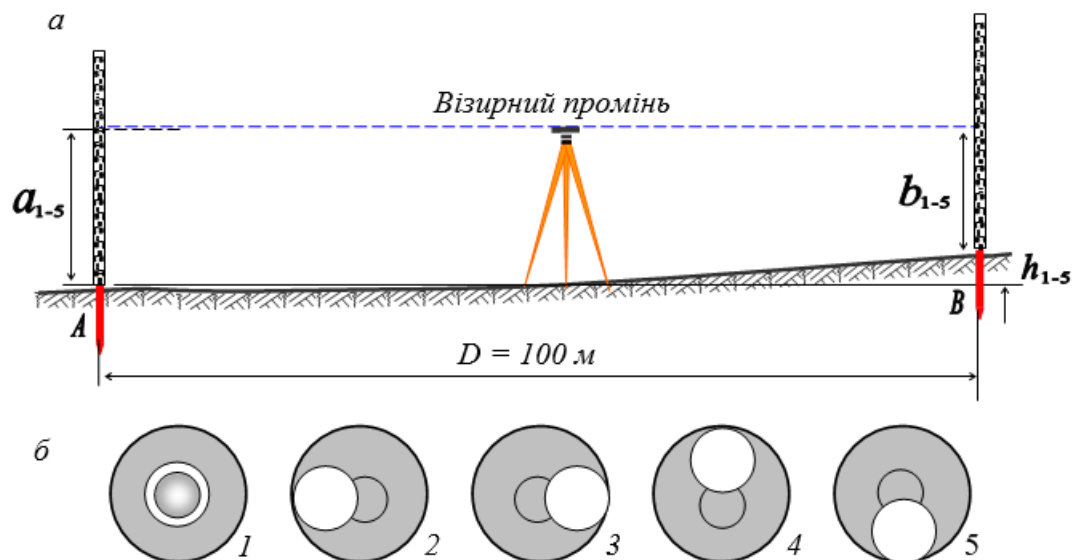


Рис. 2.9. Схема дослідження компенсатора (а); положення (1-5) бульбашки сферичного рівня для перевірки роботи компенсатора

Вимірювання виконують шляхом розташування двох рейок приблизно на відстані 100 метрів і постановки нівеліра між ними (рис. 2.9, а). На середині нівеліра розміщують бульбашку сферичного рівня, обклеюючи її прозорим матеріалом, який має два концентричні круги з відстанню 2 мм між ними, і

внутрішній діаметр яких дорівнює діаметру бульбашки. Після цього вимірюють штрихкоди рейок  $a_1$  і  $b_1$ , обчислюють перевищення. Бульбашку сферичного рівня переміщують до положень 2, 3, 4, 5 (рис. 2.9, б), вимірюючи штрихкоди рейок:  $a_2, b_2 \dots a_5$  і  $b_5$  після кожного переміщення. Проводять п'ять серій таких вимірювань. Якщо нівелір справний, то середні значення перевищень з п'яти серій для кожного положення 2, 3, 4, 5 практично не відрізняються від середнього значення перевищення п'яти серій у положенні 1 більш, ніж на 3 мм для III класу і 5 мм для IV класу.

Таблиця 2.4

## Дослідження якості роботи компенсатора нівеліра South DL 202

Номер серії	Перевищення, м				
	Бульбашка по середині, положення (1)	Поздовжній нахил		Поперечний нахил	
		Об'єktiv вниз, положення бульбашки (2)	Об'єktiv догори, положення бульбашки (3)	Праворуч, положення бульбашки (4)	Ліворуч, положення бульбашки (5)
1	1.6353	1.6359	1.6363	1.6354	1.6343
2	1.6354	1.6361	1.6366	1.6359	1.6349
3	1.6352	1.6357	1.6355	1.6354	1.6352
4	1.6351	1.6358	1.6367	1.6356	1.6354
5	1.6351	1.6356	1.6363	1.6357	1.6347
Середнє	<b>1.63522</b>	<b>1.63482</b>	<b>1.63628</b>	<b>1.63560</b>	<b>1.63490</b>
$\Delta h$ , мм		<b>-0,40</b>	<b>+1,06</b>	<b>0,38</b>	<b>-0,32</b>

Як видно з табл 2.4, всі різниці  $\Delta h$  менші, ніж 3 мм.

Систематичну похибку установлення візирної осі горизонтально на 1' нахилу визначають за формулою

$$m_{\text{сист}} = \frac{h_{\text{сер}} - h_i}{2D \cdot \alpha} \cdot \rho''$$

тут  $D$  – віддаль від нівеліра до рейки. Для віддалі між рейками 100 м,  $D=50$  м.  $\alpha$  кут нахилу нівеліра. Якщо нівелір нахилити на 1 поділку сферичного рівня, то  $\alpha=8'$ ,  $\rho''=206265$ .  $h_{\text{сер}}$  – середнє із п'яти серій (положення бульбашки (1), див. табл. 2.4)  $h_i$  – середнє із п'яти серій (положення бульбашки (2) – (5), див. табл. 2.4). Найбільше розходження для положення бульбашки об'єktivом догори  $h_{\text{сер}}$



$h_i=1,07$  мм.

$$m_{\text{сум}} = \frac{1.06}{2 \cdot 50000 \cdot 8'} \cdot 206265'' = 0.28''$$

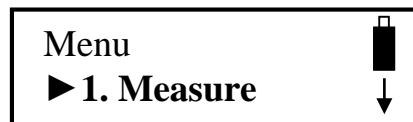
Що менше допуску 0,3".

#### 4. Головна перевірка нівеліра

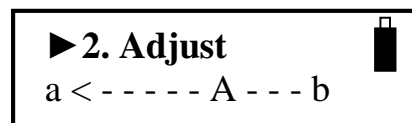
Під час виконання перевірки у налаштуваннях встановлюємо: Багаторазові (максимально можна встановити 9 разів) відлічування рейки. Заходимо у програму налаштувань **Set**. Вибираємо **MeasPara**→**MeasMode**→**N Times** та встановлюємо **№=9**→**ENT**. Дискретність відлічувань **Set**→**Meas Para**→**Min.Reading**→**0.5mm**→ **ENT**. Вибір процесу в якому вимірювання не зберігатимуться у пам'яті приладу **Set**→**Meas Para**→**Save Mode**→**OFF**→**ENT**. Натискаємо ESC для переходу до програм Menu.

Виберіть два закріплені пункти віддалі між якими  $\approx 50$  м, а перевищення між ними  $\leq 0,5$  м (рис. 2.10). Розділіть віддалі між пунктами  $a$  і  $b$ , у яких встановлено рейки, на 3 приблизно рівних відрізки. Установіть прилад в робоче положення на станції А.

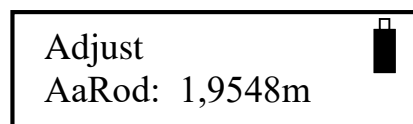
1. Увімкніть клавішею **Power** прилад.



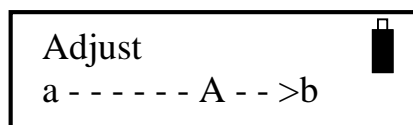
2. Виберіть ↓ пункт Adjust в головному меню і натисніть клавішу ENT



3. Спрямуйте нівелір на рейку показану на екрані стрілкою, розташовану в пункті  $a$ . Натисніть клавішу Meas



4. Підтвердіть отримане значення клавішею ENT



5. Спрямуйте нівелір на рейку показану на екрані стрілкою, розташовану

в пункті *b*. Натисніть клавішу **Meas**

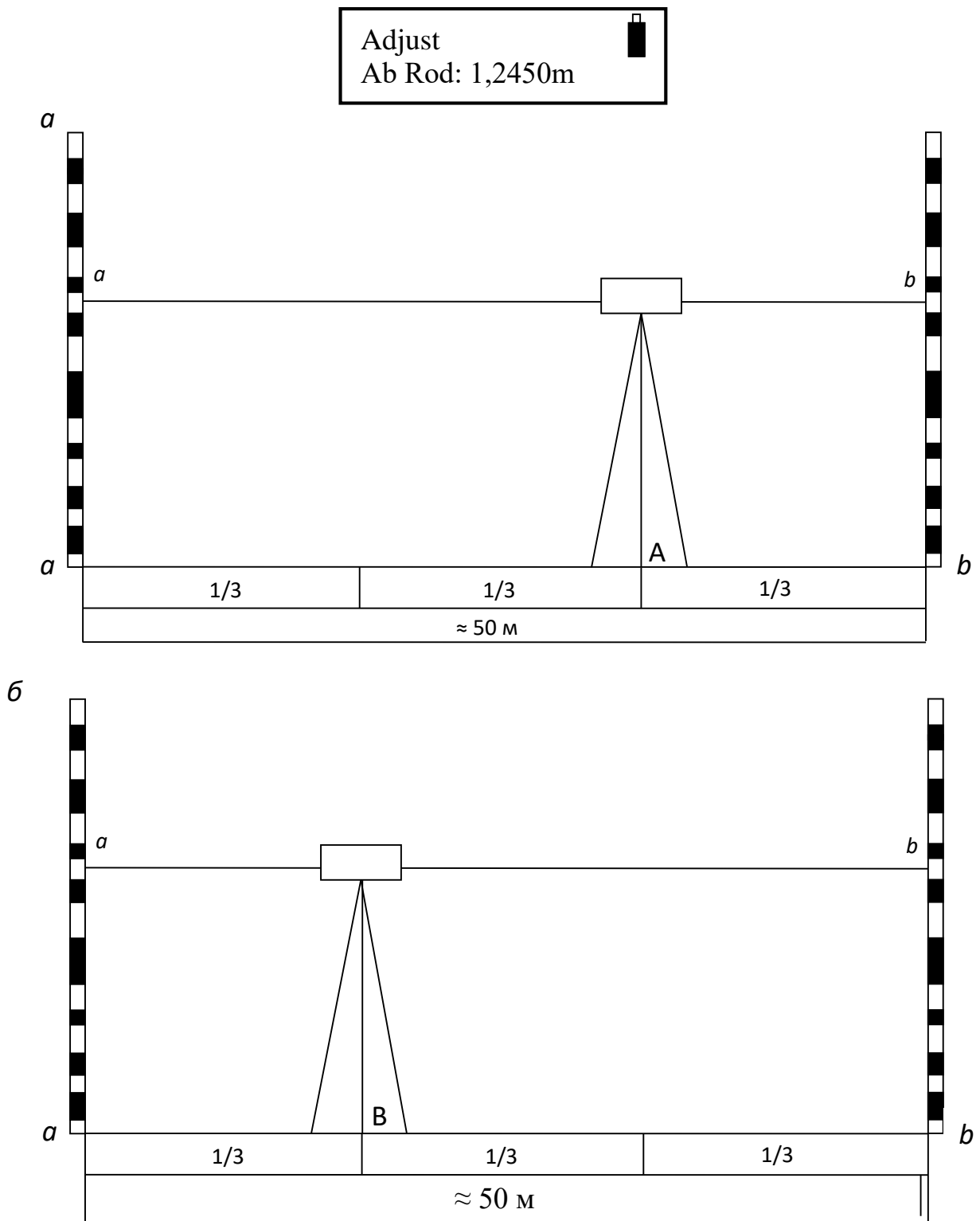
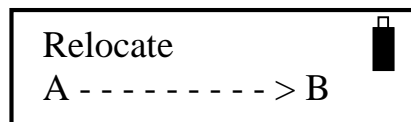


Рис.2.10 Перевірка головної умови нівеліра

6. Підтверджуємо отримане значення клавішею ENT



**Не вимикати нівелір !!!**

7. Перенесіть прилад на станцію В привівши нівелір в робоче положення.
8. Клавішею ENT підтвердіть перехід

Adjust  
 a < - - B - - - - - b

9. Спрямуйте нівелір на рейку розташовану в точці *a*. Натисніть Meas

Adjust  
 BaRod: 1,7270m

10. Клавішею ENT підтвердіть отримане значення

Adjust  
 a - - - B - - - - - > b

11. Спрямуйте нівелір на рейку розташовану в пункті *b*. Натисніть Meas

Adjust  
 BbRod: 1,0160m

12. Клавішею ENT підтвердіть отримане значення

13. Якщо головна умова виконується, то на екрані відобразиться

Calibrate Val:  
 Save: ENT No: ESC

+0,0011m  
 +6,9"

Calibrate Val: – результат перевірки. Якщо натиснути на клавіатурі стрілку ↓, то на другій сторінці відобразиться величина непаралельності  $x=+0,0011\text{m}$ , та кут «*i*»= +6,9".

### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ**

#### **3.1. Дослідження впливу вібрації системи "Штатив - нівелір" на точність вимірювань цифровим нівеліром.**

На сьогоднішній день з'явилися електронні нівеліри, що базуються на використанні електронних пристроїв для зчитування. Ці інноваційні пристрої мають численні переваги: поліпшену систему автоматичного розпізнавання за допомогою спеціального штрих-коду на рейці, точніше вимірювання відстаней, оптико-електронний лімб горизонтального кола, карту пам'яті для зберігання даних та компенсатор. У порівнянні з оптичними нівелірами, цифрові мають значно більшу точність. Цифрові нівеліри дозволяють проводити роботи з нівелювання I, II класів точності завдяки їхній високій точності, компенсатору та автоматичному врахуванню інструментальних поправок у вимірюваннях.

Існує низка факторів, які впливають на появу похибок у вимірюваннях цифровими нівелірами. Умови під час спостережень за деформаціями інженерних споруд майже не бувають ідеальними. Це може призводити до похибок під час відбору відліків по шкалі, що зумовлено переважно похибкою "погляду". Однією з причин такої похибки є вплив вібрації на систему "штатив – нівелір". У цій статті представлено дослідження впливу вібрації системи "штатив – нівелір" на вимірювані висоти і відстані за допомогою цифрових нівелірів. Метою цього дослідження є визначення оцінки й придатності цифрового нівеліра для геодезичних робіт в умовах впливу вібрації, а також визначення зміни відліків залежно від сили впливу вібрації на систему "основа – штатив – нівелір".

Вібрація - це коливальний рух системи з пружними зв'язками; рух точки або механічної системи, де відбувається чергування збільшення та зменшення значень принаймні однієї координати з часом. Незбалансовані силові впливи, викликані рухом транспортних засобів, машин, механізмів та агрегатів, є причиною виникнення вібрацій. Факторами цього дисбалансу можуть бути

нерівномірності матеріалу обертового тіла, відмінність центру маси тіла від осі обертання, деформація деталей, а також неправильна установка та експлуатація обладнання.

Основні характеристики вібрації: частота, амплітуда зміщення, швидкість, прискорення, період коливання. В умовах виробництва інколи зустрічаються прості гармонійні коливання. Під час функціонування машин та обладнання зазвичай виникає складний коливальний рух, що має аперіодичний, імпульсний або ударний характер. При виконанні нівелювання в умовах роботи активного обладнання завжди спостерігаються зазначені коливальні рухи. На деяких частинах промислових майданчиків часто відбуваються резонансні коливання з частотою 5-50 Гц та амплітудою 50-200 мкм.

Дослідження впливу вібрацій на точність результатів нівелювання системи "штатив - нівелір" при використанні оптичних нівелірів розпочалися через впровадження високоточного геометричного нівелювання для аналізу деформацій промислового обладнання [10]. Результати досліджень свідчать, що нівеліри з візуальним відліком не лише не поступаються рейковим нівелірам, але й у багатьох випадках перевершують їх за експлуатаційними характеристиками.

Для визначення впливу вібрації системи "штатив - нівелір" на точність вимірювань цифровим нівеліром було проведено експериментальне дослідження на геодезичному полігоні кафедри геодезії і геоінформатики Львівського національного університету природокористування з використанням штрихкової рейки та цифрового нівеліра South DL 202 № 02314.

Для імітації вібрації на нозі штатива використовувався електричний вентилятор з ексцентриком з додатковою масою на його лопаті. Експеримент відбувався за природного освітлення та при температурі 24°C у денний час на чотирьох станціях. Проводилися три серії відліків за рейкою на відстанях: 5,51 м, 9,93 м, 16,17 м, 20,67 м. Спочатку вимірювання виконували без увімкненого вентилятора на різних відстанях до рейки, після чого включали вентилятор, що створював вібрацію на частоті близько 10 Гц, і знову проводили вимірювання. Після цього ексцентрик розміщували на різних відстанях від осі обертання

вентилятора, повторюючи вимірювання, при цьому у кожній групі робили по 25 відліків на шкалі. Параметр вібрації змінювався п'ять разів для кожної відстані. Для аналізу отриманих даних обчислювалась СКП перевищень  $m_h$  за формулою Бесселя.

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{3(n-1)}}, \quad (3.1)$$

При виконанні вимірювань для кожного положення рейки було розраховано стандартне відхилення, що відображає розбіжність окремих вимірів з середнім значенням у програмі. Отримані результати відображені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Дослідження впливу вібрації системи "штатив - цифровий нівелір" на точність вимірювань.

Віддалі від цифрового нівеліра до рейки	S	№ серії	Середнє значення відліків, мм	Середнє значення віддалей, мм	Похибка погляду, мм	СКП віддалі, мм
	5,52		1	1503,75	5512,90	0,008
		2	1503,74	5512,40	0,015	0,50
		3	1503,73	5512,80	0,006	0,50
		4	1503,70	5512,40	0,018	0,50
		5	1503,70	5511,90	0,007	0,40
9,93		1	1437,28	9925,20	0,007	1,10
		2	1437,30	9920,70	0,015	1,70
		3	1437,29	9922,80	0,011	1,10
		4	1437,29	9929,20	0,012	0,90
		5	1437,30	9929,40	0,008	0,80
16,17		1	1508,19	16168,20	0,019	0,90
		2	1508,19	16167,20	0,022	1,50
		3	1508,18	16168,00	0,020	0,80
		4	1508,17	16167,90	0,027	0,90
		5	1508,21	16168,30	0,029	1,00
20,67		1	1483,98	20666,10	0,021	3,80
		2	1483,99	20671,00	0,049	6,50
		3	1484,13	20673,80	0,325	5,00
		4	1483,94	20661,60	0,025	6,60
		5	1483,92	20659,50	0,059	4,70

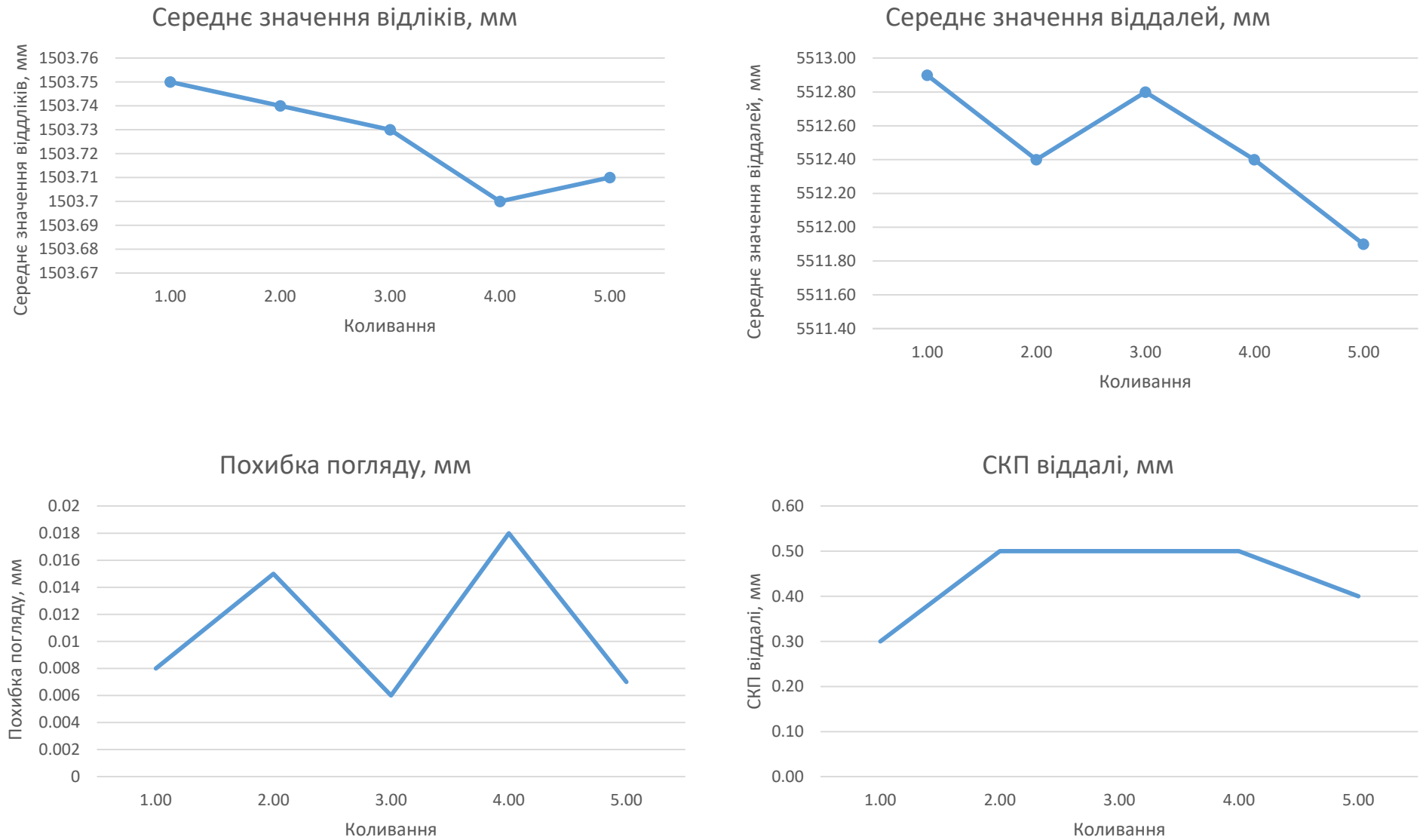


Рис. 3.1. Дослідження результатів при відстані від цифрового нівеліра до відмітки 5,51 метра.

