



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

# **ОПТИКА ТА ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ**

**Методики випробування геодезичних  
та знімальних приладів у польових умовах**

**Частина 6. Лазери обертові  
(ISO 17123-6:2003, IDT)**

**ДСТУ ISO 17123-6**

Проект, перша редакція



## ЗМІСТ

	с.
Національний вступ.....	IV
1 Сфера застосування.....	1
2 Нормативні посилання.....	1
3 Терміни та визначення понять .....	2
4 Загальні положення .....	2
5 Спрощена методика випробування.....	4
6 Детальна методика випробування .....	6
Додаток А Приклад спрощеної методики випробування .....	12
Додаток В Приклад детальної методики випробування .....	13

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад ISO 17123-6:2003 Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 6: Rotating lasers (Оптика та оптичні прилади. Методики випробування геодезичних та знімальних приладів у польових умовах. Частина 6. Лазери обертіві).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, — ТК 63 «Загальні норми і правила державної системи забезпечення єдності вимірювань».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «ця частина ISO 17123» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Зміст», «Національний вступ», першу сторінку та «Бібліографічні дані» — оформлено відповідно до вимог національної стандартизації України;
- з «Передмови» до ISO 17123-6:2003 у цей «Національний вступ» узято те, що безпосередньо стосується цього стандарту;
- у розділі «Нормативні посилання» наведено «Національне пояснення», виділене в тексті рамкою;

— виправлено помилки оригіналу: у додатку А доповнено назву таблиці А.1; у додатку В у першому реченні В.1 слова «і-тої серії вимірювань» замінено на слова «серії вимірювань № 1».

Додатки А і В — довідкові.

Стандарт ISO 17123 «Оптика та оптичні прилади. Методики випробування геодезичних та знімальних приладів у польових умовах» складається з таких частин:

- Частина 1. Теорія;
- Частина 2. Нівеліри;
- Частина 3. Теодоліти;
- Частина 4. Електрооптичні далекоміри (EDM-прилади);
- Частина 5. Електронні тахеометри;
- Частина 6. Обертіві лазери;
- Частина 7. Оптичні прилади вертикальної конструкції.

Міжнародний стандарт ISO 17123-2, на який є посилання в цьому стандарті, прийнято в Україні як національний ДСТУ ISO 17123-2:2006 Оптика та оптичні прилади. Методики випробування геодезичних та знімальних приладів у польових умовах. Частина 2. Нівеліри (ISO 17123-2:2001, IDT).

Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Головному фонді нормативних документів.

## **1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт установлює вимоги до методики визначання й оцінювання точності обертових лазерів та їхнього допоміжного устаткування під час будівельних і геодезичних вимірювань, пов'язаних з нівелюванням, у польових умовах. Насамперед ці випробування призначено, щоб перевіряти в польових умовах придатність відповідного приладу для виконання конкретного завдання та для задоволення вимог інших стандартів. Їх не пропонують як випробування для приймання або оцінювання загальних робочих характеристик.

Цей стандарт є основою для оцінювання невизначеності вимірювання (спеціальної вимірюваної величини). Невизначеність результату вимірювання залежить від низки чинників. Вони охоплюють, зокрема, збіжність, відтворюваність (збіжність протягом дня) і повну оцінку всіх можливих джерел похибки, як запропоновано Настановою ISO з вираження невизначеності вимірювання (GUM).

Цю методику випробування в польових умовах було розроблено спеціально для застосування на місці проведення вимірювання без спеціального допоміжного устаткування та призначено для мінімізації атмосферних впливів.

## **2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

У наведених нижче нормативних документах зазначено положення для застосування в цьому стандарті. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань треба користуватися останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

ISO 3534-1 Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: Probability and general statistical terms

ISO 4463-1 Measurement methods for building — Setting-out and measurement — Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria

ISO 7077 Measuring methods for building — General principles and procedures for the verification of dimensional compliance

ISO 7078 Building construction — Procedures for setting out, measurement and surveying — Vocabulary and guidance notes

ISO 9849 Optics and optical instruments — Geodetic and surveying instruments — Vocabulary  
ISO 17123-1 Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 1: Theory  
ISO 17123-2 Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 2: Levels  
GUM Guide to the expression of uncertainty in measurement BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML  
VIM International vocabulary of basic and general terms in metrology BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML.

#### НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

ISO 3534-1 Статистика. Словник термінів та позначки. Частина 1. Терміни теорії ймовірностей і загальні статистичні терміни

ISO 4463-1 Методи вимірювання в будівництві. Розмітка та вимірювання. Частина 1. Планування та організація, методики вимірювання, приймальні критерії

ISO 7077 Методи вимірювання в будівництві. Загальні принципи та методики перевіряння відповідності розмірів

ISO 7078 Конструкції будівельні. Методики розмітки, вимірювання та знімання. Словник термінів і настанови

ISO 9849 Оптика та оптичні прилади. Геодезичні та знімальні прилади. Словник термінів

ISO 17123-1 Оптика та оптичні прилади. Методики випробування геодезичних та знімальних приладів у польових умовах. Частина 1. Теорія

ISO 17123-2 Оптика та оптичні прилади. Методики випробування геодезичних та знімальних приладів у польових умовах. Частина 2. Нівеліри

GUM Настанова з вираження невизначеності вимірювання BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML

VIM Міжнародний словник основних і загальних термінів у метрології BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML.

### 3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті застосовують терміни та визначення понять, наведені в ISO 3534-1, ISO 4463-1, ISO 7077, ISO 7078, ISO 9849, ISO 17123-1, ISO 17123-2, GUM та VIM.

### 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

#### 4.1 Вимоги

Важливо, щоб перед початком знімання оператор установив, що точність застосованого під час вимірювання обладнання відповідає поставленому завданню вимірювання.

Обертвий лазер і його допоміжне устаткування має бути встановлено та від'юстовано за методиками, зазначеними в настанові виробника, і їх потрібно використовувати зі штативами та нівелірними рейками, як рекомендував виробник.

На результати цих випробувань впливають метеорологічні умови, особливо градієнт температури. Хмарність і низька швидкість вітру є найсприятливішими погодними умовами. Особливі умови, які потрібно враховувати, можуть змінюватися залежно від поставленого завдання. Також варто враховувати фактичні погодні умови під час вимірювання і тип поверхні, над якою проводять вимірювання. Умови, вибрані для випробування, мають відповідати таким, за яких можливе фактичне виконання поставленого завдання вимірювання (див. ISO 7077 і ISO 7078).

Результати випробувань, виконаних у лабораторії, майже не зазнають атмосферних впливів, однак витрати на проведення таких випробувань дуже високі, і тому вони недоступні для більшості користувачів. Крім того, результати лабораторних випробувань набагато точніші, ніж одержані під час випробувань у польових умовах.

Цей стандарт описує дві різні методики випробування у польових умовах, які наведено в розділах 5 і 6. Оператор повинен вибрати методику, найбільш придатну для виконання особливих вимог проекту.

