

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти спеціальності
193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2025

УДК 528.9

М54

Укладачі: О. В. Адаменко, канд. техн. наук, доцент;
А. І. Боденко, інженер 1 категорії

Рецензент А. О. Анненков, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри інженерної геодезії,
протокол № 6 від 5 листопада 2024 року.*

В авторській редакції.

Метрологія і стандартизація [Електронний ресурс]: методичні
М54 вказівки до виконання практичних робіт / уклад. : О. В. Адаменко,
А. І. Боденко. – Київ : КНУБА, 2025. – 31 с.

Містить перелік практичних робіт із дисципліни, а також
методичні рекомендації до їх виконання.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

© КНУБА, 2025

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета практичних робіт – поглиблення та закріплення знань, одержаних в процесі вивчення курсу «Метрологія і стандартизація», набуття навичок проведення польових методів контролю точності геодезичних приладів, а саме електронних тахеометрів та приймачів глобальних навігаційних супутникових систем, та проведення розрахунку точності виконання геодезичних робіт в будівництві.

Обсяг і зміст практичних робіт повністю відповідають програмі курсу «Метрологія і стандартизація», який вивчається на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти за спеціальністю 193 «Геодезія та землевпорядкування», ОПП Геодезія.

Практичні роботи здобувачі виконують одноосібно. По закінченню виконання розрахунків, кожен здобувач складає індивідуальний звіт із виконаними розрахунками по кожній практичній роботі та захищає результати роботи.

ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Практична робота №1. *Польовий контроль точності електронного тахеометра*

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності електронного тахеометра у польових умовах. Визначити точність вимірювань висот електронним тахеометром;
2. Визначити точність вимірювань планових координат електронним тахеометром;
3. Визначити точність вимірювань висот електронним тахеометром.

Практична робота №2. *Польовий контроль точності ГНСС приймача*

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності ГНСС приймача в режимі RTK у польових умовах;
2. Визначити точність вимірювань координат ГНСС приймачем в режимі RTK.

Практична робота №3. *Контроль точності нівелірів у польових умовах*

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності нівеліра у польових умовах;
2. Визначити точність вимірювань нівеліром в польових умовах.

Практична робота №4. *Контроль точності наземних лазерних сканерів в польових умовах*

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності наземного лазерного сканера у польових умовах;
2. Визначити точність вимірювань наземним лазерним сканером в польових умовах.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Практична робота №1. *Контроль точності електронного тахеометра в польових умовах*

Метою цієї практичної роботи є перевірка точності електронного тахеометра в польових умовах. Вихідні дані, необхідні для проведення розрахунків точності приладів, здобувачі отримують власноруч в ході відповідних вимірювань або отримують з цих методичних вказівок за номером варіанту. Метод отримання вихідних даних для виконання практичної роботи визначається викладачем залежно від кількості годин практичних робіт освітньої компоненти.

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності електронного тахеометра у польових умовах.

Вимірювання та обчислення, необхідні для визначення точності електронного тахеометра виконуються аналогічно [1] за повною методикою випробовувань. До початку виконання вимірювань електронний тахеометр повинен бути налаштований до вимірювань відповідно до його інструкції з експлуатації, йому повинні бути виконані процедури повірки та внесені у пам'ять приладу параметри навколишнього середовища.

Тестовий полігон зображений на рис. 1. та має форму трикутника. Розміри сторін тестового полігону можуть бути довільними, зазвичай значення їх величини підбирають відповідно до діапазону, в якому

необхідно дослідити точність приладу. Одна із сторін тестового полігону повинна бути значно довшою за довжини інших сторін.

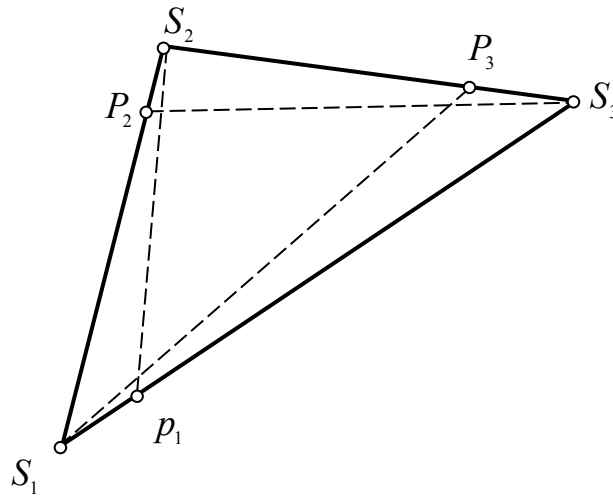


Рис. 1. Схема тестового полігону

У вершинах тестового полігону S_1 , S_2 та S_3 встановлюють відбивачі на штативах. Станції вимірювань P_1 , P_2 та P_3 , на яких встановлюють електронний тахеометр, вибирають вздовж кожної сторони тестового полігону на відстані 5- 10 м від вершин трикутника (рис. 1).

Вимірювання виконують на кожній станції в 4 прийоми. Координати станції та її орієнтування у кожному прийомі задаються довільним чином. В кожному прийомі виконують вимірювання координат вершин тестового полігону S_1 , S_2 та S_3 при одному крузі електронного тахеометра. В першому і третьому прийомах вимірювання виконують при КЛ, в другому і четвертому – при КП. Таким чином, має бути зроблено 12 прийомів вимірювань координат вершин тестового полігону (4 прийоми на трьох станціях). Схему вимірювань представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Схема проведення вимірювань

№ виміру	№ станції, i	№ вершини, j	№ прийому, k	Круг	X	Y	Z
1	1	1	1	КЛ	x_{111}	y_{111}	z_{111}
2		2			x_{121}	y_{121}	z_{121}
3		3			x_{131}	y_{131}	z_{131}
4		1	2	КП	x_{112}	y_{112}	z_{112}
5		2			x_{122}	y_{122}	z_{122}

6		3		КЛ	x_{132}	y_{132}	z_{132}
7		1			x_{113}	y_{113}	z_{113}
8		2			x_{123}	y_{123}	z_{123}
9		3			x_{133}	y_{133}	z_{133}
10		1	4	КП	x_{114}	y_{114}	z_{114}
11		2			x_{124}	y_{124}	z_{124}
12		3			x_{134}	y_{134}	z_{134}
13	2	1	1	КЛ	x_{211}	y_{211}	z_{211}
-	
24		3	4	КП	x_{234}	y_{234}	z_{234}
25	3	1	1	КЛ	x_{311}	y_{311}	z_{311}
-	
36		3	4	КП	x_{334}	y_{334}	z_{334}

2. Визначити точність вимірювань планових координат електронним тахеометром

Обчислення при визначенні точності вимірювань планових координат електронним тахеометром виконують в наступній послідовності:

а) визначити горизонтальні проекції між вершинами тестового полігону S_1 , S_2 та S_3 :

$$D_{ijk} = \sqrt{(x_{ij+1k} - x_{ijk})^2 + (y_{ij+1k} - y_{ijk})^2}, \quad (1.1)$$

б) визначити середнє арифметичне значення довжин сторін тестового полігону:

$$\bar{D}_j = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 D_{ijk}, \quad (1.2)$$