За цими результатами були побудовані графіки, де по горизонтальній вісі відображається коливання штатива, а по вертикальній осі - виміряні значення (відліки та відстані) разом із їхніми похибками. Рис 3.1 демонструє один із таких графіків для відстані 5,52 м.

Результати досліджень показують наступне: При збільшенні відстані між нівеліром та рейкою спостерігається зростання похибки вимірювань та середньоквадратичного відхилення відстані. З таблиці 3.1 випливає, що оптимальна відстань умов впливу вібрації штатива з ексцентриком: 9,93 м для позиції 3 та 16,17 м для позиції 1. Система "штатив - нівелір" може ефективно відсікати вплив вібрацій, якщо відокремити її від джерела вібрацій за допомогою зовнішніх пристроїв стабілізації. Рекомендується використовувати віброізолятори з войлоку та гуми, які забезпечують захист від динамічних впливів, можливих на роз'юстування або відмову приладу.

Дослідження показали, що використання амортизаторів (з м'якої гуми) під ніжками штатива для системи "штатив - цифровий нівелір" зменшує похибку вимірювань на 40-60%.

### **3.2. Вплив рефракції на точність геометричного нівелювання**

Фактори, що впливають на точність геодезичних вимірювань можна розділити на внутрішні (інструментальні) та зовнішні. До внутрішніх можна віднести рівень точності геодезичного обладнання, правильність його налаштування, точність виконання вимірювань та інші параметри. Зовнішні чинники включають у себе складність рельєфу та умов ділянки, де проводяться вимірювання, погодні умови, час доби та інші фактори, які не завжди беруться до уваги при зйомці та обробці геодезичних спостережень, проте суттєво впливають на достовірність результатів.

Багато наукових видань [17, 18, 20, 21] присвячено питанням точності геодезичних вимірювань і впливу внутрішніх та зовнішніх факторів. Основна увага зосереджена на класі точності геодезичного обладнання, методиках



зйомки, розрахунків та обробки отриманих даних. Проте менше уваги приділяється зовнішнім, не залежним від геодезиста чинникам.

Геометричне нівелювання – це метод визначення перевищень через вимірювання по нівелірних рейках за горизонтальним візирним променем. Геометричне нівелювання проводять двома способами: «із середини» і «вперед» [7]. Характерною особливістю цього методу є те, що візирний промінь проходить через повітряні шари різної температури та щільності практично на всій своїй довжині. Якщо температура повітря в найвищій точці зйомки на пологому схилі має постійне значення  $t$ , то можна припустити, що повітряний шар уздовж цього схилу має температуру, близьку до  $t$ , і відповідну щільність. Це припущення було запропоноване французьким астрофізиком Андре Лаллеманом [21]. Крім того, він припустив, що температура повітря  $t$  змінюється в арифметичній прогресії, тоді як висота  $h$  над рівнем землі змінюється в геометричній прогресії.

$$t = a + b \cdot \log(h + c) \quad (3.2)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постійні, що підлягають визначенню дослідним шляхом.

Закони зміни  $t$  в залежності від  $h$  виявляються складними, і використання запропонованої Лаллеманом формули можливе лише при правильному підборі сталих  $a$ ,  $b$  та  $c$ . Професор Красовський Ф.М. розробив свій метод визначення рефракції, який полягає у наступному [20]. Якщо припустити, що горизонтальний промінь падає на нівелірну рейку у точці  $b$ , а світловий промінь, що проходить по рефракційній кривій  $Omb$ , - у точці  $B$  (рис. 3.2) Відрізок  $Bb$  - коригування заломлення. Якщо позначити відстань елемента  $mm_1$  на кривій заломлення від рейки як  $x$ , а кут, утворений елементом  $mm_1$  з нормаллю  $nn_1$  до нахилу  $AC$ , як  $J$ , то отримаємо наступне:

$$Bb = \varepsilon = \int_0^L x \cdot d \cdot J \quad (3.3)$$

де  $L$  – відстань від нівеліра до рейки.

Якщо висоту над поверхнею землі елемента  $mm_1$  позначити як  $h$ , відрізок  $Ab$  позначити як  $h_1$ , а ухил схилу як  $P$ , то отримаємо:

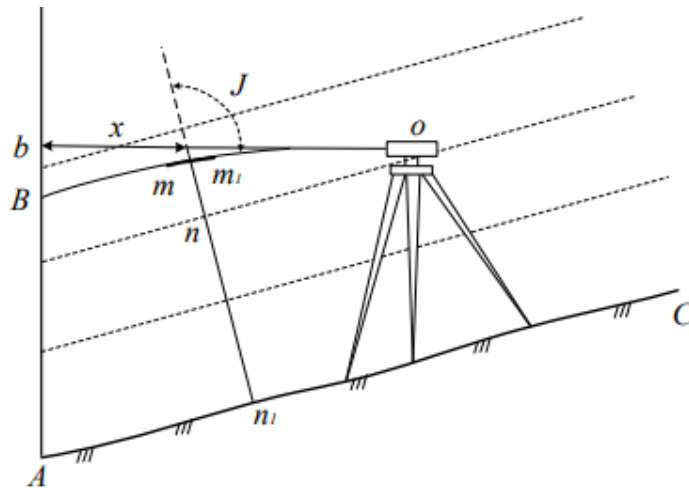


Рис. 3.2. Схема визначення рефракційної помилки

$$x = \frac{h_1 - h}{P} \quad (3.4)$$

Якщо  $n$  - коефіцієнт заломлення повітря для елемента  $mm_1$ , то:

$$n \cdot \sin J = \text{const} \quad (3.5)$$

$$n = 1 + 0,000294 \frac{B}{0,76} \cdot \frac{1}{1 + \alpha \cdot t} \quad (3.6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розширення повітря,  $\alpha = 0,00366$ ;  $B$  – показання барометра.

Отже:

$$Bb = \varepsilon = \int_0^L x \cdot \frac{h_1 - h}{P} \cdot \text{tg} \cdot J \cdot \frac{0,000294 \frac{B}{0,76}}{(1 + \alpha \cdot t)^2 \cdot n} dt \quad (3.7)$$

При розрахунку інтеграла  $\text{tg} J$ ,  $B$  і  $n$  розглядаються як константи. Красовський використовує математичні моделі та послідовності дій Лаллемана, що деякою мірою підтверджують його припущення. Дослідження, проведені Красовським за його методикою, показали збільшення рефракції  $\varepsilon$  пропорційно квадрату відстані  $L$ . Також, значення  $\varepsilon$  зростає при збільшенні ухилу, хоча меншою мірою. На відстанях від нівеліра до рейки від 50 до 80 метрів, рефракція може досягати одного міліметра, при цьому помилка має систематичний характер і накопичується на послідовних станціях. Тому важливо знати проміжки часу, коли рефракція є мінімальною.

Дослідження, проведені Красовським, вказують, що вплив зміни рефракції у літній сонячний день поділяється так:

- ❖ Рано вранці та після сходу сонця рефракція має позитивне значення, проте це вплив незначний.
- ❖ Між 5-ою та 6-ою годинами ранку рефракція наближається до нуля, а з 7-ої години стає від'ємною.
- ❖ З 7-ої до 13-ої години спостерігається швидке збільшення від'ємного значення рефракції, досягаючи мінімуму приблизно о 13-й годині.
- ❖ З 13-ої до 15-ої години значення рефракції поступово зменшується, а після 15-ої години зменшується ще швидше, наближаючись до нуля перед заходом сонця.
- ❖ Перед заходом сонця рефракція знову стає позитивною.

Ще в 1912 році інженером Кольмюллером в Мюнхені були проведені дослідження, які дозволили встановити закономірності зміни рефракції в залежності від відстані між нівелірними рейками в різний час доби (рис. 3.3).

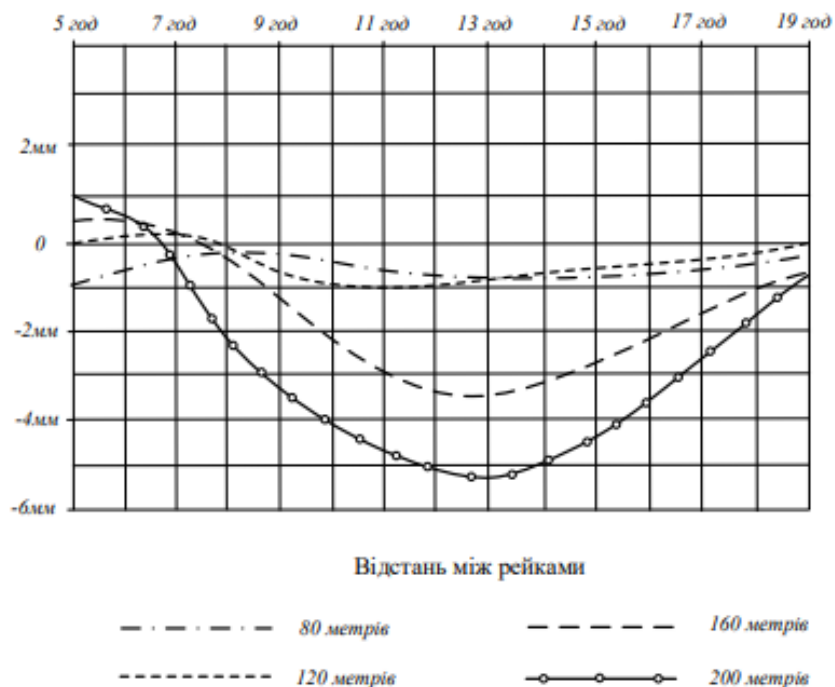


Рис. 3.3. Залежність значення рефракції  $\epsilon$  від відстані між нівелірними рейками в різний час доби

Результати співпадають з Красовським і доповнюють один одного, як показує діаграма (рис.3.3): при відстані 200 метрів між рейками, о півдні

рефракція досягає майже 5 мм, але на 120 метрах вона не перевищує 1 мм. Вивчивши ці залежності, стає очевидним, що найбільш вигідний час для геометричного нівелювання - від 5 до майже 10 ранку та з 14 до заходу сонця. Бажано, щоб відстань від нівеліру до рейки була не більше 60 метрів.

Аналіз показує, що основна помилка при нівелюванні високої точності - це вплив рефракції [9]. Навіть зменшення відстані до 50 метрів не гарантує повного усунення систематичної похибки від рефракції. Щодо контролю цього впливу, Андре Лаллеман пропонує вимірювати температуру на висоті візирного променя на рейці та нівеліру. Красовський зауважує, що коригувати формулу (3.7) за цими показниками термометра ризиковано, оскільки закон зміни температури не завжди відповідає цій формулі. Однак ці показники термометра дозволять достовірно оцінити вплив рефракції на результат нівелювання, що є важливим у високоточній роботі.