#### 4.2 Методика 1. Спрощена методика випробування

За допомогою спрощеної методики випробування оцінюють, чи перебуває точність конкретного устаткування, що використовує обертовий лазер, у межах дозволених відхилів, установлених згідно з ISO 4463-1.

Цю методику випробування зазвичай застосовують для перевіряння точності обертового лазера, який використовують для нівелювання площі, для звичайних практичних завдань вимірювання неоднакових по довжині ділянок, наприклад будівельних майданчиків.

Спрощена методика випробування ґрунтується на обмеженій кількості вимірювань. Тому точне значення середнього квадратичного відхилу не може бути отримано. Якщо потрібно точніше оцінити обертовий лазер у польових умовах, то рекомендовано застосовувати детальну методику випробування, наведену в розділі 6.

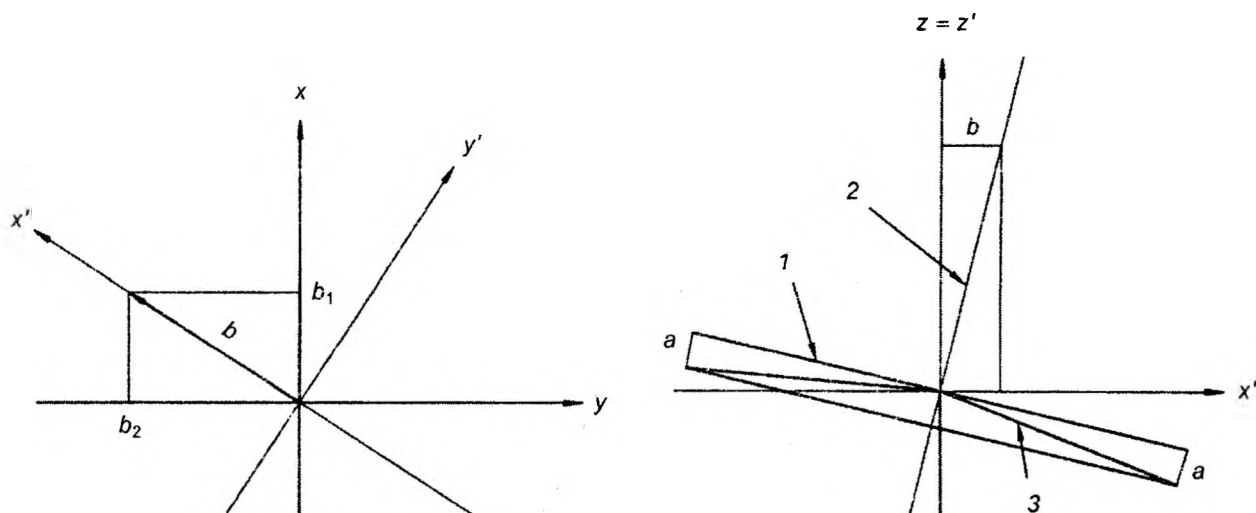
Ця методика випробування припускає наявність майданчика для випробувань на різних висотах, значення яких вважають істинними. Якщо такого випробувального майданчика немає, то невідомі різниці висот (див. рисунок 1 і 2) визначають, використовуючи оптичний нівелір, точність якого (див. ISO 17123-2) перевищує точність випробовуваного обертового лазера, необхідного для виконання завдання вимірювання. Якщо, однак, випробувальний полігон з відомими різницями висот не можна використовувати, то потрібно застосовувати детальну методику випробувань, наведену в розділі 6.

Якщо немає точнішого нівеліра, то обертовим лазером, який випробовують, можна визначити істинні значення, вимірюючи різницю висот між всіма візирними марками відносно центра. За кожного встановлення потрібно вимірювати дві різниці по висоті, отримані під час обертання площини лазера на  $180^\circ$ . Середнє значення повторних вимірювань в обох положеннях дає значення різниці висот, які вважають істинними.

#### 4.3 Методика 2. Детальна методика випробування

Детальну методику випробування застосовують для визначення найбільш можливої точності обертового лазера і його допоміжного устаткування в польових умовах.

За допомогою детальної методики випробування визначають відхил  $a$  та обох компонент  $b_1$  та  $b_2$ , відхил осі обертання від істинної вертикалі  $b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2}$  обертового лазера (див. рисунок 1).



а) Горизонтальна площина

б) Вертикальна площина, що проходить через  $x'$

Позначки:  
1 — площина нахилу;  
2 — вісь конуса;  
3 — конус нахилу.

Рисунок 1 — Відхилення  $a$  і  $b$  (див. рисунок 5)

Рекомендовані відстані наведення — 40 м. На відстанях понад 40 м можна визначати точність у разі використання обертового лазера, якщо це є технічною вимогою певного проекту, або для визначення діапазону точності обертового лазера під час вимірювання на відповідних відстанях.

За допомогою методики випробування, наведеної в розділі 6, визначають границі похибки вимірювання під час використання конкретного обертового лазера. Цю границю похибки виражають через експериментальний середньоквадратичний відхил  $s$  різниці висот між нівеліром та нівелірною рейкою (відлік по нівелірній рейці) рівня на відстані 40 м:  $s_{\text{ISO-ROLAS}}$ .

Додатково цю методику можна застосовувати для визначення:

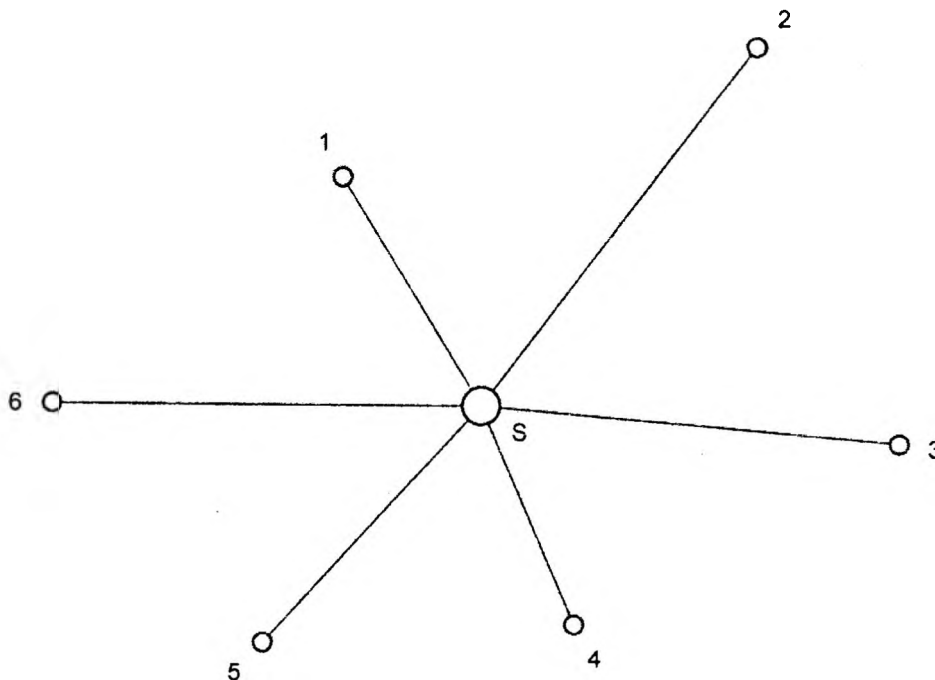
- границі похибки в разі використання обертових лазерів для окремої геодезичної групи з одним приладом і його допоміжним устаткуванням на даний момент;
- границі похибки в разі використання одного приладу через певний час за різних умов;
- границі похибки в разі використання кількох обертових лазерів для порівняння їхньої точності, якої може бути досягнуто в подібних польових умовах.