в) визначити умовні координати вершин моделі тестового полігону (рис. 2):

$$\text{Вершина } S_1: S_1(X_1, Y_1) = (0, 0); \quad (1.3)$$

$$\text{Вершина } S_2: S_2(X_2, Y_2) = (\bar{D}_3, 0); \quad (1.4)$$

$$\text{Вершина } S_3: S_3(X_3, Y_3) = \left(\frac{\bar{D}_2^2 + \bar{D}_3^2 - \bar{D}_1^2}{2\bar{D}_3}, \sqrt{\bar{D}_2^2 - \left(\frac{\bar{D}_2^2 + \bar{D}_3^2 - \bar{D}_1^2}{2\bar{D}_3} \right)^2} \right); \quad (1.5)$$

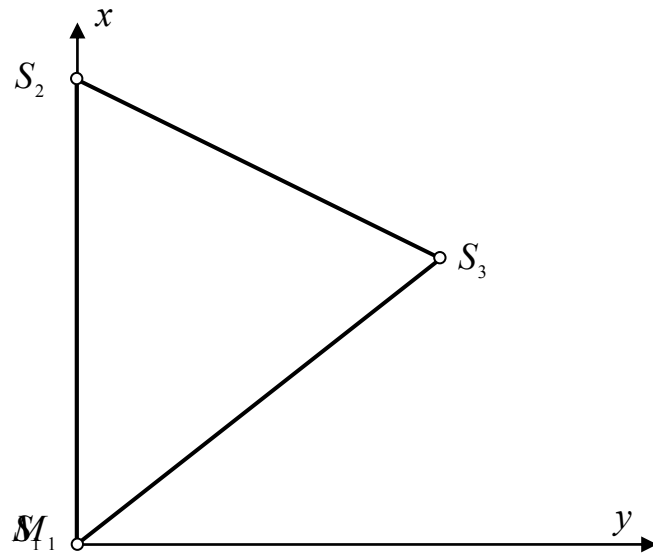


Рис. 2 Умовна система координат моделі тестового полігону

г) визначити координати центру ваги моделі тестового полігону:

$$X_g = \frac{\sum_{j=1}^3 X_j}{3}, Y_g = \frac{\sum_{j=1}^3 Y_j}{3}, \quad (1.6)$$

д) визначити координати центру ваги тестового полігону за результатами вимірювань на кожній станції:

$$x_{gi} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 x_{ijk}}{12}, y_{gi} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 y_{ijk}}{12}, \quad (1.7)$$

е) виконати суміщення умовної системи координат моделі тестового полігону з системою координат кожної станції вимірювань:

$$X_{t,ijk} = X_j + (x_{gi} - X_g), Y_{t,ijk} = Y_j + (y_{gi} - Y_g), \quad (1.8)$$

ж) виконати поворот умовної системи координат моделі тестового полігону до системи координат кожної станції.

Кут повороту може бути визначений за формулою:

$$\alpha_{ik} = \arctg \frac{A_{ik}}{B_{ik}}, \quad (1.9)$$

$$\text{де } A_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,ijk} - x_{gi})(y_{ijk} - y_{gi}) - (Y_{t,ijk} - y_{gi})(x_{ijk} - x_{gi}))}{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,ijk} - x_{gi})^2 + (Y_{t,ijk} - y_{gi})^2)}, \quad (1.10)$$

$$B_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,ijk} - x_{gi})(x_{ijk} - x_{gi}) - (Y_{t,ijk} - y_{gi})(y_{ijk} - y_{gi}))}{\sum_{j=1}^3 ((X_{t,ijk} - x_{gi})^2 + (Y_{t,ijk} - y_{gi})^2)}, \quad (1.11)$$

Координати моделі тестового полігону, перетворені у систему координат кожної станції визначити за формулою:

$$X_{m,ijk} = x_{gi} + \cos \alpha_{ik} \cdot (X_{t,ijk} - x_{gi}) - \sin \alpha_{ik} \cdot (Y_{t,ijk} - y_{gi}), \quad (1.12)$$

$$Y_{m,ijk} = y_{gi} + \sin \alpha_{ik} \cdot (X_{t,ijk} - x_{gi}) + \cos \alpha_{ik} \cdot (Y_{t,ijk} - y_{gi}), \quad (1.13)$$

з) визначити відхилення вимірних значень координат вершин тестового полігону від їх середніх арифметичних значень:

$$r_{x,ijk} = x_{ijk} - X_{m,ijk}, \quad r_{y,ijk} = y_{ijk} - Y_{m,ijk}; \quad (1.14)$$

і) визначити середню квадратичну похибку визначення планових координат електронним тахеометром:

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 (r_{x,ijk}^2 + r_{y,ijk}^2)}{51}}; \quad (1.15)$$

Отримане значення середньої квадратичної похибки вимірювань планових координат точок m_{xy} характеризує точність вимірювань, яку можна досягнути даним електронним тахеометром за даних умов вимірювань.

а. Визначити точність вимірювань висот електронним тахеометром

а) визначити перевищення вершин S_2 і S_3 тестового полігону над вершиною S_1 :

$$h_{ik}^{12} = z_{i2k} - z_{i1k}, \quad (1.16)$$

$$h_{ik}^{13} = z_{i3k} - z_{i1k}; \quad (1.17)$$

б) визначити середнє арифметичне значення перевищень:

$$\bar{h}^{12} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 h_{ik}^{12}}{12}, \quad \bar{h}^{13} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^4 h_{ik}^{13}}{12}; \quad (1.18)$$

в) визначити відхилення вимірних перевищень від їх середніх арифметичних значень:

$$r_{z,ijk} = h_{ik}^{1j} - \bar{h}_{ik}^{1j}, \quad (1.19)$$

г) визначити середню квадратичну похибку визначення висот точок електронним тахеометром:

$$m_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=2}^3 \sum_{k=1}^4 r_{z,ijk}^2}{44}}. \quad (1.20)$$

- б. Вихідні дані до виконання практичної роботи наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані до виконання практичної роботи 1

№ виміру	Позначення виміру	Виміряні координати, м		
		X	Y	Z
1	111	0,719	-4,025	0,206
2	121	-14,482	44,753	2,516
3	131	36,220	71,894	0,891
4	112	0,723	-4,026	0,207
5	122	-14,480	44,755	2,519
6	132	36,221	71,894	0,888
7	113	0,721	-4,023	0,207
8	123	-14,483	44,754	2,519
9	133	36,223	71,894	0,892
10	114	0,718	-4,024	0,205
11	124	-14,483	44,753	2,515
12	134	36,222	71,896	0,890
13	211	-29,739	-34,093	2,418
14	221	6,193	2,229	4,728
15	231	53,960	-29,796	3,103
16	212	-29,740	-34,095	2,420
17	222	6,193	2,230	4,725
18	232	53,961	-29,796	3,105
19	213	-29,738	-34,094	2,418
20	223	6,195	2,228	4,729
21	233	53,960	-29,797	3,104
22	214	-29,739	-34,094	2,417
23	224	6,193	2,229	4,726
24	234	53,962	-29,795	3,106
25	311	-55,827	-58,566	0,811
26	321	-49,875	-7,822	3,121
27	331	7,483	-3,650	1,496
28	312	-55,826	-58,565	0,813
29	322	-49,877	-7,823	3,122
30	332	7,481	-3,650	1,496
31	313	-55,825	-58,565	0,812
32	323	-49,876	-7,823	3,121
33	333	7,481	-3,652	1,497
34	314	-55,826	-58,564	0,811
35	324	-49,876	-7,823	3,120
33	334	7,482	-3,652	1,495