### **3.3. Удосконалення методики нівелювання цифровим нівеліром**

Під час точного нівелювання оптичними нівелірами для контролю результатів спостережень змінюють горизонт приладу. Це можна зробити шляхом перестановки ніжок штатива чи регулювання висоти нівеліра через підймальні гвинти. Однак такі методи тривалі та збільшують час роботи. Тому багато дослідників пропонували удосконалення для зміни висоти горизонту приладу, використовуючи спеціальну підставку, насадку на нівелір чи рейку з висувною п'яткою і магнітним диском. [18]

Геометричне нівелювання з двома горизонтами широко використовується для визначення вертикальних зміщень фундаментів інженерних споруд. Сучасний розвиток геодезичних приладів дозволяє автоматизувати процес вимірювання перевищень. Нові цифрові нівеліри дозволяють уникнути особистих похибок спостерігача під час відліку. У зв'язку з цим потрібно вдосконалити методики використання цифрового нівеліра. Розглянемо порядок взяття відліків при зміні горизонту приладу, яку можна визначити з точністю до

0,01 мм. У праці [19] проаналізовано вплив цієї величини на точність нівелювання.

Таблиця 3.2

## Програма спостережень зі зміною горизонту оптичного нівеліра

Перший горизонт. Відліки на рейці		
Задня		Передня
Задня основна (1)	Задня додаткова (2)	Передня основна (3), Передня додаткова (4)
Другий горизонт. Відліки на рейці		
Задня основна (7)	Задня додаткова (8)	Передня основна (5), Передня додаткова (6)

У дужках вказано порядок взяття відліків.

Таблиця 3.3

## Програма спостережень зі зміною горизонту цифрового нівеліра

Перший горизонт. Відліки на рейці	
Задня	Передня
Задня основна (1)	Передня основна (2)
Другий горизонт. Відліки на рейці	
Задня основна (4)	Передня основна (3)

У дослідженні виявлено, що зміна положення п'ятки рейки суттєво впливає на точність вимірювання перевищень у станції цифрового нівелювання. Однак, ця зміна не має впливу на точність визначення зміни висоти нівеліра, але корисна для контролю відліку та уникнення грубих похибок. Використання автоматизації процесу відліку за кодовою рейкою сприяє уникненню похибок у визначенні перевищень. Проте, зміна горизонту після пари відліків значно збільшує час вимірювання на станції, що може вплинути на точність результатів через зміну параметрів нівеліра та осідання костилів та підкладнів протягом спостереження.

Відновлення початкового положення рейки на костиль або підкладень веде до меншого осідання, ніж при видаленні та повторному встановленні. Проте з часом спостережень костиль або підкладень змінюють своє вертикальне положення, систематично впливаючи на результат перевищення на кожній

станції, що призводить до накопичення похибки в перевищенні секції з одним знаком. Щодо випирання ніжок штатива у ґрунт після його встановлення з нівеліром, спостерігається початкове випирання протягом перших 5 хв, але після цього процес сповільнюється, а за 10-15 хв положення штатива стабілізується.

Враховуючи вищезазначене, рекомендується проводити нівелювання за методикою, яка подана у таблиці 3.4, використовуючи цифровий нівелір, що дозволяє уникнути часткової похибки при вимірюваннях.

Таблиця 3.4

Програма спостережень зі зміною горизонту цифрового нівеліра

Відліки на рейці	
Задня	Передня
Задня штрихкодова (1)	Передня штрихкодова (2)
Задня штрихкодова (4)	Передня штрихкодова (3)

Під час нівелювання цифровим нівеліром з однією рейкою для зменшення впливу переміщень нівеліра і рейок на точність та витрат часу на зміну висоти нівеліра розроблено методику нівелювання з використанням цифрового нівеліра без зміни горизонту приладу. Це сприятиме скороченню часу роботи на станції та зменшить систематичні похибки.

### **3.4 Удосконалення технології геометричного прецизійного нівелювання за допомогою цифрових нівелірів.**

Дане питання, представлене у роботах [3, 4, 16, 17, 19, 21], потребує уваги через високу кількість вимірів на станції та відсутність програми спостережень з використанням цифрових нівелірів. При розгляді методики вимірювання перевищень на нівелірній станції цифровим нівеліром слід враховувати вплив вібрації [20] та можливість використання цифрових нівелірів для прецизійного нівелювання [15]. Тому необхідно працювати над єдиним класифікаційним підходом для визначення рівнів прецизійного нівелювання за допомогою зазначених приладів.

Довжина нівелірних ходів на будівельних майданчиках зазвичай не перевищує 2,0 - 2,5 км. У більшості випадків під час високоточного нівелювання штатив закріплюється на міцній основі, а рейка - на конструкції об'єкта. Це дозволяє не обов'язково пов'язувати послідовність відліків на нівелірній станції з мінімізацією переміщень штатива.

Так само, як і з оптичними нівелірами, при можливому розсуненні штатива через вібрацію, для високоточного нівелювання рекомендується використовувати амортизаційні підкладки.

З огляду на односторонню шкалу штрих-кодових рейок, де за один оберт інструменту можна зробити лише один вимір, рекомендується виконувати кілька відліків на нівелірній станції з рейкою для підрахунку середнього значення або скористатися цифровим нівеліром з можливістю багатьох вимірів.

Хоча чимало публікацій [3, 4, 15, 16, 17, 19] присвячено класифікації прецизійного нівелювання, більшість з них стосується використання оптичних нівелірів. Ураховуючи це, запропоновано методику нівелювання на цифровій нівелірній станції та класифікацію рівнів прецизійного нівелювання (табл. 3.5) з урахуванням особливостей виконання у майданчикових умовах.

Таблиця 3.5

Класи нівелювання із застосуванням цифрових нівелірів з штрих-кодовими рейками

Класи	1	2	3	4	5
Максимальна довжина візирного променя, м	10	25	50	75	100
$m_{\text{вст}}$ , мм	0,15	0,25	0,50	1,00	3,00
Число вимірних перевищень на станції	4	4	2	2	2
Допустима висота візирного променя над перешкодами і над п'яткою рейки, мм	0,2-0,5	0,2-1,5	1,0-2,0	1,0-3,0	-
Нерівність плечей на станції, м	0,1	0,3	1,0	2,0	-
Нерівність плечей в секції, м	-	2,0	2,0	5,0	-
Збільшення зорової труби, не менше кратне	30	30	30	25	20
Точність самоустановлення компенсатора, $m_k$	0,1"	0,1"	0,5"	0,5"	1,0"

При розробці класів нівелювання було встановлено кілька важливих вимог, включаючи середню довжину променя при нівелюванні, вплив вібрації на вимірювання та точність робіт у геодезії.

Нівелювання першого класу використовується для будівництва і експлуатації інженерних споруд, де враховуються умови вібрації та вимоги до точності. Використовуються цифрові нівеліри з компактною рейкою 1,0 метра та програмою вимірювань точністю до 0,01 міліметра.

Перед вимірюваннями обов'язково проводять дослідження похибок самоустановлення компенсатора, перевіряють працездатність системи та виконують інші необхідні перевірки. Використовують дерев'яні складні штативи, які попередньо налаштовують.

При нівелюванні в умовах різкого перепаду температур встановлюють висоту візирного променя над перешкодою та п'яткою рейки не більше 0,5 метра для уникнення помилок. Головна умова нівеліру не повинна мати кут «і» більше 10 кутових секунд. Вимірювання перевищення на станції нівелювання виконується за двома програмами спостережень у прямому та зворотному напрямках.

Перша програма спостережень на станції включає вимірювання з використанням двох рівнів інструмента в певній послідовності:

1. Вимірювання з трьома відліками з передньої та задньої рейок і отриманням середнього перевищення  $[h_1]_{cp}$  для (З - П).
2. Зміна рівня інструмента на не менше 3,0 мм для зменшення помилок при нанесенні штрихів на рейку.
3. Також, вимірювання з трьома відліками по передній та задній рейкам для (П - З) і отримання середнього перевищення  $[h_2]_{cp}$ .

Результатом таких вимірювань будуть отримані два перевищення в прямому ході. Контроль результатів вимірювань полягає в обчисленні різниці середніх перевищень за двома рівнями нівеліра ( $[h_1]_{cp} - [h_2]_{cp}$ ), яка не повинна перевищувати 0,20 мм.



Друга програма спостережень застосовується в обмежених випадках, коли потрібно виміряти лише кілька перевищень або технічно неможливо здійснити зворотний хід нівелювання. Ця програма включає в себе:

1. Вимірювання з трьома відліками по передній і задній рейках для (З - П) та отримання першого середнього перевищення [h1]ср.
2. Зміна рівня інструмента на не менше 3,0 мм для зменшення помилок при нанесенні штрихів на рейку.
3. Вимірювання з трьома відліками по передній і задній рейках для (П - З) та отримання другого середнього перевищення [h2]ср.
4. Повторна зміна рівня інструмента.
5. Вимірювання з трьома відліками по передній і задній рейках для (З - П) та отримання третього середнього перевищення [h3]ср.
6. Третя зміна рівня інструмента.
7. Зміна рівня інструмента на не менше 3,0 мм для зменшення помилок при нанесенні штрихів на рейку.
8. Вимірювання з трьома відліками по передній і задній рейках для (П - З) та отримання четвертого середнього перевищення [h4]ср.

У результаті таких вимірювань на станції буде здійснено вимірювання чотирьох перевищень. Контроль результатів вимірювань полягає в обчисленні різниці середніх перевищень за чотирма рівнями нівеліра ( $[h1]_{ср} - [h2]_{ср} - [h3]_{ср} - [h4]_{ср}$ ), яка не повинна перевищувати 0,20 мм.

Контроль вимірювань у замкнутому нівелірному ході полягає в обчисленні нев'язки, що не повинна перевищувати визначене значення:

$$f \leq 0,30 \sqrt{n} \text{ мм}$$

Нівелювання другого класу призначене для визначення осідань та деформацій споруд і монтажу обладнання, включаючи створення висотної основи всередині споруд. При виконанні нівелювання в умовах вібрації застосовуються амортизаційні підкладки. Довжина візирного променя у цьому класі становить у середньому 15-25 м. Використання другого класу дозволяє

застосовувати метод "двох станцій" і дерев'яний складний штатив для нівелювання. Контроль результатів вимірювань включає обчислення різниці середніх перевищень, яка не повинна перевищувати 0,30 мм. Також вимагається, щоб різниця перевищень по однаковим міткам у прямому і зворотному ходах не перевищувала 0,30 мм, а нев'язка в замкнутому нівелювальному ході не перевищувала допустиме значення  $f \leq 0,50 \sqrt{n}$  мм

Нівелювання третього класу застосовується для вимірювання осідань і деформацій основ інженерних споруд, таких як земляні насипні дамби та берегові насосні станції. Зазвичай, для досягнення відповідної точності вимірювань потрібно використовувати візирний промінь завдовжки приблизно 30-50 метрів. У цьому розряді також можна застосовувати метод "двох станцій". Напрямок вимірювань при нівелюванні цього класу зазвичай є прямим. Під час виконання цих робіт рекомендується використовувати дерев'яний складний штатив при сонячній погоді та металевий у дощову. Один з ключових аспектів контролю у цьому розряді полягає в оцінці різниці середніх висот, яка отримується зі спостережень на двох рівнях нівеліра; ця різниця повинна бути меншою за  $d1 = [h1]_{cp} - [h2]_{cp} \leq 0,70$  мм. Також слід контролювати нев'язку в закритому нівелірному ході, яка не повинна перевищувати допустиме значення:

$$f \leq 1,00 \sqrt{n} \text{ мм}$$

Нівелювання 4-го класу має дві основні програми в прямому напрямку, переважно використовуючись під час монтажу будівельних та металевих конструкцій для розміщення колон, фундаментальних деталей та різного обладнання відповідно до проекту. Виконання нівелювання цієї точності передбачає візирний промінь у межах від 50 до 75 метрів. Під час нівелювання 4-го класу контроль результатів вимірювань на станції включає обчислення різниці середніх висот, отриманих з спостережень на двох рівнях нівеліра, що не повинна перевищувати  $d1 = [h1]_{cp} - [h2]_{cp} \leq 1,00$  мм. Контроль результатів вимірювань у нівелірному ході полягає у підрахунку нев'язки в закритому ході, що не повинна перевищувати допустиме значення:  $f \leq 2,00 \sqrt{n}$  мм.