За допомогою статистичних випробувань визначають, чи входить отриманий експериментальний середньоквадратичний відхил  $s$  до сукупності інструментального теоретичного середньоквадратичного відхилю  $\sigma$ , чи належать дві випробувальні вибірки тій самій сукупності та чи дорівнює нулю відхил  $a$  і відхил  $b$  осі обертання лазера від істинної вертикалі.

## 5 СПРОЩЕНА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ

### 5.1 Конфігурація випробувального майданчика

Щоб звести до мінімуму вплив рефракції, доцільно вибрати горизонтальну площину випробування. Шість нерухомих візирних точок 1, 2, 3, 4, 5 і 6 має бути розташовано приблизно в одній горизонтальній площині на відстанях від 10 м до 60 м від інструментальної станції S. Напрямки від інструментальної станції до нерухомих візирних марок має бути розподілено горизонтально і, якщо це можливо, рівномірно (див. рисунок 2).



де S — інструментальна станція;  
1, 2, 3, 4, 5, 6 — нерухомі візирні марки.

Рисунок 2 — Конфігурація випробувального майданчика для спрощеної методики випробування

Для забезпечення вірогідності результатів нерухомі візирні марки повинні мати стабільну розмітку і мають бути надійно закріплені протягом вимірювань, зокрема повторних.



Різниці висот шести нерухомих візирних марок 1, 2, 3, 4, 5 і 6 потрібно визначити високоточним оптичним нівеліром, як наведено в розділі 4.

Визначають такі п'ять різниць висот:

$$\bar{d}_{2,1};$$

$$\bar{d}_{3,2};$$

$$\bar{d}_{4,3};$$

$$\bar{d}_{5,4};$$

$$\bar{d}_{6,5}.$$

## 5.2 Вимірювання

Обертовий лазер має бути стійко встановлено на станції S. Перед початком вимірювання потрібно дати лазерному променю усталитися. Для підтвердження того, що положення світлової площини обертового лазера не змінилося протягом повного циклу вимірювань, до кожної  $j$ -тої ( $j = 1, \dots, 5$ ) серії вимірювань та після неї потрібно спостерігати за певною заздалегідь вибраною нерухомою візирною маркою.

Для кожної із шести нерухомих візирних марок 1, ..., 6 необхідно виконати шість окремих відліків  $x_{j,1}, \dots, x_{j,6}$  за шкалою нівелірної рейки. Після кожної серії відліків обертовий лазер потрібно зняти, повернути по годинниковій стрілці приблизно на  $70^\circ$ , знов установити в позиції, що трохи відрізняється від попередньої, та виставити паралельно площині горизонту. Інтервал часу між двома послідовними серіями відліків має становити не менше ніж 10 хв.

Кожен відлік необхідно робити відповідно до настанов виробника обертового лазера.

## 5.3 Обчислення

Оброблення відліків ґрунтується на таких різницях:

$$d_{j,2,1} = x_{j,2} - x_{j,1};$$

$$d_{j,3,2} = x_{j,3} - x_{j,2};$$

$$d_{j,4,3} = x_{j,4} - x_{j,3};$$

$$j = 1, \dots, 5$$

(1)

$$d_{j,5,4} = x_{j,5} - x_{j,4};$$

$$d_{j,6,5} = x_{j,6} - x_{j,5};$$

де  $j$  — номер серії вимірювань на нерухомій візирній марці 1, ..., 6;

$$r_{j,2,1} = \bar{d}_{2,1} - d_{j,2,1};$$

$$r_{j,3,2} = \bar{d}_{3,2} - d_{j,3,2};$$

$$r_{j,4,3} = \bar{d}_{4,3} - d_{j,4,3};$$

$$j = 1, \dots, 5$$

(2)

$$r_{j,5,4} = \bar{d}_{5,4} - d_{j,5,4};$$

$$r_{j,6,5} = \bar{d}_{6,5} - d_{j,6,5};$$

де  $r_{j,t,t-1}$  ( $t = 2, \dots, 6$  — номер нерухокої візирної марки) — розходження різниці  $d_{j,t,t-1}$ .

$$\Sigma r^2 = \sum_{j=1}^5 r_{j,2,1}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,3,2}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,4,3}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,5,4}^2 + \sum_{j=1}^5 r_{j,6,5}^2 = \sum_{j=1}^5 \sum_{t=2}^6 r_{j,t,t-1}^2 \quad (3)$$

де  $\Sigma r^2$  — сума квадратів усіх 25 розходжень;

$\nu = 5 \cdot (6 - 1) = 25$  — відповідна кількість ступенів свободи.

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma r^2}{\nu}}, \quad (4)$$

де  $s$  — експериментальний середньоквадратичний відхил кожного вимірювання різниці  $d_{j,t,t-1}$  між двома візирними марками випробувальної області, який показує границі похибки. Ця величина містить систематичну і випадкову похибки.

## 6 ДЕТАЛЬНА МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ

### 6.1 Конфігурація випробувальної лінії

Щоб звести до мінімуму вплив рефракції, доцільно вибрати горизонтальну площину випробування. Поверхня землі має бути вирівняна та ущільнена, треба уникати доріг з асфальтовим чи бетонним покриттям. Від прямого сонячного проміння обертовий лазер і нівелірні рейки потрібно затінити, наприклад, за допомогою парасоля.

Дві нівелірні візирні марки, А і В, мають перебувати на відстані приблизно 40 м одна від одної. Щоб забезпечити вірогідність результатів, нівелірні рейки треба міцно встановити і надійно закріпити протягом вимірювань, зокрема повторних вимірювань. Обертовий лазер повинен розташовуватися на станціях S1, S2 і S3. Відстані від станцій приладів до нівелірних візирних марок мають відповідати зазначеним на рисунку 3. Станція S1 повинна розташовуватися на однакових відстанях від нівелірних візирних марок А і В ( $40/2 = 20$  м).