Для виконання завдання здобувачі мають змінити вихідні дані згідно зі своїм варіантом. Номер варіанта відповідає порядковому номеру здобувача у складі навчальної групи. Варіанти завдань:

1. Якщо номер варіанту $N \leq 5$, до всіх координат X і Z на першій станції (виміри 1-12) необхідно додати номер варіанту;
2. Якщо номер варіанту $5 < N \leq 10$, до всіх координат Y і Z на першій станції (виміри 1-12) необхідно додати $N - 5$;
3. Якщо номер варіанту $10 < N \leq 15$, до всіх координат X і Z на другій станції (виміри 13-24) необхідно додати $N - 10$;
4. Якщо номер варіанту $15 < N$, до всіх координат Y і Z на другій станції (виміри 13-24) необхідно додати $N - 15$;

Практична робота №2. Контроль точності ГНСС приймача в режимі RTK в польових умовах

Метою дієї практичної роботи є перевірка точності ГНСС приймачів в польових умовах. Вихідні дані, необхідні для проведення розрахунків точності приладів, здобувачі отримують власноруч в ході відповідних вимірювань або отримують з цих методичних вказівок за номером варіанту. Метод отримання вихідних даних для виконання практичної роботи визначається викладачем залежно від кількості годин практичних робіт освітньої компоненти.

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності ГНСС приймача в режимі RTK у польових умовах.

Вимірювання та обчислення, необхідні для визначення точності ГНСС приймача виконуються аналогічно [2] за повною методикою випробовувань. До початку виконання вимірювань ГНСС приймач повинен бути налаштований до вимірювань відповідно до його інструкції з експлуатації. До початку кожного вимірювання ГНСС приймач повинен бути ініціалізований, вимірювання повинні виконуватись після вирішення цілочисельної неоднозначності. Точність центрування приладу та визначення його висоти не повинна перевищувати 1 мм.

Тестовий полігон та зображений на рис. 3 та складається з двох пунктів S_1 , та S_2 . Відстань між пунктами S_1 і S_2 повинна бути від 2 м до 20 м.

З метою забезпечення необхідної точності центрування та визначення висоти ГНСС приймача, на місцевості необхідно встановити

два штати із трегерами, які будуть імітувати пункти вимірювань S_1 і S_2 . ГНСС приймач закріплюють на комплектний адаптер, який однозначно встановлюється по чергово у кожний трегер.

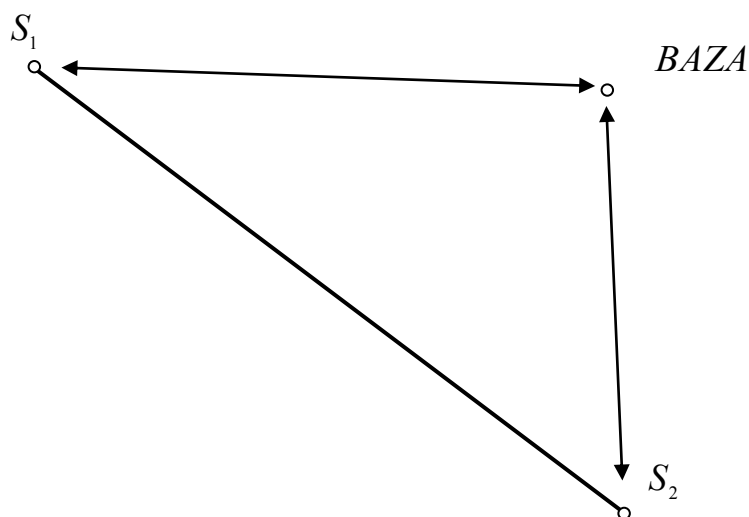


Рис. 3. Схема тестового полігону

Вимірювання складаються з трьох прийомів. Перерва між прийомами вимірювань не повинна бути меншою за 90 хв, з метою врахування зміни геометрії супутників. У кожному прийомі виконують вимірювання координат пунктів S_1 і S_2 5 раз згідно схеми, наведеною в табл. 2. Після кожної пари вимірювань пунктів S_1 і S_2 вимірювання RTK припиняються та запускаються знову.

Таблиця 3

Схема проведення вимірювань

№ виміру	№ прийому, i	№ пари вимірювань, j	№ пункту, k	X	Y	H
1	1	1	1	x_{111}	y_{111}	h_{111}
2		1	2	x_{112}	y_{112}	h_{112}
3		2	1	x_{121}	y_{121}	h_{121}
4		2	2	x_{122}	y_{122}	h_{122}
5		3	1	x_{131}	y_{131}	h_{131}
6		3	2	x_{132}	y_{132}	h_{132}
7		4	1	x_{141}	y_{141}	h_{141}

8		4	2	x_{142}	y_{142}	h_{142}
9		5	1	x_{151}	y_{151}	h_{151}
10		5	2	x_{152}	y_{152}	h_{152}
11	2		1	x_{211}	y_{211}	h_{211}
...		...				
20			2	x_{252}	y_{252}	h_{252}
21	3		1	x_{311}	y_{311}	h_{311}
...		...				
30			2	x_{352}	y_{352}	h_{352}

2. Визначити точність вимірювань координат ГНСС приймачем в режимі RTK

Обчислення при визначенні точності вимірювань координат ГНСС приймачем в режимі RTK виконують в наступній послідовності:

а) визначити середнє арифметичне значення вимірних координат пунктів S_1 і S_2 :

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{ijk}}{15}, \quad \bar{y}_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{ijk}}{15}, \quad \bar{h}_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{ijk}}{15}; \quad (2.1)$$

б) визначити відхилення вимірних значень координат пунктів від їх середніх арифметичних значень:

$$r_{x,ijk} = x_{ijk} - \bar{x}_k, \quad r_{y,ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_k, \quad r_{h,ijk} = h_{ijk} - \bar{h}_k; \quad (2.2)$$

в) визначити середню квадратичну похибку вимірювань координат пунктів ГНСС приймачем в RTK режимі:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{x,ijk}^2}{28}}, \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{y,ijk}^2}{28}}, \quad m_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{h,ijk}^2}{28}}. \quad (2.3)$$

3. Вихідні дані до виконання практичної роботи наведено у табл. 4.