Нівелювання 5-го класу має дві програми прямого напрямку через великий обсяг точних робіт: нівелювання підкранових балок, шляхів, земляних робіт тощо. Часто таке нівелювання здійснюється великим відрізком, за схемою віяльного нівелювання [8], де візирний промінь зазвичай становить 75-100 м, а значення кута зменшується до 10" - 15". Контроль результатів у цьому класі вимірювань полягає в обчисленні різниці середніх висот між спостереженнями на рівнях нівеліра, що не повинна перевищувати  $d1 = [h1]_{\text{ср}} - [h2]_{\text{ср}} \leq 3,00$  мм, і в оцінці нев'язки в закритому нівелірному ході:

$$f \leq 3,00 \sqrt{n} \text{ мм}$$

Пропозиції щодо класифікації та методики виконання цифрового геометричного прецизійного нівелювання, є лише початковими і можуть бути вдосконалені та доповнені з урахуванням уточнень та нововведень.

### **3.5. Удосконалення методики виконання високоточного нівелювання за допомогою цифрових нівелірів в умовах недостатньої освітленості штрихкодних рейок**

На сьогоднішній день, під час виконання геометричного нівелювання на промислових майданчиках, використовуються цифрові нівеліри, які забезпечують точність вимірювання висоти на рівні 0,3–0,5 мм на 1 км подвійного ходу. Однак, при високоточному геометричному нівелюванні існує кілька перешкоджаючих факторів, таких як рефракція, підвищена температура повітря, вібрація та недостатня освітленість, які впливають на точність нівелювання. З метою послаблення цих факторів проводились дослідження [16] і розроблено рекомендації. Однак, введення цифрових нівелірів у геодезичне виробництво ставить завдання забезпечення однакового освітлення штрихкової рейки. В умовах недостатньої освітленості або її відсутності використання ручного ліхтаря для освітлення рейки може призвести до додаткових похибок через роботу електронної системи цифрового нівеліра [17].

Щоб забезпечити необхідне освітлення рейки, пропонується використовувати світлодіоди, що спростить роботу помічника геодезиста і зменшить кількість повторних вимірювань.

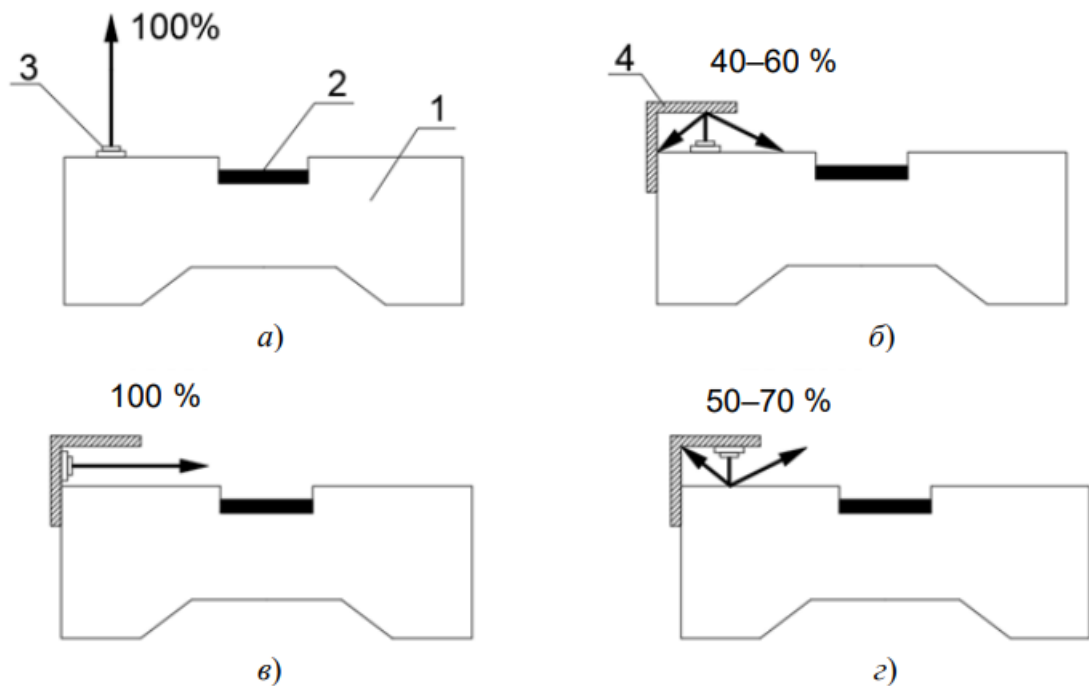


Рис. 3.4. Способи орієнтації світлодіодної стрічки на рейці: а) зорієнтована так, щоб потік світла був спрямований на нівелір; б) орієнтована так, що потік світла направлений під кутом; в) спрямована паралельно до смужок з штрих-кодами на рейці; г) орієнтована так, щоб потік світла входив у корпус рейки. На схемі позначено: 1 – рейка з штрих-кодами; 2 – інварна стрічка; 3 – світлодіодна стрічка; 4 – пластиковий куток.

У відповідності до (рис. 3.4, а), 100% світла, що випромінюється світлодіодами, направлено на спостерігача та об'єктив цифрового нівеліра, що спричиняє помилки під час складання звіту. Для зменшення цього впливу, ми використали пластиковий куток (рис. 3.4, б), що знижує освітленість на 30-40% порівняно з поширенням світла від світлодіодів, позитивно впливаючи на складання звіту цифровим нівеліром. Також розглядали можливість розміщення світлодіодної стрічки на самому кутку (рис. 3.4, г), що, проте, зменшує потік світла лише на 10-20%. Автор встановив, що оптимальним розташуванням світлодіодної стрічки є положення (рис. 3.4, в), де потік світла використовується

на 100% і розповсюджується паралельно штрихкодів стрічці на рейці, не заважаючи спостерігачу та уникнувши засвічування під час складання звіту цифровим нівеліром.

Дослідження проведено в лабораторних умовах за постійної температури +24 °С з використанням цифрового нівеліра South DL 202 та двох штрихкодів рейок, на які були встановлені світлодіодні смуги (рис. 3.4, в) з блоками живлення. Освітленість вимірювалась цифровим люксометром. Під час спостережень використовувалася стандартна програма високоточного геодезичного нівелювання короткими променями довжиною візирного променя 5, 10, 15 і 20 метрів. Задня та передня рейки фіксувались на опорних марках і залишалися нерухомими протягом усього часу. Для визначення еталонного підняття використовувався високоточний оптичний нівелір Ni 002. Освітленість під час вимірювань становила 22–23 люкси. Еталонне підняття виміряне п'ять разів при двох горизонтах нівеліра та довжині візирного променя 5,0 метрів. Нівелювання проводилося з використанням основної та додаткової шкал інварної рейки з поділкою до десятої частини поділки відлікового барабану, при цьому наведення бісектора на кожну смугу проводилося двічі.

Отримане еталонне підняття становило  $h = 1,00 \pm 0,1$  мм. Після цього для визначення впливу нерівномірного та недостатнього освітлення штрихкової рейки було розроблено чотири програми вимірювань, показаних на рис. 3.5. Перша програма - "темно-темно". Ця програма вимірювань проводилася при загальній освітленості приміщення приблизно 5–6 люксів. Цифровий нівелір встановлювався на відстані 5,0 метрів від задньої та передньої рейок. Початкове вимірювання виконувалося без підсвічування на рейці, що призводило до помилки при вимірюванні через обмежені умови освітлення. Після цього підсвічування на задній та передній рейках було увімкнене, і підняття між задньою та передньою рейками було виміряне дванадцять разів зі зміною горизонту приладу (табл. 3.6). Далі, за допомогою формули Бесселя.

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}},$$

де  $v^2$  - сума квадратів ймовірних помилок;  $n$  - кількість вимірів.

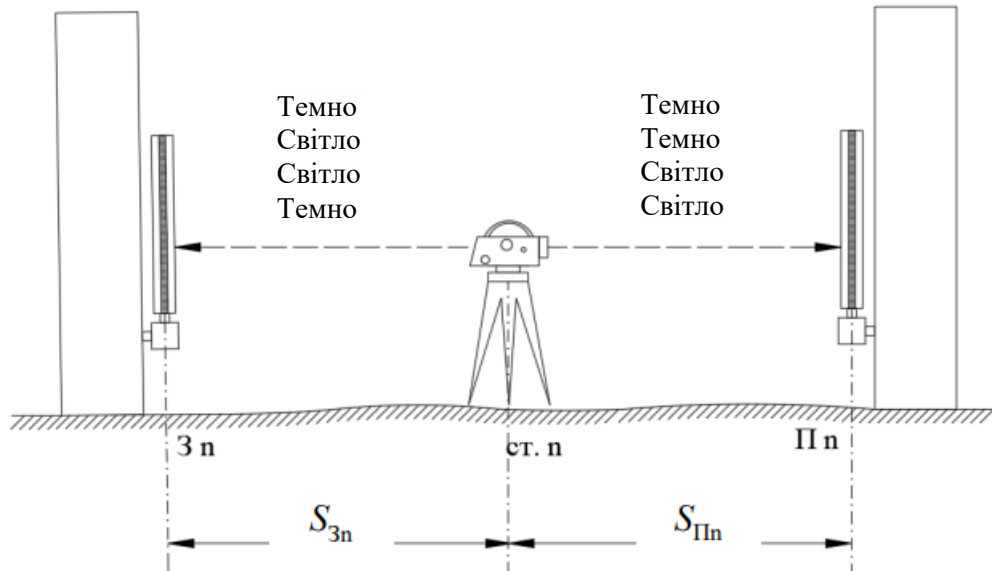


Рис. 3.5. Схема виконання вимірювань

Таблиця 3.6

Програма вимірювань «темно-темно»