Розміри в метрах

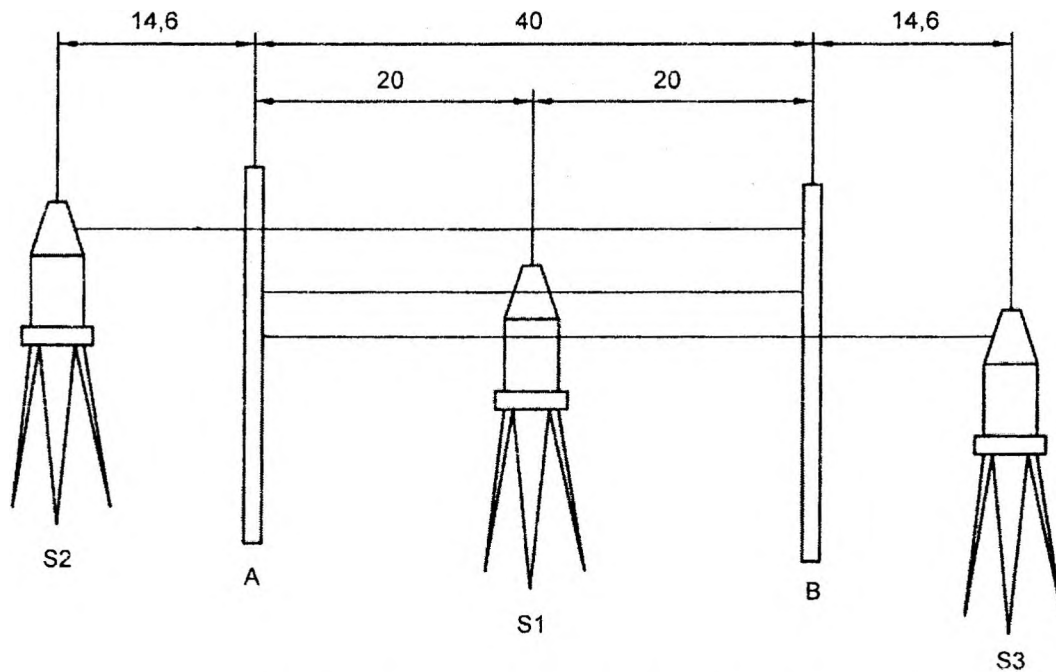


Рисунок 3 — Конфігурація випробувальної лінії для детальної методики випробування

### 6.2 Вимірювання

Перед початком вимірювання обертовий лазер потрібно від'юстувати відповідно до настанови виробника.

Відповідно до загальної методики випробування потрібно використовувати чотири ( $m = 4$ ) серії  $i$ -тих вимірювань. У кожній серії обертовий лазер установлюють на всіх трьох станціях, S1, S2 і S3. Після установлення обертового лазера потрібно дати лазерному променю усталитися.

Відліки по нівелірних візирних марках А і В варто виконувати з кожної  $j$ -ої інструментальної станції чотирма ( $n = 4$ ) серіями, для кожної з яких обертовий лазер повертається на  $90^\circ$ . На всіх трьох станціях S1, S2 і S3 орієнтація обертового лазера за сторонами світу має бути однаковою, щоб забезпечити однакові відхилення. Напрямок повороту обертового лазера також повинен зберігатися. Різні напрямки вибирають відповідно до припустимих нахилів обертового лазера.

Для кожного обраного контрольного напрямку (контрольної мітки на головці штатива) обертовий лазер має бути ретельно виставлений паралельно площині горизонту. Якщо обертовий лазер має компенсатор, треба враховувати відповідні його властивості. Усі чотири напрямки орієнтації обертового лазера на трьох інструментальних станціях і нумерацію цих 12 вимірів має бути представлено для кожної серії вимірювань так, як показано на рисунку 4. Кожен відлік потрібно брати відповідно до рекомендацій виробника обертового лазера.

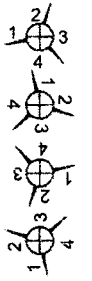
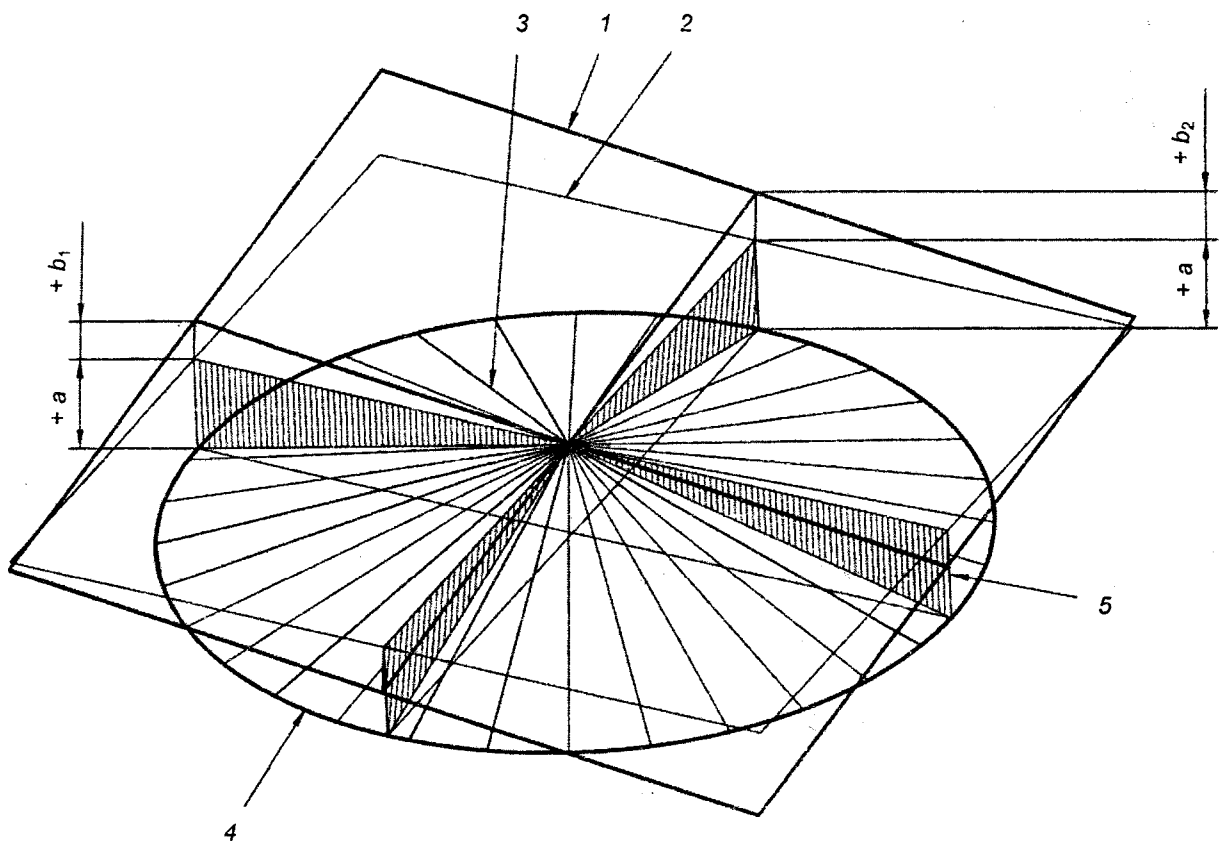
	A S1 B	S2 A B	A B S3
Орієнтація	$j$	$j$	$j$
	1	5	9
	2	6	10
	3	7	11
	4	8	12

Рисунок 4 — Конфігурація вимірювань

### 6.3 Обчислення

Можливі відхили обертового лазера може бути змодельовано так, як показано на рисунку 5.