Вихідні дані до виконання практичної роботи 2

№ виміру	Позначення виміру	Виміряні координати, м		
		X	Y	H
1	111	5588187,753	297849,217	186,677
2	112	5588162,170	297842,187	186,129
3	121	5588187,750	297849,217	186,677
4	122	5588162,168	297842,193	186,129
5	131	5588187,756	297849,220	186,683
6	132	5588162,169	297842,194	186,130
7	141	5588187,755	297849,215	186,682
8	142	5588162,166	297842,189	186,131
9	151	5588187,754	297849,219	186,679
10	152	5588162,168	297842,189	186,129
11	211	5588187,747	297849,221	186,678
12	212	5588162,169	297842,194	186,122
13	221	5588187,755	297849,220	186,681
14	222	5588162,168	297842,195	186,125
15	231	5588187,752	297849,218	186,682
16	232	5588162,172	297842,191	186,123
17	241	5588187,749	297849,224	186,677
18	242	5588162,169	297842,187	186,129
19	251	5588187,752	297849,222	186,685
20	252	5588162,165	297842,190	186,130
21	311	5588187,747	297849,220	186,677
22	312	5588162,168	297842,191	186,125
23	321	5588187,751	297849,220	186,677
24	322	5588162,166	297842,196	186,129
25	331	5588187,755	297849,215	186,685
26	332	5588162,171	297842,196	186,125
27	341	5588187,755	297849,224	186,678
28	342	5588162,167	297842,188	186,125
29	351	5588187,754	297849,224	186,678
30	352	5588162,169	297842,192	186,123

Для виконання завдання здобувачі повинні змінити вихідні дані згідно зі своїм варіантом. Номер варіанта відповідає порядковому номеру здобувача у складі навчальної групи. Варіанти завдань:

1. Якщо номер варіанту $N \leq 5$, до всіх координат X і H в першому прийомі (виміри 1-10) необхідно додати номер варіанту;
2. Якщо номер варіанту $5 < N \leq 10$, до всіх координат Y і H в першому прийомі (виміри 1-10) необхідно додати $N - 5$;
3. Якщо номер варіанту $10 < N \leq 15$, до всіх координат X і H в другому прийомі (виміри 11-20) необхідно додати $N - 10$;

4. Якщо номер варіанту $15 < N$, до всіх координат Y і H в другому прийомі (виміри 11-20) необхідно додати $N-15$;

Практична робота №3. Контроль точності нівелірів у польових умовах

Метою даної практичної роботи є перевірка точності нівелірів в польових умовах. Вихідні дані, необхідні для проведення розрахунків точності приладів, здобувачі отримують власноруч в ході відповідних вимірювань або отримують з цих методичних вказівок за номером варіанту. Метод отримання вихідних даних для виконання практичної роботи визначається викладачем залежно від кількості годин практичних робіт освітньої компоненти.

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності нівеліра у польових умовах.

Вимірювання та обчислення, необхідні для визначення точності нівеліра виконуються аналогічно [3] за повною методикою випробовувань. До початку виконання вимірювань нівелір повинен бути налаштований до вимірювань відповідно до його інструкції з експлуатації.

Тестовий полігон та зображений на рис. 4 та складається з двох пунктів S_1 , та S_2 . Відстань між пунктами S_1 і S_2 повинна бути в межах від 50 до 70 м. Пункти S_1 і S_2 повинні бути закріплені таким чином, щоб на них однозначно встановлювалась нівелірна рейка. Допускається використовувати нівелірні башмаки в якості пунктів S_1 і S_2 . На пункти S_1 і S_2 встановлюють нівелірні рейки. Посередині між пунктами, у створі, встановлюють нівелір на штативі. Допустима різниця плеч складає 2 м.

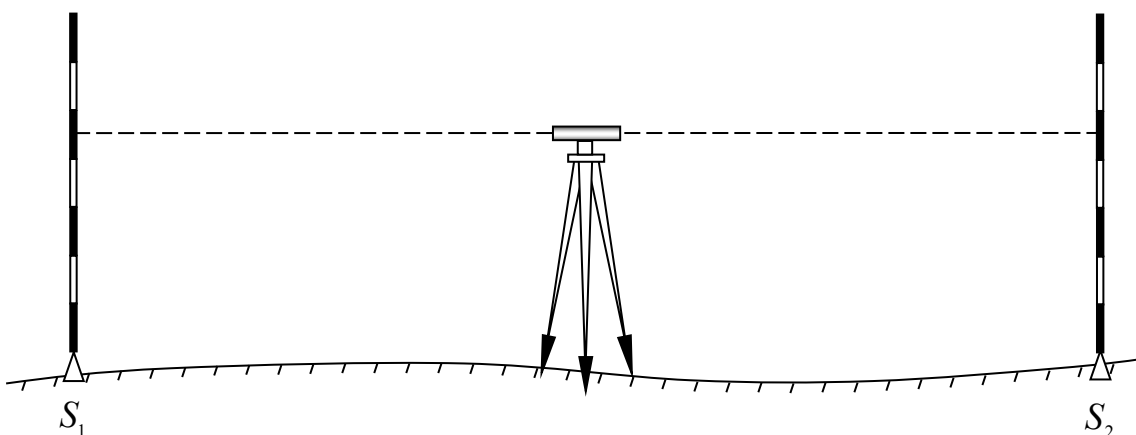


Рис. 4. Схема тестового полігону для досліджень нівеліра

Вимірювання складаються з двох прийомів. Кожен прийом складається із двох серій вимірювань. У кожній серії виконують зняття 10 пар відліків по рейках, встановлених на точках S_1 і S_2 тільки по основній шкалі рейок. Після зняття кожної пари відліків по рейкам, висота встановлення нівеліра на штативі змінюється не менше ніж на 1 см. У першій серії кожного прийому, зняття відліків виконують у наступній послідовності: $S_1 - S_2$. У другій серії кожного прийому, зняття відліків виконують у послідовності: $S_2 - S_1$. Після завершення першого прийому вимірювань, рейки, встановлені на пунктах S_1 і S_2 міняють місцями та виконують другий прийом вимірювань.

Схему вимірювань показано у табл. 5.

Таблиця 5

Схема проведення вимірювань

№ прийому, i	№ серії, j	№ пари вимірювань, k	Відлік по рейці	
			a_{ijk}	b_{ijk}
1	1	1	a_{111}	b_{111}
	1	2	a_{112}	b_{112}
	1	3	a_{113}	b_{113}
	1	4	a_{114}	b_{114}
	1	5	a_{115}	b_{115}
	1	6	a_{116}	b_{116}
	1	7	a_{117}	b_{117}
	1	8	a_{118}	b_{118}
	1	9	a_{119}	b_{119}
	1	10	a_{1110}	b_{1110}
	2	11	a_{1211}	b_{1211}

	2	20	a_{1220}	b_{1220}
2	1	21	a_{2121}	b_{2121}

	2	40	a_{2240}	b_{2240}

2. Визначити точність вимірювань нівеліром в польових умовах
Обчислення при визначенні точності нівеліра виконують в наступній послідовності:

а) визначити виміряні перевищення між пунктами S_1 і S_2 :

$$h_j = b_{ijk} - a_{ijk}, \quad (3.1)$$

б) визначити середні арифметичні значення перевищень у кожному прийомі:

$$\bar{h}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{20} h_{i1k}}{20}, \quad (3.2)$$

$$\bar{h}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{20} h_{i2k}}{20}, \quad (3.3)$$

в) визначити відхилення вимірних значень перевищень між пунктами S_1 і S_2 від їх середніх арифметичних значень у кожній серії:

$$r_k = h_k - \bar{h}_1, \text{ при } k = 1 \dots 10, \quad 21 \dots 30, \quad (3.4)$$

$$r_k = h_k - \bar{h}_2, \text{ при } k = 11 \dots 20, \quad 31 \dots 40; \quad (3.5)$$

г) визначити середню квадратичну похибку вимірювань перевищень нівеліром на станції:

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{40} r_k^2}{38}}; \quad (3.6)$$

д) визначити середню квадратичну похибку вимірювань перевищень нівеліром на 1 км подвійного ходу нівелювання:

$$m_{1km} = \frac{m_h}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1000m}{60m}} = 2.89m_h. \quad (3.7)$$