№	$S, м$		$мм$	$мм$	$мм$
	темно	темно	$H$	$H(sp-j)$	$(Hsp-j)^2$
1	4,92	4,89	1,00	0,04	0,0016
2	4,90	4,90	1,10	-0,06	0,0036
3	4,90	4,90	1,00	0,04	0,0016
4	4,90	4,89	1,00	0,04	0,0016
5	4,90	4,89	1,10	-0,06	0,0036
6	4,91	4,90	1,00	0,04	0,0016
7	4,91	4,89	1,10	-0,06	0,0036
8	4,92	4,90	1,10	-0,06	0,0036
9	4,90	4,90	1,10	-0,06	0,0036
10	4,90	4,90	1,00	0,04	0,0016
11	4,90	4,90	1,00	0,04	0,0016
12	4,90	4,89	1,00	0,04	0,0016
Середнє	4,91	4,90	1,04	сума	0,05
				$m_{\text{ст}}$	0,05

Після виконання вимірів при довжині візирного променя 10, 15 і 20 метрів, використовувалися чотири програми для вимірювання. У другій програмі

"світло-темно" лампи денного освітлення контролювали освітленість, увімкненість ламп денного освітлення варіювалася між задньою та передньою рейками, з різницею у рівнях освітленості між ними. При освітленості 8–9 люкс передня рейка не могла бути виміряна, тому було увімкнено підсвітку на ній. Під час третьої програми "світло-світло" вимірювання проводилися з увімкненими лампами денного освітлення, але вимкненою світлодіодною підсвіткою. Четверта програма "темно-світло" також контролювала освітленість лампами денного світла, змінюючи увімкненість між передньою та задньою рейками. Усі ці програми включали вимірювання на різних відстанях, а також умисне "засвічування" задньої рейки після дванадцяти перевищень, що призвело до зміни висоти на 0,2 мм. Результати точності цих вимірів представлені в табличному вигляді в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

## Результати оцінки точності вимірювань

<i>Освітленість</i>	$S_{\text{задня}}, \text{ м}$	$S_{\text{передня}}, \text{ м}$	$H, \text{ мм}$	$M_{\text{ст}}, \text{ мм}$
<i>темно-темно</i>	4,90	4,91	1,04	0,05
	9,86	9,88	1,06	0,05
	14,96	14,87	1,49	0,03
	19,81	19,84	1,73	0,05
<i>світло-темно</i>	4,89	4,91	1,07	0,03
	10,01	10,03	1,19	0,07
	14,96	14,87	1,48	0,05
	19,83	19,84	1,74	0,05
<i>світло-світло</i>	4,89	4,91	1,16	0,05
	9,86	9,87	1,06	0,05
	14,97	14,87	1,46	0,05
	19,81	19,83	1,75	0,05
<i>темно-світло</i>	4,90	4,91	1,15	0,05
	10,02	10,04	1,18	0,04
	14,97	14,88	1,47	0,05
	19,82	19,84	1,71	0,05

За даними у таблиці 3.7 можна зробити кілька висновків. При збільшенні відстані від цифрового нівеліру до рейки змінюється значення еталонного

перевищення на 0,5 мм, однак точність контролю перевищення на станції залишається в діапазоні від 0,03 до 0,07 мм. Використання світла від світлодіодної стрічки дозволяє проводити вимірювання як у програмі "темно-темно", так і за умов денного освітлення. Розподіл світла від світлодіодної стрічки є однорідним і не спостерігається "засвічувань" по штрихкодівій рейці, у відміну від використання ручного ліхтаря. Застосування світлодіодної стрічки для підсвічування дозволяє асистенту геодезиста сконцентруватися лише на правильному розміщенні рейки за допомогою круглого рівня. Розроблена оптимальна схема установки світлодіодної стрічки на рейку, що дає можливість використовувати повністю 100% світлового потоку від діодів.



## 4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Система супутникового моніторингу і навігації – це система моніторингу обсерваційних ландмарків, яка побудована на основі систем супутникової навігації, обладнання та технологій стільникового і/або радіозв'язку, обчислювальної техніки і цифрових екологічних, природоохоронних та ресурсо-користувальницьких карт.

Супутниковий моніторинг використовується для вирішення завдань динамічного екологічного моніторингу в системах управління екологічним моніторингом антропогенного впливу. Розвиток систем GPS-моніторингу в екологічному моніторингу можна поділити на такі етапи.

Перше покоління – офлайн-системи, які використовують принцип чорної скрині, що фіксує події, прив'язуючи кожен з них до географічних координат і реального часу. Після прибуття експедиційної групи з полігону вся інформація з такої чорної скрині проходить камеральне картографо-геодезичнеу оброблення.

Перевагами такого підходу є велика кількість різномірної інформації, яка збирається пристроєм, та відсутність абонентської плати за передавання даних. При цьому воно здійснюється або через фізичне підключення пристрою до комп'ютера диспетчера, або через локальні бездротові мережі.

Недоліком тут є те, що інформація стає доступною для оброблення й аналізу тільки після прибуття об'єкта на базу. Друге покоління систем GPS-моніторингу використовує в екомоніторингу для обміну інформацією не фізичні з'єднання та носії, а CSD-з'єднання (Circuit Switched Data), або GSM Data – стандартну технологію передавання даних з комутацією каналів у мережі GSM. Максимальна швидкість доступу становить 9,6 Кбіт/сек).

Третє покоління систем GPS-моніторингу для обміну інформацією використовує GPRS-з'єднання (General Packet Radio Service) – технологію швидкісного пакетного передавання даних у мережах GSM. Швидкість доступу становить 20-40 Кбіт/сек. На сьогодні впроваджуються технології надшвидкісного передавання геоданих 4G та 5G.

Важливим призначенням усіх вищезгаданих технологій є збір картографічних даних та створення електронних моніторингових екологічних карт.

Збір картографічних даних для спеціалізованої ГІС обсерваційного моніторингу починається з аналізу забезпечення району робіт топографо-геодезичними, планово-картографічними матеріалами, тобто перевіряється наявність [26]:

- вихідних пунктів державної геодезичної мережі(далі – ДГМ);
- екологічних, природоохоронних, ресурсокористувальницьких та природокористувальницьких карт та планів різних масштабів на певну територію.

Після цього наявні матеріали геодезичних, екологічних, полігонних, топографічних робіт, що виконувались на цій території, аналізують щодо: - місця розташування вихідних пунктів ДГМ;

- наявності базової екологічної карти масштабу 1 : 10 000;
- забезпечення екологічними картами (планами), що містять відомості про якісні та кількісні значення і властивості навколишнього природного середовища; - встановлення меж природоохоронних територій та небезпечних екологічних зон. У результаті аналізу вищенаведених матеріалів визначають два основні способи створення цифрового картографічного матеріалу:

- оновлення наявних паперових карт та актуалізація застарілих векторних карт;
- створення нових карт «з нуля», що пов'язано зі зміною стану простору-довкілля внаслідок глобальних кліматичних змін.

Наразі в Україні одержання архівного картографічного матеріалу здійснюється за такою технологією і проводиться шляхом їх сканування з подальшими маніпуляціями над отриманим растрово-картографічним зображенням: геоприв'язка, видалення зниклих геооб'єктів, нанесення нових елементів змісту [5].

Якщо вимоги при скануванні мінімальні і це задовольняє умови, коли відсканована карта слугує для потреб візуального аналізу або як растровий фон, поверх якого наносяться тематичні об'єкти, то досить тієї якості, при якій людське око розрізняє необхідні деталі. Вважається, що людське око не може бачити більш ніж 300 точок на дюйм (dpi). Тому для сканування архівних екологічних карт масштабів від 1 : 100 000 і дрібніше застосовується саме така величина роздільної здатності.

Якщо сканування екологічної карти та плану проводиться з метою її подальшої векторизації, то розрахунок роздільної здатності виконується за формулою:  $\delta = 2/n$ , де:  $\delta$  – роздільна здатність, з якою варто сканувати;  $n$  – мінімальна товщина лінії на карті. Це означає, що найтонша лінія, накреслена на карті, повинна складатися як мінімум з 2 пікселів. У такому разі для екологічних карт, мінімальна товщина ліній для яких за нормативами становить 0,1 міліметра, мінімально достатня роздільна здатність повинна становити 20 пікселів на міліметр, або 508 dpi. А для природоохоронних карт масштабу 1 : 200 000 обернена величина дорівнюватиме 10 метрів на піксель. Тому для створення векторних карт крупнішого масштабу в результаті сканування вихідне зображення повинне мати роздільну здатність не менше ніж 508 dpi.

Після завершення сканування отримуємо зображення, яке необхідно записати в растрові файли одного з форматів \*.tiff, \*.bmp, \*.jpg тощо та здійснити їх прив'язку до заданої системи координат. Актуалізація наявних векторних екологічних карт здійснюється шляхом внесення змін у їх геометрію або атрибути об'єктів на основі даних, отриманих після останніх наземних або дистанційних обстежень заданої ділянки території.

Збір вхідних даних для побудови баз картографічних даних екологічної ГІС, а отже, для створення цифрових карт заданого масштабного ряду, здійснюється за допомогою проведення топографічних знімачів. Види топографічного знімання класифіковано на дистанційні та наземні, а вибір методу визначається насамперед технічними можливостями та економічною доцільністю.

Аналіз результатів екологічного картографування показав, що найбільш інформативними, достовірними та перспективними вихідними матеріалами для створення електронних векторних екологічних карт є такі дані дистанційного топографічного знімання, як космічна та аерофотозйомка. Наразі для дистанційних топографічних зйомок місцевості все частіше використовують багатоспектральні оптико-механічні системи – сканери. За допомогою сканерів формуються зображення хмар точок, що складаються з безлічі окремих, послідовно одержуваних елементів.

Термін «сканування» позначає розгортання зображення за допомогою сканувального елемента, який поелементно переглядає місцевість поперек руху носія і посиляє променистий потік в об'єктив і далі на точковий датчик, що перетворює світловий сигнал в електричний. Цей електричний сигнал надходить на приймальні станції по каналах зв'язку. Зображення місцевості отримують безперервно на стрічці зі послідовних смуг – сканів, складених окремими елементами – пікселями.

Сканерні зображення можна отримати у всіх спектральних діапазонах, але особливо ефективними є видимий та ІЧ-діапазони. При зйомці земної поверхні за допомогою сканувальних систем формується зображення, кожному елементу якого відповідає яскравість випромінювання ділянки, яка розташована в межах миттєвого поля зору.

Ефективність застосування дистанційного фотознімання пов'язана з високим ступенем просторової та спектральної розрізненості. Завдяки великому обсягу одержуваної інформації і відносній простоті застосування дистанційні фотографічні методи посіли провідне місце у створенні картографічної екологічної інформації.

Так, на відміну від тахеометричного, мензульного та наземного фототопографічного знімань, аерофототопографічне знімання значно скорочує витрати часу і коштів на складання та оновлення екологічних карт. Це відбувається за рахунок того, що фотознімання дає змогу отримати

одномоментні зображення значної за розміром ділянки місцевості у вигляді дрібномасштабних аерофотознімків.

Під час наземного (традиційного) знімання на це потрібно значно більше часу, тому що зображення місцевості створюється поступово, від точки до точки. Крім того, більшість робіт для створення екологічної карти виконується за допомогою технічних засобів у камеральних умовах. Для перетворення знімка в карту чи план, окрім фотографування місцевості, потрібно провести в повному обсязі польові топографо-геодезичні й камеральні фотограмметричні роботи.