Позначки:

- 1 — горизонтальна площина;
- 2 — похила площина;
- 3 — похилий конус;
- 4 — радіус конуса 40 м;
- 5 — висота конуса  $a$ .

Рисунок 5 — Модель відхилів приладу

Для одержання горизонтального візування відліки по нівелірних рейках для обраних відстаней спостереження потрібно виправити, застосовуючи інструментальні відхили  $a$  і  $b$  (див. таблицю 1).

Таблиця 1 — Виправлення відліків

Напрямок	Відстань		
	14,6 м	20,0 м	54,6 м
1	$0,365 (a + b_1)$	$0,500 (a + b_1)$	$1,365 (a + b_1)$
2	$0,365 (a + b_2)$	$0,500 (a + b_2)$	$1,365 (a + b_2)$
3	$0,365 (a - b_1)$	$0,500 (a - b_1)$	$1,365 (a - b_1)$
4	$0,365 (a - b_2)$	$0,500 (a - b_2)$	$1,365 (a - b_2)$

З формул спостережень для  $i$ -тої серії отримано розходження з  $r_1$  по  $r_{12}$  (див. таблицю 2).

Таблиця 2 — Формули спостережень для  $j$ -тої серії

$\rho = 2,0^a$	$\rho = 0,5^a$	$\rho = 0,5^a$
$r_1 = h - b_1 - (x_{B,1} - x_{A,1})$	$r_5 = h + a - b_1 - (x_{B,5} - x_{A,5})$	$r_9 = h - a - b_1 - (x_{B,9} - x_{A,9})$
$r_2 = h + b_2 - (x_{B,2} - x_{A,2})$	$r_6 = h + a + b_2 - (x_{B,6} - x_{A,6})$	$r_{10} = h - a + b_2 - (x_{B,10} - x_{A,10})$
$r_3 = h + b_1 - (x_{B,3} - x_{A,3})$	$r_7 = h + a + b_1 - (x_{B,7} - x_{A,7})$	$r_{11} = h - a + b_1 - (x_{B,11} - x_{A,11})$
$r_4 = h - b_2 - (x_{B,4} - x_{A,4})$	$r_8 = h + a - b_2 - (x_{B,8} - x_{A,8})$	$r_{12} = h - a - b_2 - (x_{B,12} - x_{A,12})$

<sup>a</sup>  $\rho$  — ваговий коефіцієнт для одиничного відліку по нівелірній рейці ( $\rho = 1$  для відстані спостереження 40 м).

$$x_j = x_{B,j} - x_{A,j}; \quad j = 1, \dots, 12, \quad (5)$$

де  $x_j$  — напівспостереження (різниця висоти);  
 $x_{A,j}$  — відлік по нівелірній рейці А;  
 $x_{B,j}$  — відлік по нівелірній рейці В.

$$h_i = \frac{1}{12} \left( 2,0 \sum_{j=1}^4 x_j + 0,5 \sum_{j=5}^{12} x_j \right), \quad (6)$$

де  $h_i$  — різниця висоти нівелірних рейок В і А.

$$a_i = \frac{1}{4} \left( 0,5 \sum_{j=5}^8 x_j - 0,5 \sum_{j=9}^{12} x_j \right), \quad (7)$$

де  $a_i$  — девіація відхилу на відстані спостереження 40 м.

$$b_{1,i} = \frac{1}{6} (2,0(-x_1 + x_3) + 0,5(-x_5 + x_7 - x_9 + x_{11})); \quad (8)$$

$$b_{2,i} = \frac{1}{6} (2,0(x_2 - x_4) + 0,5(x_6 - x_8 + x_{10} - x_{12})), \quad (9)$$

де  $b_1$  і  $b_2$  — складники відхилу осі обертання лазера від істинної вертикалі на відстані спостереження 40 м.

Значення  $h_i$ ,  $a_i$ ,  $b_{1,i}$  і  $b_{2,i}$  обчислюють окремо для кожної  $i$ -тої серії вимірювань.

$$\begin{aligned} r_1 &= h - b_1 - x_1; \\ r_2 &= h + b_2 - x_2; \\ r_3 &= h + b_1 - x_3; \\ r_4 &= h - b_2 - x_4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r_5 &= h + a - b_1 - x_5; \\
r_6 &= h + a + b_2 - x_6; \\
r_7 &= h + a + b_1 - x_7; \\
r_8 &= h + a - b_2 - x_8; \\
r_9 &= h - a - b_1 - x_9; \\
r_{10} &= h - a + b_2 - x_{10}; \\
r_{11} &= h - a + b_1 - x_{11}; \\
r_{12} &= h - a - b_2 - x_{12},
\end{aligned}
\tag{10}$$

де  $r_j$  — розходження, обчислені за формулами спостережень, наведеними в таблиці 2.

Примітка. У групі формул (10) індекс  $i$ , що вказує на  $i$ -ту серію вимірювань, у символах  $x$ ,  $r$ ,  $a$ ,  $b$  і  $h$  не вказано.

Оскільки є чотири серії вимірювань для  $i = 1, \dots, 4$ , то сума квадратів розходжень в одній серії дорівнює:

$$\Sigma r_i^2 = 2,0 \Sigma_{j=1}^4 r_j^2 + 0,5 \Sigma_{j=5}^{12} r_j^2, \tag{11}$$

де  $\Sigma r_i^2$  — сума квадратів розходжень в  $i$ -тій серії вимірювань.

$$v_i = 12 - 4 = 8, \tag{12}$$

де  $v_i$  — кількість ступенів свободи для однієї серії вимірювань.

$$s_i = \sqrt{\frac{\Sigma r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\Sigma r_i^2}{8}}, \tag{13}$$

де  $s_i$  — експериментальний середньоквадратичний відхил  $i$ -тої серії вимірювань для відстані спостереження 40 м.

Середнє квадратичне значення з експериментальних середньоквадратичних відхилів для чотирьох серій вимірювань становить:

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma r_1^2 + \Sigma r_2^2 + \Sigma r_3^2 + \Sigma r_4^2}{4 \cdot 8}} = \sqrt{\frac{4 \Sigma \Sigma r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{4 \Sigma s_i^2}{4}}, \tag{14}$$

$$S_{\text{ISO-ROLAS}} = s \tag{15}$$

з кількістю ступенів свободи

$$v = 4 \cdot v_i = 32. \tag{16}$$

Параметри, одержані з усіх серій спостережень, мають такі середні значення:

$$h = \frac{\Sigma_{i=1}^4 h_i}{4}; \tag{17}$$

$$a = \frac{\Sigma_{i=1}^4 a_i}{4}; \tag{18}$$

$$b_1 = \frac{\Sigma_{i=1}^4 b_{1,i}}{4}; \tag{19}$$

$$b_2 = \frac{\Sigma_{i=1}^4 b_{2,i}}{4}; \tag{20}$$

$$b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2}, \tag{21}$$

де  $b$  — загальний відхил осі обертання лазера від істинної вертикалі на відстані спостереження 40 м.