3. Вихідні дані до виконання практичної роботи наведено у табл. 6

Таблиця 6

Вихідні дані до виконання практичної роботи 3

№ пари вимірювань, k	Відлік по рейці		№ пари вимірювань, k	Відлік по рейці	
	a_{ijk}	b_{ijk}		a_{ijk}	b_{ijk}
1	1317	1032	21	1313	1030
2	1342	1058	22	1346	1063
3	1384	1102	23	1381	1096

4	1424	1141	24	1421	1139
5	1456	1173	25	1446	1164
6	1489	1204	26	1472	1188
7	1511	1229	27	1503	1220
8	1547	1263	28	1537	1253
9	1579	1294	29	1568	1285
10	1599	1316	30	1594	1312
11	1618	1333	31	1609	1326
12	1644	1359	32	1643	1358
13	1677	1393	33	1675	1390
14	1698	1413	34	1700	1418
15	1722	1437	35	1719	1436
16	1756	1474	36	1748	1466
17	1777	1494	37	1768	1483
18	1799	1516	38	1805	1521
19	1815	1530	39	1834	1551
20	1854	1569	40	1865	1583

Для виконання завдання здобувачі повинні змінити вихідні дані згідно свого варіанту. Номер варіанти відповідає порядковому номеру здобувача у складі навчальної групи. Варіанти завдань:

1. Якщо номер варіанту $N \leq 5$, до всіх відліків по рейці a_{ijk} в першому прийомі (виміри 1-20) необхідно додати номер варіанту;
2. Якщо номер варіанту $5 < N \leq 10$, до всіх відліків по рейці b_{ijk} в першому прийомі (виміри 1-20) необхідно додати $N - 5$;
3. Якщо номер варіанту $10 < N \leq 15$, до всіх відліків по рейці a_{ijk} в другому прийомі (виміри 21-40) необхідно додати $N - 10$;
4. Якщо номер варіанту $15 < N$, до всіх відліків по рейці b_{ijk} в другому прийомі (виміри 21-40) необхідно додати $N - 15$;

Практична робота №4. Контроль точності наземних лазерних сканерів в польових умовах

Метою даної практичної роботи є перевірка точності наземних лазерних сканерів в польових умовах. Вихідні дані, необхідні для проведення розрахунків точності приладів, здобувачі отримують власноруч в ході відповідних вимірювань або отримують з цих методичних вказівок за номером варіанту. Метод отримання вихідних даних для виконання практичної роботи визначається викладачем залежно від кількості годин практичних робіт освітньої компоненти.

1. Виконати вимірювання з метою визначення точності наземного лазерного сканера у польових умовах.

Вимірювання та обчислення, необхідні для визначення точності нівеліра виконуються аналогічно [4] за повною методикою випробовувань. До початку виконання вимірювань наземний лазерний сканер повинен бути налаштований до вимірювань відповідно до його інструкції з експлуатації, атмосферні параметри повинні бути враховані під час вимірювань.

Тестовий полігон та зображений на рис. 5 та складається з чотирьох цілей S_1 , S_2 , S_3 та S_4 . Цілі розташовані таким чином, щоб утворювати два прямокутних трикутника – горизонтальний $S_1S_2S_3$ та вертикальний $S_1S_2S_4$. В якості цілей можна варто використовувати сфери, які входять до комплекту наземного лазерного сканера. Орієнтовні значення довжин сторін трикутників: $S_1S_2 = 12$ м, $S_1S_3 = S_1S_4 = 18$ м, $S_2S_3 = S_2S_4 = 10$ м.

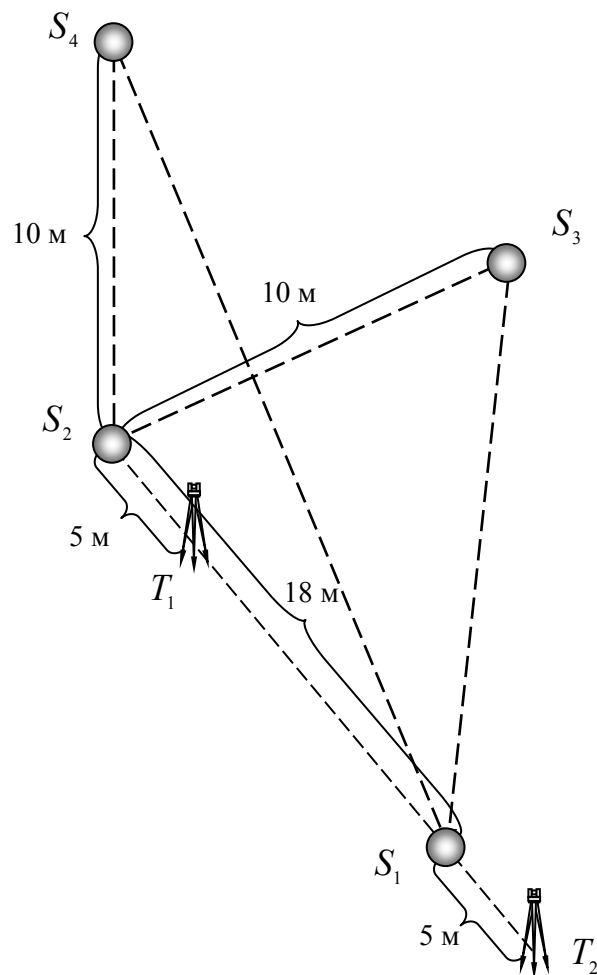


Рис. 5. Схема тестового полігону для контролю точності наземного лазерного сканера

Вимірювання складаються з трьох прийомів. У кожному прийомі виконують вимірювання на двох станціях: T_1 і T_2 . Станція T_1 повинна бути встановлена між цілями S_1 і S_2 , на відстані 5 м від цілі S_2 . Станція T_2 повинна бути встановлена у створі лінії S_1S_2 , на відстані приблизно 5 м за ціллю S_1 .

Під час виконання вимірювань, наземний лазерний сканер повертається на 180° . Обертальне дзеркало приладу, виконуючи повні оберти навколо своєї осі, спрямовує лазерний промінь у дві сторони наземного лазерного сканера – лицева та задня. Враховуючи технологію вимірювань, орієнтування наземного лазерного сканера завжди виконують таким чином, щоб поділ між сторонами вимірювань проходив через лінію S_2S_3 . Таким чином, на першій станції цілі S_1 і S_3 мають визначатись однією стороною приладу, а цілі S_2 і S_4 – іншою. На другій станції цілі S_1 , S_2 і S_4 повинні визначатись з однієї сторони приладу, а ціль S_3 – з іншої. У першому і третьому прийомах ціль S_1 завжди має визначатись з лицевої сторони приладу, у другому прийомі – завжди з задньої. Перерва між прийомами – 10 хв.

Щільність сканування повинна бути не нижчою за 3 мм на 10 м. Допускається виконувати сканування без вимірювання кольору (без фотографування).

2. Визначити точність вимірювань наземного лазерного сканера в польових умовах

Обчислення при визначенні точності наземного лазерного сканера виконують в наступній послідовності:

а) обробити результати сканування, в ручному або автоматичному режимі визначити координати цілей всіх станцій всіх прийомів;

б) визначити виміряні відстані між цілями сканування:
для першої станції:

$$D_{ik}^1 = \sqrt{(x_{i1k} - x_{i11})^2 + (y_{i1k} - y_{i11})^2 + (z_{i1k} - z_{i11})^2}, \quad (4.1)$$

для другої станції:

$$D_{ik}^2 = \sqrt{(x_{i2k} - x_{i21})^2 + (y_{i2k} - y_{i21})^2 + (z_{i2k} - z_{i21})^2}, \quad (4.2)$$

де $k = 2, 3, 4$.