Останні пов'язані з дешифруванням фотознімків та визначенням виду, форми, положення об'єктів місцевості тощо, унаслідок чого значно скорочується обсяг польових робіт. Наповнення тематичної бази даних екологічної ГІС вимагає збору специфічної інформації про стан довкілля й побудову ряду тематичних електронних екологічних карт.

Наявні закордонні новітні технології створення електронних екологічних карт уже доступні вітчизняним розробникам.



Рис. 4.1. Алгоритм методології геомоніторингу довкілля системи природокористування

Важливим сегментом екологічного моніторингу є розроблена система управління екологічним моніторингом антропогенного впливу на довкілля-

простір. Розроблена концепція викладена у структурно-параметричних схемах реалізації відповідного рекогносциувального моніторингу.

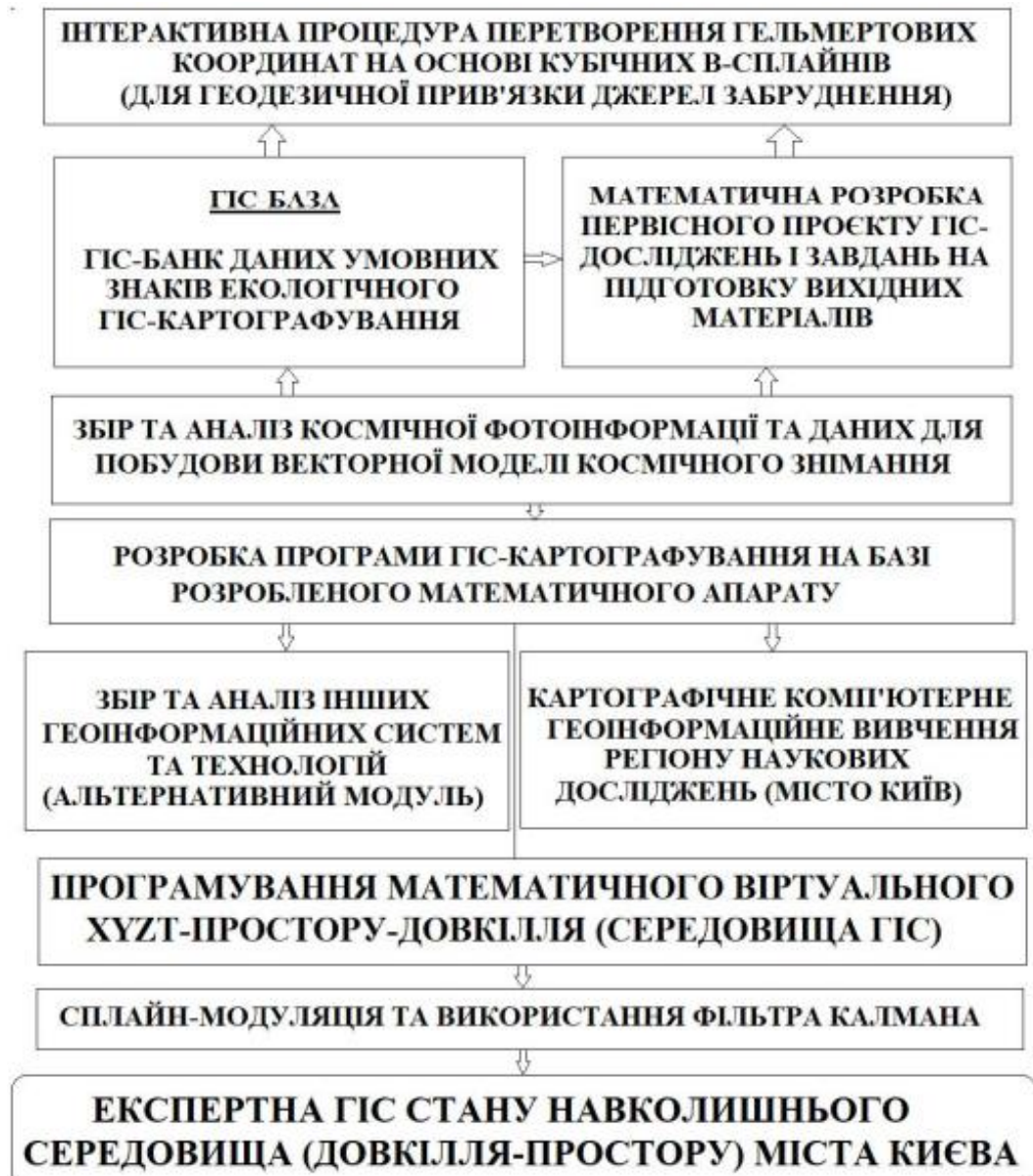


Рис. 4.2. Алгоритм проектування архітектури геоінформаційної системи «Екологія Києва»

Експертна ГІС стану навколишнього середовища – це геоінформаційна система та програма, яка є головним геоінформаційним картографічним інструментарієм, що визначає та призначає зміст, методи створення при трасуванні алгоритмів ГІС-досліджень стану, довгострокового прогнозу та моніторингу навколишнього природного середовища м. Києва..

Головне функціональне рівняння геоінформаційної системи, що забезпечує її технологічну ефективність моніторингу довкілля простору м. Києва, складається з таких компонентів:

проектні значення екопотенціалу території м. Києва, отримане значення екопотенціалу території м. Києва,

поправка за системний зсув пікселів на дисплейній карті та поправка за комп'ютерно-просторову редукцію

– коефіцієнт продуктивності ГІС.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для допуску працівників до польових геодезичних робіт необхідно пройти інструктаж з охорони праці та безпеки життєдіяльності і записати його в журналі з підписами інструктувальної та інструктованої особи.

Вимоги інструкції є обов'язковими, а невиконання призводить до особистої відповідальності працівників.

Керівник підприємства несе відповідальність за своєчасне проведення інструктажу.

Перед топографо-геодезичними роботами працівники повинні:

- ❖ Ознайомитися з маршрутом та визначити небезпечні місця.
- ❖ Обрати безпечний маршрут руху.
- ❖ Одягти нормативний одяг, взуття та головні убори.
- ❖ Перевірити наявність та справність інструментів та обладнання.
- ❖ Знати місце розташування медичної аптечки.
- ❖ Повідомити керівника при нездужанні та чекати його вказівок.

### **Техніка безпеки при роботі з електронними нівелірами.**

Ігнорування інструкцій може спричинити травми або навіть смерть. Будьте обережні поблизу проводів високої напруги та підстанцій при використанні приладу з рейками. Рейка, як електропровідник, може призвести до електричного удару.

Вийміть батарею, якщо прилад довго не використовується, і уникайте вогнебезпечних приміщень. Використовуйте прилад лише відповідно до інструкції.

Нівелір можна встановлювати на штатив, прикрутивши його підставку до головки штатива. Заборонено використовувати несправні штекери та пошкоджені кабелі. Не використовуйте прилад у вологому стані і не замінюйте батарею в цьому випадку.



Робота біля електроенергетичних об'єктів є небезпечною, тому дотримуйтеся техніки безпеки, незалежно від матеріалу рейки. Міцно закріплюйте ніжки штатива, щоб уникнути падіння приладу від вітру або руху.

Уникайте використання вологих батарей і зарядних пристроїв інших виробників. Не користуйтеся пошкодженими джерелами живлення та розніми.

Не використовуйте прилад в місцях із займистими речовинами, щоб уникнути вибухів. Уникайте використання рейки під час грози та дощу. Після перерви витріть нівелір і накрийте його захисним чохлам.

Не ремонтуйте самостійно прилад, оскільки це може призвести до травм. Демонтаж та обслуговування повинен виконувати виробник або служба підтримки.

Уникайте контакту з протікаючою батареєю, щоб уникнути хімічних опіків. Не накривайте зарядний пристрій під час заряджання. Перед використанням перевірте сферичний рівень, особливо після транспортування чи ударів.

Ризик отримання удару струмом існує при з'єднанні чи від'єднанні кабелю вологими руками. Спрямування приладу на сонце може пошкодити очі. Дотримуйтеся правил дорожнього руху під час нівелювання. Уникайте короткого замикання при зберіганні батарей.

### **Вимоги безпеки під час польових геодезичних робіт.**

Пересування в місцевості: уникайте густої трави, дренажних та інших колодязів без огорожувального кільця. Під час виявлення обірваного проводу лінії електропередач, утримуйте відстань не менше 10 м. Заборона розпалювання вогню біля культур та горючих матеріалів. Працюйте з покритою головою під сонцем і уникайте роботи у найжаркіші години.

Під час геодезичних робіт:

- ❖ Утримуйте відстань від алкоголю та наркотиків.
- ❖ Не пийте воду з непередбачених джерел.
- ❖ Уникайте вологої землі та купання.
- ❖ Утримуйте відстань від тварин та рослин.

❖ Дотримуйтеся гігієнічних правил під час їди.

Під час пересування вздовж дороги: йдіть тільки по узбіччю, облаштовуйте місце роботи тимчасовими знаками та одягайте сигнальні жилети.

Переходьте дорогу поза населеним пунктом тільки на видимих ділянках. Закріплюйте геодезичні пункти штирями на рівні з дорогою. Уникайте затягування стрічки чи рулетки на дорозі та не залишайте геодезичні інструменти без нагляду.

При роботі з електронними тахеометрами та теодолітами уникайте відбиття лазерних променів в дзеркала та інші поверхні. Не дивіться в напрямку лазерного променя та наводьте тільки за допомогою зорової труби.

Переправляйтесь через водні перешкоди тільки при їхній безпеці, з урахуванням температури води та швидкості течії.

Для уникнення укусів отруйних комах (каракуртів, павуків, кліщів і т. д.) та змій студентам заборонено:

- ❖ носити відкрите взуття;
- ❖ перевертати камені та обладнання без попереднього огляду.

При роботі на територіях нафтогазопроводів слід дотримуватись наступних правил:

- ❖ обходити місця викиду газу з вітрового боку;
- ❖ утримуватися від відпочинку і прийому їжі біля газонебезпечних місць;
- ❖ строго заборонено занурюватися в колодязі, траншеї та ємкості;
- ❖ уникати відкритого полум'я на території;
- ❖ дозволяється куріння лише у відведених місцях.

Під час топографічного знімання підземних інженерних комунікацій керівник практики повинен перед початком робіт ознайомити працівників із інструкцією з охорони праці та безпеки життєдіяльності в колодязях та колекторах. Також потрібно оформити бланк реєстрації з підписами особи, яка провела інструктаж, і особи, яка його отримала. Провести перевірку їх знань та постійно контролювати дотримання вимог безпеки.

Вимоги безпеки після роботи включають прибирання робочого місця, здачу інструментів та обладнання на визначені місця. Спецодяг і взуття слід очищати від пилу, мити руки та обличчя водою з милом.

Зауваження та недоліки під час роботи повідомляти керівникові практики. Працівники несуть особисту відповідальність за дотримання вимог інструкції.