## 6.4 Статистичні випробування

### 6.4.1 Загальні положення

Статистичні випробування рекомендують тільки для детальної методики випробування.

Для інтерпретації результатів статистичні випробування потрібно виконувати, використовуючи:

- експериментальний середньоквадратичний відхил  $s$  різниць висот  $h$  між нівеліром і нівелірною рейкою (відлік по нівелірній рейці) на відстані спостереження 40 м,
- девіацію відхилу  $a$  для відстані спостереження 40 м та її середньоквадратичний відхил  $s_a$ ,
- загальний відхил  $b$  осі обертання лазера від істинної вертикалі на відстані спостереження 40 м і його середньоквадратичний відхил  $s_b$ ,

щоб відповісти на такі запитання (див. таблицю 3):

- а) Обчислений експериментальний середньоквадратичний відхил  $s$  для одиничного відліку по нівелірній рейці на відстані спостереження 40 м є меншим, ніж відповідне значення  $\sigma$ , яке установив виробник, чи меншим, ніж інше попередньо установлене значення  $\sigma$ ?

Зазвичай виробники визначають точність за значенням кута відхилу від горизонталі, що можна вважати відповідним середньоквадратичним відхилом  $\sigma$  на відстані 40 м.

- б) Чи належать тій самій сукупності два експериментальні середньоквадратичні відхили  $s$  і  $\bar{s}$ , визначені з двох різних вибірок вимірювань, якщо припустити, що обидві вибірки мають однакову кількість ступенів свободи  $\nu$ ?

Експериментальні середньоквадратичні відхили  $s$  і  $\bar{s}$  може бути отримано:

- із двох вибірок вимірювань тим самим приладом у різний час;
- із двох вибірок вимірювань різними приладами.

- в) Чи дорівнює нулю девіація відхилів  $a$ ?

- г) Чи дорівнює нулю загальний відхил  $b$  осі обертання лазера від істинної вертикалі?

Для наведених нижче випробувань довірчий рівень становить  $1 - \alpha = 0,95$  і, відповідно до проекту вимірювань, кількість ступенів свободи  $\nu = 32$ .

Таблиця 3 — Статистичні випробування

Питання	Основна гіпотеза	Альтернативна гіпотеза
а)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
б)	$\sigma = \bar{\sigma}$	$\sigma \neq \bar{\sigma}$
в)	$a = 0$	$a \neq 0$
г)	$b = 0$	$b \neq 0$

### 6.4.2 Питання а)

Основну гіпотезу, яка полягає в тому, що експериментальний середньоквадратичний відхил  $s$  менше або дорівнює теоретичному або попередньо установленому значенню  $\sigma$ , не відкидають, якщо виконано таку умову:

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}} \quad (22)$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(32)}{32}} \quad (23)$$

$$\chi_{0,95}^2(32) = 46,19 \quad (24)$$

$$s \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{46,19}{32}} \quad (25)$$

$$s \leq \sigma \cdot 1,20. \quad (26)$$

Інакше основну гіпотезу відкидають.

#### 6.4.3 Питання b)

У разі двох різних вибірок випробування показує, чи належать експериментальні середньо-квадратичні відхили  $s$  і  $\bar{s}$  тій самій сукупності. Відповідну основну гіпотезу  $\sigma = \bar{\sigma}$  не відкидають, якщо виконано таку умову:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v, v)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v, v) \quad (27)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(32, 32)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{0,975}(32, 32) \quad (28)$$

$$F_{0,975}(32, 32) = 2,02 \quad (29)$$

$$0,50 \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq 2,02. \quad (30)$$

Інакше основну гіпотезу відкидають.

#### 6.4.4 Питання c)

Основну гіпотезу, яка полягає в тому, що девіація відхилу  $a$  обертового лазера дорівнює нулю, не відкидають, якщо виконано таку умову:

$$|a| \leq s_a \cdot t_{1-\alpha/2}(v) \quad (31)$$

$$|a| \leq s_a \cdot t_{0,975}(32) \quad (32)$$

$$s_a = \frac{s}{\sqrt{4} \cdot \sqrt{4}} \quad (33)$$

$$t_{0,975}(32) = 2,04 \quad (34)$$

$$|a| \leq \frac{s}{4} \cdot 2,04 \quad (35)$$

$$|a| \leq s \cdot 0,51.$$

Інакше основну гіпотезу відкидають.

#### 6.4.5 Питання d)

Основну гіпотезу, яка полягає в тому, що загальний відхил  $b$  осі обертання лазера від істинної вертикалі дорівнює нулю, не відкидають, якщо виконано таку умову:

$$b \leq s_b \cdot t_{1-\alpha/2}(v) \quad (36)$$

$$b \leq s_b \cdot t_{0,975}(32) \quad (37)$$

$$s_b = \frac{s}{\sqrt{6} \cdot \sqrt{4}} \quad (38)$$

$$t_{0,975}(32) = 2,04 \quad (39)$$

$$b \leq \frac{s}{\sqrt{24}} \cdot 2,04 \leq s \cdot 0,42. \quad (40)$$

Інакше основну гіпотезу відкидають.

Примітка. На практиці параметри  $a$  і  $b$  можуть істотно впливати на відліки перевищень.

ДОДАТОК А  
(довідковий)

**ПРИКЛАД СПРОЩЕНОЇ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАННЯ**

**А.1 Конфігурація випробувального майданчика**

Для визначення контрольних перевищень (відносних висот) шести нерухомих візирних марок випробувального майданчика застосовують нівелір достатньої точності.

Експериментальний середньоквадратичний відхил одиначної різниці висот визначають за детальною методикою випробування, викладеною в розділі 6 ISO 17123-2:

$$s_{\bar{x}} = 0,2 \text{ мм.}$$

Відносні висоти і різниці висот шести нерухомих візирних марок становлять:

$\bar{x}_1 = 1,7022 \text{ м}$	
$\bar{x}_2 = 1,5214 \text{ м}$	$\bar{d}_{2,1} = -0,1808 \text{ м}$
$\bar{x}_3 = 1,6376 \text{ м}$	$\bar{d}_{3,2} = +0,1162 \text{ м}$
$\bar{x}_4 = 1,7124 \text{ м}$	$\bar{d}_{4,3} = +0,0748 \text{ м}$
$\bar{x}_5 = 1,5610 \text{ м}$	$\bar{d}_{5,4} = -0,1514 \text{ м}$
$\bar{x}_6 = 1,6088 \text{ м}$	$\bar{d}_{6,5} = +0,0478 \text{ м}$

$$\Sigma = -0,0934 \text{ м} = \bar{x}_6 - \bar{x}_1.$$

**А.2 Вимірювання**

Таблиця А.1 містить у колонках 1—3 виміряні величини  $x_{j,t}$  та в колонці 5 різниці висот  $d_{t,t-1}$ , зазначені в А.1.