в) визначити систематичне зміщення при вимірюванні довжин ліній наземним лазерним сканером:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^3 (D_{i1}^1 - D_{i1}^2)}{3}, \quad (4.3)$$

де D_{i1}^1, D_{i1}^2 – значення довжин лінії S_1S_2 , виміряних у кожному прийомі на першій і другій станції відповідно.

Отримане значення систематичного зміщення Δ не повинно перевищувати нормованого значення адитивної складової похибки вимірювань відстаней наземним лазерним сканером.

г) визначити середні арифметичні значення відстаней між цілями:

$$\bar{D}_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 D_{ik}^j}{6}; \quad (4.4)$$

в) визначити відхилення виміряних відстаней між цілями від їх середній арифметичних значень:

$$r_{ijk} = D_{ik}^j - \bar{D}_k; \quad (4.5)$$

д) визначити середню квадратичну похибку вимірювань наземним лазерним сканером:

$$m_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^3 r_{ijk}^2}{15}}. \quad (4.6)$$

3. Вихідні дані до виконання практичної роботи наведено у табл. 7.

Для виконання завдання здобувачі повинні змінити вихідні дані згідно свого варіанту. Номер варіанти відповідає порядковому номеру здобувача у складі навчальної групи. Варіанти завдань:

1. Якщо номер варіанта $N \leq 5$, до всіх координат X і Z в першому прийомі необхідно додати номер варіанта;

2. Якщо номер варіанта $5 < N \leq 10$, до всіх координат Y і Z в першому прийомі необхідно додати $N - 5$;

3. Якщо номер варіанта $10 < N \leq 15$, до всіх координат X і Z в другому прийомі необхідно додати $N - 10$;

4. Якщо номер варіанта $15 < N$, до всіх координат Y і Z в другому прийомі необхідно додати $N - 15$.

Вихідні дані до виконання практичної роботи 4

№ прийому, <i>i</i>	№ станції, <i>j</i>	№ цілі, <i>k</i>	Виміряні координати, м		
			X	Y	Z
1	1	1	-11,5459	1,4813	-1,3320
		2	6,0452	1,8943	-0,9150
		3	6,3999	14,4801	-0,1190
		4	6,0242	2,5350	8,5470
	2	1	5,3041	0,9828	-0,9800
		2	22,8140	2,7212	-0,5630
		3	22,2185	15,2979	0,2330
		4	22,7447	3,3585	8,8990
2	1	1	-12,133	-0,245	-1,546
		2	5,463	-0,245	-1,129
		3	6,113	12,329	-0,333
		4	5,457	0,396	8,333
	2	1	5,347	0,311	-1,421
		2	22,943	0,311	-1,004
		3	23,593	12,885	-0,208
		4	22,937	0,952	8,458
3	1	1	-13,1610	-2,0653	-1,4290
		2	4,3423	-0,2618	-1,0120
		3	3,7001	12,3126	-0,2160
		4	4,2707	0,3752	8,4500
	2	1	4,6940	-0,0590	-1,4450
		2	22,2580	-1,1200	-1,0280
		3	23,6650	11,3919	-0,2320
		4	22,2907	-0,4798	8,4340

Практична робота №5. Розрахунок невизначеності вимірювань координат точок електронним тахеометром

Невизначеність вимірювання – невід’ємний параметр, пов’язаний з результатом вимірювання, який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Невизначеність (непевність) вимірювань визначає поле можливих значень результату вимірювань, отримане внаслідок врахування дії чинників, що впливають на результат вимірювань. Результат вимірювань може бути максимально близьким до дійсного значення вимірюваної величини (внаслідок вирівнювання, після внесення поправок за систематичні похибки, тощо) і, відповідно, мати дуже малу похибку, проте мати велику невизначеність.

Загалом, невизначеність вимірювань (їх непевність) виражає той факт, що для даного вимірювання, або їх серії, не існує єдиного результату вимірювань, а є нескінченне число значень, розсіяних навколо результату вимірювань, яке узгоджується з усіма спостереженнями і даними щодо умов вимірювань.

За способом оцінювання всі невизначеності поділяють на невизначеності за типом А u_A та невизначеності за типом В u_B . Поділ невизначеностей на два типи використовується виключно для зручності оцінювання, не існує розходження в природі цих невизначеностей.

За типом А оцінюють невизначеності, до яких можна застосувати статистичні методи оцінювання. Зазвичай їх отримують внаслідок повторюваних вимірювань. Крім того такі невизначеності можна отримати внаслідок вирівнювання вимірювань.

Якщо дійсне значення вимірюваної величини відоме, то невизначеність за типом А u_A зазвичай визначають за формулами середньої квадратичної похибки:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n}}, \quad (5.1)$$

де x_i – результат окремого вимірювання,

X – дійсне значення вимірюваної величини,

n – кількість вимірювань.

Якщо дійсне значення вимірюваної величини невідоме, то невизначеність за типом А u_A зазвичай визначають за формулами середнього квадратичного відхилення:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (5.2)$$

де \bar{x} – середнє арифметичне або середньо-вагове значення вимірюваної величини.

Під час оброблення геодезичних вимірювань, та їх вирівнювання, частіше зустрічається другий варіант (5.2).

За типом В оцінюють невизначеності, до яких застосувати статистичні методи оцінювання неможливо. В таких випадках оцінювання виконують на базі наукового судження, що базується на всій доступній

інформації про можливу змінність результату вимірювань. До такої інформації належить:

- дані про вигляд розподілу імовірності виникнення чинника;
- невизначеність констант і довідкових даних;
- невизначеність засобів вимірювань, що наводиться у сертифікатах калібрування;
- дані, отримані внаслідок досвіду або загальні дані про поведінку і властивості матеріалів і засобів вимірювань;
- дані попередніх вимірювань та інше.

За формами подання найчастіше використовують **стандартну, комбіновану та розширену** невизначеності.

Стандартна невизначеність u_c – невизначеність, що виражається як стандартне (середньоквадратичне) відхилення.

Комбінована (сумарна стандартна) невизначеність – стандартна невизначеність, що отримується шляхом додавання всіх складових стандартних невизначеностей, пов'язаних із вимірюваною величиною.

Розширена невизначеність – інтервал навколо результату вимірювань, в межах якого з довірчою імовірністю розташовано значення вимірюваної величини, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані цій вимірюваній величині.

У сертифікатах калібрування, виданих засобам виміральної техніки, зазвичай вказують розширену невизначеність вимірювань та коефіцієнт охоплення k , прийнятий під час її визначення.

Метою даної практичної роботи є розрахунок розширеної невизначеності вимірювань електронним тахеометром координат точки.

1. Виконати вимірювання з метою визначення невизначеності вимірювань координат точки електронним тахеометром.

До початку виконання вимірювань електронний тахеометр повинен бути налаштований до вимірювань відповідно до його інструкції з експлуатації, йому повинні бути виконані процедури перевірки та внесені у пам'ять приладу параметри навколишнього середовища.