У випадку аварійних ситуацій повідомляти керівника практики про нещасні випадки, пожежі та інші небезпеки. Надавати першу допомогу потерпілим, направляти їх до медичної установи та зберігати обстановку на робочому місці як її було в момент події.

У разі аварій повідомляти керівника робіт, надавати медичну допомогу і доставляти постраждалих до медпункту, а при пожежі негайно сповіщати пожежну охорону, розпочинати гасіння пожежі та виконувати вказівки керівника робіт для усунення наслідків аварійної ситуації.

Домедична допомога при підозрі на пошкодження живота визначає порядок надання нефаховою допомогою. Проникаюча травма живота має свої ознаки, такі як рана, біль, нудота, блювота, слабкість, відчуття тиску, наявність сторонніх предметів у рані, та інші. Закрита травма живота може супроводжуватися ознаками внутрішньої кровотечі, такими як посиніння шкіри, хвилювання, часте дихання, блідість шкіри, нудота, блювота, спрага, втрата свідомості.

Надання домедичної допомоги передбачає переконання у відсутності небезпеки, огляд постраждалого, виклик швидкої допомоги, проведення серцево-легеневої реанімації при відсутності дихання, та заходи для надання допомоги при закритій або проникаючій травмі живота.

Механізм надання домедичної допомоги постраждалим при підозрі на травму грудної клітки. Ознаки проникаючої травми грудної клітки включають рану, утруднене дихання, кровотечу, звук вдихування повітря, та можливе кровохаркання. Ознаки травми грудної клітки з підозрою на внутрішню кровотечу включають посиніння, крепітацію, утруднене дихання,

кровохаркання, часте дихання, бліду, холодну або вологу шкіру, нудоту, блювоту та порушення свідомості.

Порядок надання домедичної допомоги постраждалим при підозрі на травму грудної клітки включає перевірку безпеки, огляд постраждалого, виклик швидкої допомоги, та надання першої допомоги, враховуючи вид травми.

Порядок надання домедичної допомоги постраждалим при травмах та пошкодженнях очей. Послідовність дій при наданні домедичної допомоги:

- ❖ Переконатися у відсутності небезпеки.
- ❖ Провести огляд постраждалого, визначити свідомість і дихання.
- ❖ Викликати швидку медичну допомогу.
- ❖ Допомогти постраждалому зайняти найбільш зручне положення.
- ❖ При потраплянні в очі дрібних тіл:
- ❖ Попросити постраждалого покліпати.
- ❖ Промити око теплою водою.
- ❖ Прикрити око чистою серветкою та закріпити лейкопластиром.
- ❖ При пошкодженні очей та наявності стороннього предмета:
- ❖ Не видаляти сторонній предмет.
- ❖ Накласти стерильну серветку на око, закріпити лейкопластиром, накласти пов'язку на обидва очі.
- ❖ При потраплянні в очі хімічних розчинів – промивати очі теплою водою.
- ❖ При витіку рідини з очного яблука – не промивати, не накладати пов'язку, забезпечити зручне положення.
- ❖ Забезпечити постійний нагляд до приїзду швидкої медичної допомоги.
- ❖ При погіршенні стану повторно зателефонувати диспетчеру швидкої медичної допомоги.

Надання домедичної допомоги постраждалим від електротравми та блискавки не медичними працівниками. Термін "електротравма" означає пошкодження, викликане електричним струмом або блискавкою. Порядок визначає послідовність дій для надання допомоги, такі як перевірка безпеки,

вимкнення джерела струму, проведення огляду постраждалого та виклик швидкої медичної допомоги.

Проведення реанімаційних заходів у разі потреби та забезпечення постійного нагляду до приїзду медичної допомоги. При погіршенні стану постраждалого рекомендується повторно звертатися за допомогою до диспетчера екстреної медичної допомоги.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проаналізовано способи геометричного нівелювання. Спосіб "вперед-назад" використовує більше станцій, ніж метод "із середини", але експерименти підтверджують приблизно однакову точність обох методів. "Вперед-назад" спрощує процес нівелювання через установку лінії нівелювання. Цей метод також дозволяє контролювати положення променя візування нівеліра, обчислюючи сумарний кут негоризонтальності  $\varepsilon$ ". Щоб зменшити перефокусування зорової труби нівеліра, рекомендується починати нівелювання на наступній станції з плеча, на якому закінчилося нівелювання на попередній станції.

Результати досліджень впливу вібрації штативу на результати вимірювань показують наступне: при збільшенні відстані між нівеліром та рейкою спостерігається зростання похибки вимірювань та середньоквадратичного відхилення відстані. Оптимальна відстань умов впливу вібрації штатива з ексцентриком: 9,93 м для позиції 3 та 16,17 м для позиції 1. Система "штатив - нівелір" може ефективно відсікати вплив вібрацій, якщо відокремити її від джерела вібрацій за допомогою зовнішніх пристроїв стабілізації. Рекомендується використовувати віброізолятори з войлоку та гуми, які забезпечують захист від динамічних впливів, можливих на роз'юстування або відмову приладу. Дослідження показали, що використання амортизаторів (з м'якої гуми) під ніжками штатива для системи "штатив - цифровий нівелір" зменшує похибку вимірювань на 40-60%.

Основна похибка при нівелюванні високої точності - це вплив рефракції. Навіть зменшення відстані до 50 метрів не гарантує повного усунення систематичної похибки від рефракції. Щодо контролю цього впливу, то пропонується вимірювати температуру на висоті візирного променя на рейці та нівеліру. Ці показники термометра дозволять достовірно оцінити вплив рефракції на результат нівелювання, що є важливим у високоточній роботі.

Під час нівелювання цифровим нівеліром з однією рейкою для зменшення впливу переміщень нівеліра і рейок на точність та витрат часу на зміну висоти нівеліра розроблено методику нівелювання з використанням цифрового нівеліра без зміни горизонту приладу. Це сприятиме скороченню часу роботи на станції та зменшить систематичні похибки.

При розробці класів нівелювання було встановлено кілька важливих вимог, включаючи середню довжину променя при нівелюванні, вплив вібрації на вимірювання та точність робіт у геодезії. Запропоновано класифікацію із 5 класів нівелювання.

Про дослідженні впливу освітлення рейки нівеліра то виявлені наступні закономірності: при збільшенні відстані від цифрового нівеліру до рейки змінюється значення еталонного перевищення на 0,5 мм, однак точність контролю перевищення на станції залишається в діапазоні від 0,03 до 0,07 мм. Використання світла від світлодіодної стрічки дозволяє проводити вимірювання як у програмі "темно-темно", так і за умов денного освітлення. Розподіл світла від світлодіодної стрічки є однорідним і не спостерігається "засвічувань" по штрихкодівій рейці, у відміну від використання ручного ліхтаря. Застосування світлодіодної стрічки для підсвічування дозволяє асистенту геодезиста сконцентруватися лише на правильному розміщенні рейки за допомогою круглого рівня. Розроблена оптимальна схема установки світлодіодної стрічки на рейку, що дає можливість використовувати повністю 100% світлового потоку від діодів.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Galda, M., Kujawski, E., Galda, M., Kujawski, E. (2000) Geodezja I miernictwo budowlane. Warszawa. Wrocław, 402.
2. Hofmann – Wellenhof, B. (2005) Physical Geodesy. Wien New York, 403.
3. Leveling with FourWheeled Chariots by Paul J. Hartzheim, PE, Darin J. Henkel and Robert Quandt, May 28, 2003. Режим доступу <http://www.pobonline.com/Articles/Features/6f86be768d0f6010VgnVCM100000f932a8c0>
4. Motorized Leveling Jean-Marie Becker, Mikael Lilje and Per-Ola Eriksson, April 20, 2000. Режим доступу [http://www.pobonline.com/Articles/Cover\\_Story/5645f0b5ba0f6010VgnVCM100000f932a8c0](http://www.pobonline.com/Articles/Cover_Story/5645f0b5ba0f6010VgnVCM100000f932a8c0)
5. Osada, E. (2001) Geodezja. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 223.
6. Richard, H. (1991) Rapp. Geometric geodesy. Part 1. The Ohio State University, 189.
7. Ващенко В. І. Спосіб геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції та негоризонтальності візирного променя / Ващенко В. І., Перій С. С, Літинський В. О. // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. праць. – Львів, 2009. – Вип.1(17). – С.116–121.
8. До питання геометричного нівелювання способом “вперед-назад” з використанням високоточного цифрового нівеліра Leica DNA 03 / [С.С. Перій, І.Ф. Рій, О.І. Мороз [та ін.]]// Вісник геодезії і картографії. – 2012. № 4. – С. 5–8.
9. Зуска, А.В. Інженерна геодезія [Текст]: навч. посіб. / А.В. Зуска.– Дніпро: НГУ, 2016. – 216 с.
10. Інструкція з нівелювання I, II, III, IV класів.
11. Інженерна геодезія: монографія / П.І. Баран. – К.: ПАТ «ВІПОЛ», 2012. – 618 с.: іл.



12. Літинський В. До встановлення допусків точного геометричного нівелювання / В. Літинський, І. Тревого, С. Перій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. – Випуск I (35). – С. 212–219
13. Лаврішко Є. Моторизоване високоточне геометричне нівелювання [Текст] / Є. Лаврішко, О. Ванчура // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип 74. – С. 71-76.
14. Перій С.С. Апробація способу геометричного нівелювання “вперед-назад” / С.Перій, В. Ващенко, І. Рій // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр.– Л., 2010. вип.1 – С.91–94.
15. Прокоф'єв Ф. І. Охорона праці в геодезії і картографії. М.: - Недра, 1987.
16. Пилип'юк Р.Г. Спосіб високоточного нівелювання зі штучною зміною горизонту нівеліра [Текст] / Р. Пилип'юк, Р. Пилип'юк, М. Кондур та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – № 1 (21). – С. 103-104.
17. Тревого І., Ільків Є., Кухтар Д. Удосконалення методики нівелювання цифровим нівеліром / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2012. - № 1 (23). – С. 96-97.
18. Тревого І.С. Залежність точності цифрового нівелювання від зміни положення нівеліра по висоті [Текст] / І. С. Тревого, Є.Ю. Ільків, Ю.Ф. Ткаченко // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 3. – С. 3-4.
19. Тревого І.С. Точність цифрового нівелювання з врахуванням додаткових переміщень рейок [Текст] / І. С. Тревого, Є.Ю. Ільків, Ю.Ф. Ткаченко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип 74. – С. 28-32.
20. Урдзік С.М. Вплив рефракції на точність геометричного нівелювання // Комунальне господарство міст / *Серія Архітектура та будівництво. Геодезія та землеустрій*, 2019, том 1, випуск 147. – С. 194-197
21. Черняга П.Г. Супутникова геодезія. Навчальний посібник / П.Г. Черняга, І.М. Бялик, Р.М. Янчук. 2-ге вид., без змін – Рівне: НУВГП, 2014. – 222 с.

22. Шлапак Л. С. Науково-методичні основи діагностики напружено-деформованого стану надземних ділянок газопроводів: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Шлапак Любомир Степанович. – Івано-Франківськ, 1996. – 423 с.