Спостерігач:

С. Міллер

Погода:

хмарно, + 11 °С

Тип і номер приладу:

NN xxx 630401

Дата:

15.04.1999

Таблиця А.1 — Виміряні значення та різниці

$j$	$t$	$x_{j,t}$ м	$d_{t,t-1}$ м	$\bar{d}_{t,t-1}$ м	$\bar{r}_{t,t-1}$ мм	$r_{t,t-1}^2$ мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	1	2,215				
	2	2,033	-0,182	-0,1808	+1,2	1,44
	3	2,150	+0,117	+0,1162	-0,8	0,64
	4	2,225	+0,075	+0,0748	-0,2	0,04
	5	2,073	-0,152	-0,1514	+0,6	0,36
	6	2,122	+0,049	+0,0478	-1,2	1,44
2	1	1,915				
	2	1,736	-0,179		-1,8	3,24
	3	1,851	+0,115		+1,2	1,44
	4	1,926	+0,075		-0,2	0,04
	5	1,776	-0,150		-1,4	1,96
	6	1,824	+0,048		-0,2	0,04
3	1	1,224				
	2	1,042	-0,182		+1,2	1,44
	3	1,158	+0,116		+0,2	0,04
	4	1,232	+0,074		+0,8	0,64
	5	1,081	-0,151		-0,4	0,16
	6	1,128	+0,047		+0,8	0,64



Кінець таблиці А.1

$j$	$t$	$x_t$ М	$d_{t,t-1}$ М	$\bar{d}_{t,t-1}$ М	$r_{t,t-1}$ ММ	$r_{t,t-1}^2$ ММ <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
4	1	1,585				
	2	1,404	-0,181		+0,2	0,04
	3	1,521	+0,117		-0,8	0,64
	4	1,595	+0,074		+0,8	0,64
	5	1,443	-0,152		+0,6	0,36
	6	1,489	+0,046		+1,8	3,24
5	1	1,777				
	2	1,596	-0,181		+0,2	0,04
	3	1,712	+0,116		+0,2	0,04
	4	1,788	+0,076		-1,2	1,44
	5	1,637	-0,151		-0,4	0,16
	6	1,684	+0,047		+0,8	0,64
$\Sigma$			-0,469	-0,0934	+2,0	20,80
$\sum_{j=1}^5 (x_{j,6} - x_{j,1})$		-0,469				

### А.3 Обчислення

Спочатку за формулою (1) обчислюють різниці висот  $d_{t,t-1}$  (див. колонку 4 таблиці А.1), потім обчислюють розходження  $r_{t,t-1}$  (див. формулу (2) і колонку 6 таблиці А.1). Сума квадратів розходжень  $\Sigma r^2$  дорівнює 20,80 мм<sup>2</sup> (див. останній рядок колонки 7 таблиці А.1). Якщо кількість ступенів свободи  $\nu$  дорівнює 25, то середньоквадратичний відхил різниць висот  $d_{t,t-1}$  обчислюють за формулою (4):

$$s = \sqrt{\frac{20,80 \text{ мм}^2}{25}} = 0,9 \text{ мм.}$$

За таблицею А.1 виконують дві арифметичні перевірки (усі розміри в метрах):

— значення в останньому рядку колонки 3 має дорівнювати сумі значень колонки 4:

$$-0,469 = -0,469;$$

— п'ятиразова сума значень колонки 5 мінус сума значень колонки 4 має дорівнювати сумі значень колонки 6:

$$5 \cdot (-0,0934) - (-0,469) = 0,002.$$

## ДОДАТОК В

(довідковий)

### ПРИКЛАД ДЕТАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАННЯ

#### В.1 Вимірювання

Таблиця В.1 містить у колонках 1—4 виміряні значення  $x_{A,j}$  і  $x_{B,j}$ , серії вимірювань № 1 (серії вимірювань №№ 2, 3 і 4 не наведено).

Спостерігач:

С. Міллер

Погода:

сонячно, + 10 °С

Тип і номер приладу:

NN xxx 630401

Дата:

15.04.1999

Таблиця В.1 — Виміряні значення та різниці серії № 1

Станція	$j$	$x_{A,j}$ м	$x_{B,j}$ м	$x_j$ м	$p_j$	$h$ , м	$a$ , м	$b_1$ , м	$b_2$ , м	$r_j$ , мм	$p_j r_j^2$ , мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1,779	1,537	-0,242	2,0	-0,4840		+0,4840		-0,3	0,18
	2	1,780	1,536	-0,244	2,0	-0,4880			-0,4880	-0,3	0,18
	3	1,783	1,535	-0,248	2,0	-0,4960		-0,4960		+0,1	0,02
	4	1,783	1,536	-0,247	2,0	-0,4940			+0,4940	+1,1	2,42
2	5	1,596	1,352	-0,244	0,5	-0,1220	-0,1220	+0,1220		-1,2	0,72
	6	1,600	1,352	-0,248	0,5	-0,1240	-0,1240		-0,1240	+0,8	0,32
	7	1,604	1,353	-0,251	0,5	-0,1255	-0,1255	-0,1255		+0,2	0,02
	8	1,601	1,353	-0,248	0,5	-0,1240	-0,1240		+0,1240	-0,8	0,32
3	9	1,633	1,393	-0,240	0,5	-0,1200	+0,1200	+0,1200		+0,6	0,18
	10	1,634	1,390	-0,244	0,5	-0,1220	+0,1220		-0,1220	+2,6	3,38
	11	1,630	1,387	-0,243	0,5	-0,1215	+0,1215	-0,1215		-2,0	2,00
	12	1,631	1,390	-0,241	0,5	-0,1205	+0,1205		+0,1205	-2,0	2,00
$\Sigma$		20,054	17,114	-2,940		-2,9415	-0,0115	-0,0170	+0,0045		11,74

### В.2 Обчислення

Спочатку за формулою (5) із результатів вимірювань  $x_{A,j}$  та  $x_{B,j}$  обчислюють квазіспостереження  $x_j$  (див. колонку 5 таблиці В.1).

Потім за формулами (6)—(9) обчислюють постійні складники формул для параметрів  $h$ ,  $a$ ,  $b_1$  і  $b_2$  (див. колонки 7—10 таблиці В.1). Складники сум, наведені в рядках 1—12, суми постійних складників, наведені в останньому рядку, позначено як  $\Sigma$ .