Тестовий полігон зображений на рис. 6. та має форму трикутника. Розміри сторін тестового полігону P_1P_2 та P_1P_3 можуть бути довільними, рекомендовані значення довжин сторін від 100 м до 200 м. Електронний тахеометр встановлюється над пунктом P_1 та приводиться у робоче

положення. Координати станції приймають нульовими $(0; 0; 0)$. Комплектні відбивачі встановлюються над пунктами P_2 і P_3 .

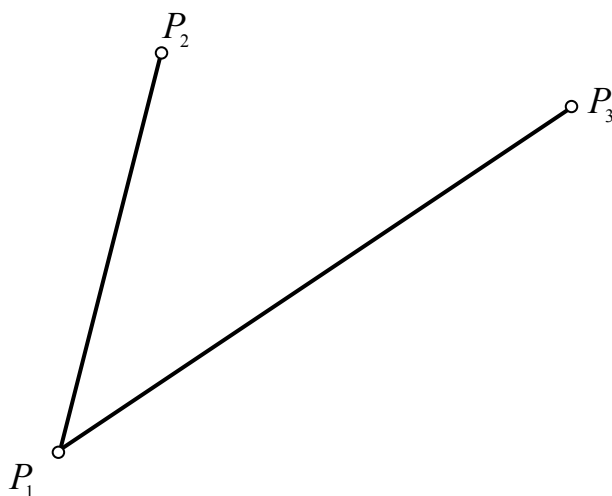


Рис. 6. Схема тестового полігону

Вимірювання складаються з 12 прийомів. У кожному прийомі виконують по чергово наведення на пункти P_2 і P_3 . Під час наведення на пункт P_2 , виконують обнуління горизонтального круга електронного тахеометра. Під час наведення на пункт P_3 , виконують визначення та запис координат пункту. В непарних номерах прийомів (1, 3, 5 ...) вимірювання виконують при КЛ електронного тахеометра, в парних номерах прийомів (2, 4, 6 ...) – при КП.

2. Визначити невизначеність вимірювань координат пункту електронним тахеометром.

а) визначити значення дирекційного кута α_i , кута нахилу ν_i та нахиленої відстані S_i , що відповідають виміряним координатам пункту P_3 :

$$\alpha_i = \operatorname{arctg}\left(\frac{y_i}{x_i}\right), \quad (5.3)$$

$$\nu_i = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_i}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2}}\right), \quad (5.4)$$

$$S_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}, \quad (5.5)$$

де x_i, y_i, z_i – виміряні координати пункту P_3 ;

б) визначити середні арифметичні значення дирекційного кута, кута нахилу та нахиленої відстані:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}, \quad \bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, \quad \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}; \quad (5.6)$$

в) визначити сумарну стандартну невизначеність вимірювань відстаней електронним тахеометром:

$$u(S) = \sqrt{u_A^2(S) + u_{np}^2(S) + u_{\text{від}}^2(S) + u_{ppm}^2}, \quad (5.7)$$

де $u_A(S)$ – невизначеність вимірювань відстаней за типом А, яка розраховується за виразом (5.2),

$u_{np}(S)$ – невизначеність вимірювань відстаней електронним тахеометром, яка може бути отримана із його сертифікату калібрування,

$u_{\text{від}}(S)$ – невизначеність вимірювань, отримана за рахунок округлень під час взяття відліку,

u_{ppm} – невизначеність вимірювань внаслідок неповного врахування параметрів зовнішнього середовища.

Невизначеність вимірювань відстаней електронним тахеометром прийнято надавати у вигляді наступного виразу:

$$u_{np}(S) = [a + b \cdot S(\text{км})] \text{мм}, \quad (5.8)$$

де $S(\text{км})$ – довжина вимірюваної відстані в км.

Значення u_{np} наведено у вихідних даних для виконання розрахунків.

Невизначеність вимірювань за рахунок округлення під час зняття відліку $u_{\text{від}}$ може бути визначена з наступного виразу:

$$u_{\text{від}}(S) = 0,6 \cdot \frac{1}{2} \Delta_S, \quad (5.9)$$

де Δ_S – ціна найменшого розряду табло електронного тахеометра під час вимірювань відстаней. Оскільки заокруглення відбувається до найближчого цілого значення ціни найменшого розряду, то додатково використовується коефіцієнт $\frac{1}{2}$,

0,6 – коефіцієнт, що використовується при врахуванні систематичних зміщень.

Невизначеність за рахунок неповного врахування параметрів зовнішнього середовища u_{ppm} викликана невизначеністю засобів вимірювальної техніки під час вимірювання температури та атмосферного тиску. Як відомо, похибка в 1 °С у визначенні температури повітря або у

3 мм. рт. ст. у визначенні атмосферного тиску, призводять до появи систематичної похибки 1 мм на кожний 1 км вимірної відстані. Таким чином, u_{ppm} може бути визначена з виразу:

$$u_{ppm}^2 = S_{км}^2 u_{тем}^2 + \frac{S_{км}^2}{3^2} u_{тиск}^2, \quad (5.10)$$

де $S_{км}$ – виміряна відстань в км,

$u_{тем}$, $u_{тиск}$ – невизначеності вимірювань температури повітря та атмосферного тиску відповідно. Дані значення наведено у вихідних даних для виконання розрахунків.

г) визначити сумарну стандартну невизначеність вимірювань дирекційних кутів електронним тахеометром:

$$u(\alpha) = \sqrt{u_A^2(\alpha) + u_{np}^2(\alpha) + u_{від}^2(\alpha)}, \quad (5.11)$$

Оскільки за умовами вимірювань отримані значення дирекційного кута α_i залежать переважно від вимірних значень горизонтальних кутів, вираз (5.11) можна записати наступним чином:

$$u(\alpha) = \sqrt{u_A^2(\alpha) + u_{np}^2(H) + u_{від}^2(H)}, \quad (5.12)$$

де $u_A(\alpha)$ – невизначеність вимірювань дирекційних кутів за типом А, яка розраховується за виразом (5.2),

$u_{np}(H)$ – невизначеність вимірювань горизонтальних кутів електронним тахеометром, яка може бути отримана із його сертифікату калібрування, та подана у вихідних даних до виконання розрахунків,

$u_{від}(H)$ – невизначеність вимірювань, отримана за рахунок округлень під час взяття відліку по горизонтальному колу, визначається за виразом:

$$u_{від}(\alpha) = 0,6 \cdot \frac{1}{2} \Delta_\alpha, \quad (5.13)$$

де Δ_α – ціна найменшого розряду табло електронного тахеометра під час вимірювань горизонтальних кутів.

д) визначити сумарну стандартну невизначеність вимірювань кутів нахилу електронним тахеометром:

$$u(\nu) = \sqrt{u_A^2(\nu) + u_{np}^2(\nu) + u_{від}^2(\nu)}, \quad (5.14)$$

Оскільки за умовами вимірювань отримані значення кута нахилу v_i залежать переважно від вимірних значень вертикальних кутів, вираз (5.14) можна записати так:

$$u(v) = \sqrt{u_A^2(v) + u_{np}^2(V) + u_{\text{від}}^2(V)}, \quad (5.15)$$

де $u_A(v)$ – невизначеність вимірювань кутів нахилу за типом А, яка розраховується за виразом (5.2),

$u_{np}(V)$ – невизначеність вимірювань вертикальних кутів електронним тахеометром, яка може бути отримана із його сертифікату калібрування, та подана у вихідних даних до виконання розрахунків,

$u_{\text{від}}(V)$ – невизначеність вимірювань, отримана за рахунок округлень під час взяття відліку по вертикальному кругу, визначається за виразом:

$$u_{\text{від}}(\alpha) = 0,6 \cdot \frac{1}{2} \Delta_v, \quad (5.16)$$

де Δ_v – ціна найменшого розряду табло електронного тахеометра під час вимірювань вертикальних кутів.