Чотири невідомі параметри  $h$ ,  $a$ ,  $b_1$  і  $b_2$  обчислюють відповідно за формулами (6)—(9):

$$h_1 = \frac{-2,9415 \text{ м}}{12} = -0,2451 \text{ м};$$

$$a_1 = \frac{-0,0115 \text{ м}}{4} = -0,0029 \text{ м};$$

$$b_{1,1} = \frac{-0,0170 \text{ м}}{6} = -0,0028 \text{ м};$$

$$b_{2,1} = \frac{+0,0045 \text{ м}}{6} = +0,0008 \text{ м}.$$

За формулами спостережень, наведеними у таблиці 2, обчислюють розходження (див. колонку 11 таблиці В.1). Зважену суму квадратів розходжень  $\Sigma r_j^2$  обчислюють за формулою (11) (див. останній рядок колонки 12 у таблиці В.1):

$$\Sigma r_j^2 = 11,74 \text{ мм}^2.$$

За таблицею В.1 виконують дві арифметичні перевірки:

— різниця сум значень колонок 3 і 4 має дорівнювати сумі значень колонки 5:

$$17,114 - 20,054 = -2,940,$$

— сума останнього значення колонки 7 і останніх значень колонок 8—10 має дорівнювати:

$$2,0 \cdot \sum_{j=1}^4 x_j + 0,5 \cdot \sum_{j=5}^{12} x_j : (-2,9415) + (-0,0115) + (-0,0170) + 0,0045 = (-1,962) + (-0,9795)$$

(усі розміри в метрах).

Кількість ступенів свободи для однієї серії вимірювань дорівнює  $\nu_1 = 8$ , а середньоквадратичний відхил одного вимірювання в одній серії на відстані 40 м (середньоквадратичний відхил зваженої одиниці) становить (див. формулу (13)):

$$s_1 = \sqrt{\frac{11,74 \text{ мм}^2}{8}} = 1,2 \text{ мм}.$$

Відповідні результати 2-ої, 3-ої і 4-ої серій вимірювань такі:

2-а серія:

$$s_2 = 0,9 \text{ мм}; h_2 = -0,2448 \text{ м}; a_2 = -0,0033 \text{ м}; b_{1,2} = -0,0025 \text{ м}; b_{2,2} = +0,0013 \text{ м};$$

3-я серія:

$$s_3 = 1,1 \text{ мм}; h_3 = -0,2454 \text{ м}; a_3 = -0,0036 \text{ м}; b_{1,3} = -0,0021 \text{ м}; b_{2,3} = +0,0008 \text{ м};$$

4-а серія:

$$s_4 = 0,9 \text{ мм}; h_4 = -0,2454 \text{ м}; a_4 = -0,0036 \text{ м}; b_{1,4} = -0,0027 \text{ м}; b_{2,4} = +0,0007 \text{ м}.$$

Для кожної серії має бути виконано таку умову:

$$v = v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = 8.$$

Кількість ступенів свободи, середньоквадратичний відхил і параметри, обчислені за формулами (14)—(21), становлять:

$$v = 4 \cdot v_i = 32$$

$$s = \sqrt{\frac{(1,2 \text{ мм})^2 + (0,9 \text{ мм})^2 + (1,1 \text{ мм})^2 + (0,9 \text{ мм})^2}{4}} = 1,0 \text{ мм}$$

$$s_{\text{ISO-ROLAS}} = 1,0 \text{ мм}$$

$$h = \frac{-0,2451 - 0,2448 - 0,2454 - 0,2454}{4} = -0,2452 \text{ м}$$

$$a = \frac{-0,0029 - 0,0033 - 0,0036 - 0,0036}{4} = -0,0034 \text{ м}$$

$$b_1 = \frac{-0,0028 - 0,0025 - 0,0021 - 0,0027}{4} = -0,0025 \text{ м}$$

$$b_2 = \frac{0,0008 + 0,0013 + 0,0008 + 0,0007}{4} = +0,0009 \text{ м}$$

$$b = \sqrt{(-0,0025 \text{ м})^2 + (-0,0009 \text{ м})^2} = 0,0027 \text{ м}.$$

### В.3 Статистичні випробування

#### В.3.1 Статистичне випробування відповідно до питання а) (див. 6.4.1)

$$\sigma = 2,0 \text{ мм}$$

$$s = 1,0 \text{ мм}$$

$$v = 32$$

$$1,0 \text{ мм} \leq 2,0 \text{ мм} \cdot 1,20$$

$$1,0 \text{ мм} \leq 2,4 \text{ мм}.$$

Оскільки наведену вище умову виконано, основну гіпотезу, яка полягає в тому, що емпірично визначений середньоквадратичний відхил  $s = 1,0$  мм менше або дорівнює значенню виробника  $\sigma = 2,0$  мм, не відкидають з довірчою ймовірністю 95 %.

#### В.3.2 Статистичне випробування відповідно до питання б) (див. 6.4.1)

$$s = 1,0 \text{ мм}$$

$$\tilde{s} = 1,9 \text{ мм}$$

$$v = 32$$

$$0,50 \leq \frac{1,00}{3,61} \leq 2,02$$

$$0,50 \leq 0,28 \leq 2,02.$$

Оскільки наведену умову не виконано, основну гіпотезу, яка полягає в тому, що експериментальні середньоквадратичні відхили  $s = 1,0$  мм і  $\tilde{s} = 1,9$  мм належать тій самій сукупності, відкидають з довірчою ймовірністю 95 %.

**В.3.3 Статистичне випробування відповідно до питання с) (див. 6.4.1)**

$$s = 1,0 \text{ мм}$$

$$v = 32$$

$$a = -3,4 \text{ мм}$$

$$s_a = 0,25 \text{ мм}$$

$$|-3,4| \text{ мм} \leq 0,25 \text{ мм} \cdot 2,04$$

$$|-3,4| \text{ мм} \leq 0,5 \text{ мм.}$$

Оскільки наведену вище умову не виконано, основну гіпотезу, яка полягає в тому, що девіація відхилу  $a$  дорівнює нулю, відкидають з довірчою ймовірністю 95 %.

**В.3.4 Статистичне випробування відповідно до питання d) (див. 6.4.1)**

$$s = 1,0 \text{ мм}$$

$$v = 32$$

$$b = -2,7 \text{ мм}$$

$$s_b = 0,20 \text{ мм}$$

$$2,7 \text{ мм} \leq 0,20 \text{ мм} \cdot 2,04$$

$$2,7 \text{ мм} \leq 0,4 \text{ мм.}$$

Оскільки наведену вище умову не виконано, основну гіпотезу, яка полягає в тому, що загальний відхил  $b$  осі обертання лазера від істинної вертикалі дорівнює нулю, відкидають з довірчою ймовірністю 95 %.

Отже, обертовий лазер має бути відрегульовано.

---

Код УКНД 17.180.30

**Ключові слова:** геодезичні прилади, лазери обертові, методика випробування, нівелювання, польові умови, статистичні випробування.