е) визначити сумарну стандартну невизначеність вимірювань координат пункту S_3 .

Як відомо, сумарна стандартна невизначеність є позитивним квадратним коренем із комбінованої дисперсії u_c^2 , яка розраховується за формулою:

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i). \quad (5.17)$$

Координати вимірюваної точки можуть бути визначені з значень дирекційного кута, кута нахилу і нахиленої відстані за наступними залежностями:

$$x_i = S_i \cos \alpha_i \cos v_i, \quad (5.18)$$

$$y_i = S_i \sin \alpha_i \cos v_i, \quad (5.19)$$

$$z_i = S_i \sin v_i; \quad (5.20)$$

Таким чином, з урахуванням залежності (5.7) можна визначити невизначеність вимірювань координат пункту:

$$u(x) = \sqrt{c_x^{S^2} u^2(S) + c_x^{\alpha^2} \frac{u^2(\alpha)}{\rho^2} + c_x^{v^2} \frac{u^2(v)}{\rho^2}}, \quad (5.21)$$

де $c_x^S = \cos \bar{\alpha} \cos \bar{\nu}$, $c_x^\alpha = -\bar{S} \sin \bar{\alpha} \cos \bar{\nu}$, $c_x^\nu = -\bar{S} \cos \bar{\alpha} \sin \bar{\nu}$;

$$u(y) = \sqrt{c_y^{S^2} u^2(S) + c_y^{\alpha^2} \frac{u^2(\alpha)}{\rho^2} + c_y^{\nu^2} \frac{u^2(\nu)}{\rho^2}}, \quad (5.22)$$

де $c_y^S = \sin \bar{\alpha} \cos \bar{\nu}$, $c_y^\alpha = \bar{S} \cos \bar{\alpha} \cos \bar{\nu}$, $c_y^\nu = -\bar{S} \sin \bar{\alpha} \sin \bar{\nu}$;

$$u(z) = \sqrt{c_z^{S^2} u^2(S) + c_z^{\nu^2} \frac{u^2(\nu)}{\rho^2}}, \quad (5.23)$$

де $c_z^S = \sin \bar{\nu}$, $c_z^\nu = \bar{S} \cos \bar{\nu}$;

ж) визначити розширену невизначеність вимірювань координат пунктів:

$$U(x) = ku(x), \quad (5.24)$$

$$U(y) = ku(y), \quad (5.25)$$

$$U(z) = ku(z), \quad (5.26)$$

де k – коефіцієнт охоплення, що залежить від рівня довірчої імовірності P . При $P = 0.95$ маємо $k = 2$.

3. Вихідні дані до виконання практичної роботи наведено у табл. 8

Таблиця 8

Вихідні дані до виконання практичної роботи 5

№ вимірювання, i	Виміряні координати пункту P_3 , м		
	X	Y	Z
1	76,5152	67,2075	2,5506
2	76,5147	67,2107	2,5497
3	76,5176	67,209	2,5516
4	76,5181	67,2076	2,5475
5	76,515	67,2107	2,5503
6	76,5146	67,2099	2,5513
7	76,5148	67,2119	2,5479
8	76,5159	67,2086	2,5512
9	76,5148	67,2095	2,5491
10	76,515	67,2115	2,5472
11	76,5179	67,2098	2,5521
12	76,5169	67,2098	2,5521

Для виконання завдання здобувачі повинні змінити вихідні дані згідно зі своїм варіантом. Номер варіанта відповідає порядковому номеру здобувача у складі навчальної групи. Варіанти завдань:

1. Якщо номер варіанту $N \leq 5$, до координат X і Y вимірів 1-6 необхідно додати номер варіанту;

2. Якщо номер варіанту $5 < N \leq 10$, до координат Y і H вимірів 1-6 необхідно додати $N - 5$;

3. Якщо номер варіанту $10 < N \leq 15$, до координат X і H вимірів 7-12 необхідно додати $N - 10$;

4. Якщо номер варіанту $15 < N$, до координат Y і H вимірів 7-12 необхідно додати $N - 15$;

Витяг з сертифікату калібрування із зазначенням невизначеності вимірювань приладом показаний на рис. 7

5.3 Вимірювання кутів:

Кут, що вимірюється	Невизначеність вимірювань / <i>Uncertainty of measurements</i>		
	u_A	u_B	U
Горизонтальний	1,3 "	0,55 "	2,8 "
Вертикальний	2,1 "	0,51 "	4,3 "

5.4 Вимірювання віддалей:

Режим вимірювання	Невизначеність вимірювань / <i>Uncertainty of measurements</i>		
	u_A	u_C	U
"на відбивач"	$[1,5 + 0,5 \cdot S \text{ (кМ)}]$ мм	$[0,78 + 0,31 \cdot S \text{ (кМ)}]$	$[3,3 + 1,1 \cdot S \text{ (кМ)}]$ мм
"на плівку"	1,1 мм	0,80 мм	1,6 мм
"без відбивача"	1,7 мм	1,20 мм	4,1 мм

Розширену невизначеність отримано помноженням сумарної стандартної невизначеності на коефіцієнт охоплення $k = 2$, що відповідає інтервалові з довірчим рівнем, що приблизно становить 95 % за припущення про нормальний розподіл. Невизначеність обчислено згідно з «Настановою щодо вираження невизначеності вимірів» (GUM).

Рис. 7. Витяг з сертифікату калібрування електронного тахеометра

У сертифікатах калібрування наводять значення розширеної невизначеності вимірювань U . Для виконання розрахунків їх необхідно перевести у стандартні невизначеності.

Значення невизначеності вимірювань температури і тиску необхідно прийняти наступними:

$$u_{\text{тем}} = 0,5^\circ\text{C}$$

$$u_{\text{тиск}} = 1 \text{ мм. рт. ст.}$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 17123-5:2018 (ISO 17123-5:2018 IDT) Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 5. Тахеометри
2. ДСТУ ISO 17123-8:2018 (ISO 17123-8:2015 IDT) Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 8. Приймачі ГНСС, що працюють у режимі вимірювань у реальному часі (RTK)
3. ДСТУ ISO 17123-2:2006 (ISO 17123-2:2001 IDT) Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 5. Нівеліри
4. ДСТУ ISO 17123-9:2018 (ISO 17123-2:2018 IDT) Оптика та оптичні прилади. Процедури польових випробувань геодезичних та топографічних приладів. Частина 5. Наземні лазерні сканери
5. ISO/IEC GUIDE 98-3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). 120 p.

Навчально-методичне видання

МЕТРОЛОГІЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти спеціальності
193 «Геодезія та землеустрій»

Укладачі: **Адаменко** Олександр Вікторович;
Боденко Анатолій Іванович

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 1,93. Обл.-вид. арк. 2,0

Електронний документ. Вид № 37/V-25.

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р