

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-3(9)-7-15

Сергій Крячок

ПРИВЕДЕННЯ ЛІНІЙ, ВИМІРЯНИХ РУЛЕТКОЮ ТА ЕЛЕКТРОННИМ ТАХЕОМЕТРОМ, ДО ОДНОГО МАСШТАБУ (продовження)

Актуальність теми дослідження. Важливою складовою геодезичних робіт є вимірювання ліній. Лінійні вимірювання виконуються під час побудови геодезичних мереж, топографічних зніманих, інженерно-геодезичних роботах. Отже, забезпечення достовірних результатів лінійних вимірювань є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Вимірювання можуть виконуватись різними приладами та різними методами. Щоб забезпечити принцип єдності вимірювань, кожен з приладів повинен пройти метрологічну атестацію. При цьому застосовується процедура компарування, тобто порівняння відстані, вимірної геодезичним приладом з еталонною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел показав, що еталонування приладів для лінійних вимірювань виконується на еталонних базисах. Такі базиси мають кілька відрізків, які виміряні з високою точністю та надійно закріплені на місцевості.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Однак, якщо за відсутності поблизу еталонного базису компарування провести неможливо, то доцільно привести вимірювання хоча б до масштабу одного з приладів.

Постановка завдання. Головною метою цієї роботи є приведення лінійних вимірювань, виконаних електронним тахеометром Trimble 3305 DR і рулеткою Inter Tool, до одного масштабу. Ця стаття висвітлює лабораторні вимірювання та опрацювання результатів, які стосуються електронного тахеометра Trimble 3305 DR.

Виклад основного матеріалу. У статті наведено другу частину експериментальних досліджень з використанням електронного тахеометра. Результати вимірювань підлягали виявленню постійної похибки за критерієм Аббе та відповідності нормальному розподілу величинами ексцесу та асиметрії рядів розподілу.

Висновки. У підсумку визначено середнє значення лінії, яка була приведена до горизонту. Обчислено середні квадратичні похибки визначення довжини лінії та масштабного коефіцієнта переходу від довжини лінії, вимірної рулеткою, до масштабу ліній, вимірних тахеометром. Обчислено значення масштабного коефіцієнта.

Ключові слова: вимірювання відстаней; рулетка; електронний тахеометр; компарування мірних приладів; масштабний коефіцієнт.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 2.

Продовження. Початок у № 2 (8).

Мета статті. Головною метою цієї роботи є приведення лінійних вимірювань, виконаних рулеткою Inter Tool та електронним тахеометром Trimble 3305 DR, до одного масштабу. Ця стаття висвітлює лабораторні вимірювання та опрацювання результатів, які стосуються електронного тахеометра Trimble 3305 DR. Вимірювання та опрацювання результатів, які стосуються рулетки Inter Tool, наведені в [1].

Виклад основного матеріалу. Горизонтальне прокладення D_{24}^T між осями втулок підставок, закріплених на стовпчиках s2 та s4, визначалось з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 DR. Для цього (рис. 1) у підставці на стовпчику s1 було встановлено тахеометр Trimble 3305 DR 9, а почергово у підставки на стовпчиках s2 та s4 встановлювався відбивач 10 з комплекту світловіддалеміра СТ-5 «Блеск» та вимірювались відстані S_{12} та S_{14} . Це складало один прийом вимірювань. Було виконано 140 прийомів, результати яких наведені в табл. 1 і табл. 2 та обчислено середні значення. Горизонтальне прокладення становило $D_{12}^T = 2,06063$ м, а горизонтальне прокладення $D_{14}^T = 6,43995$ м.



Рис. 1. Вимірювання відстаней за допомогою тахеометра Trimble 3305 DR

Визначено нестворність вертикальної осі відлікового пристрою на стовпчику s_2 щодо створу напрямку s_1-s_4 . Для цього (рис. 2) на стовпчиках s_1 та s_2 було встановлено у підставки 11, 12 вимірювальні пристрої. На стовпчику s_2 було розміщено лінійку 13 перпендикулярно створу s_1-s_4 . Теодоліт 14 марки 2Т2 було встановлено у підставку на стовпчику s_4 . Візирними цілями (рис. 3) слугували швейні голки 15. Вони закріплювались краплиною пластмаси 16, розігрітої до високої температури, до поверхні 11 відлікового пристрою у місці перетину відлікових ліній. Візирні цілі було встановлено на відлікових пристроях, розміщених на стовпчиках s_1 та s_2 .

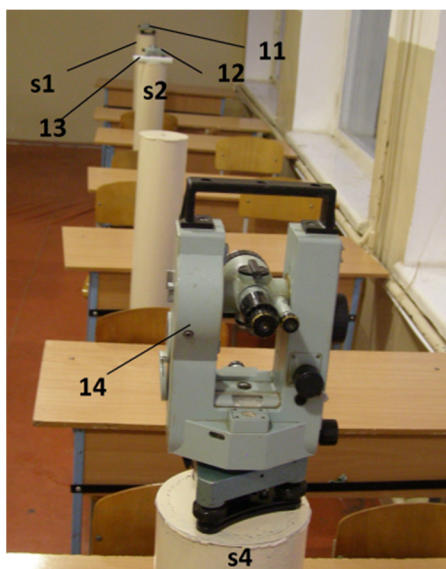


Рис. 2. Вимірювання позастворного положення вимірювального пристрою на стовпчику s_2

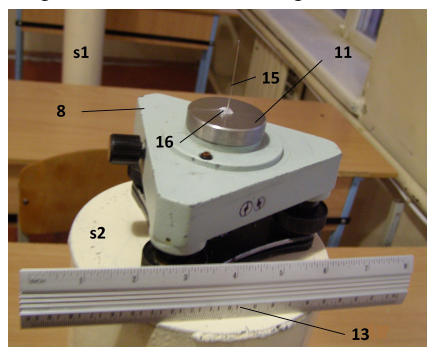


Рис. 3. Розташування візирної цілі у вигляді голки на вимірювальному пристрої та лінійки на стовпчику s_2

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Програма спостережень включала при крузі ліворуч:

- 1) наведення хреста ниток зорової труби теодоліта на візирну ціль, розміщену на стовпчику s_1 , проектування вертикалі візирної цілі на площину лінійки та взяття відліку за лінійкою з точністю до 0,1 мм;
- 2) наведення хреста ниток зорової труби теодоліта на візирну ціль, розміщену на стовпчику s_2 , проектування вертикалі візирної цілі на площину лінійки та взяття відліку за лінійкою з точністю до 0,1 мм;
- 3) поворот візирних цілей, розміщених на стовпчиках s_1 та s_2 на 180° .

Далі виконувались дії за пунктами 1 та 2, обчислювались середні значення з наведень на ту ж саму візирну ціль, що становило напівприйоми вимірювань. Перед початком іншого напівприйому теодоліт встановлювався при крузі праворуч. Було виконано два прийоми спостережень. Між прийомами лінійку було дещо зміщено в напрямку, перпендикулярному створу $s_1 - s_4$. Величина позастворного положення визначалась як середнє з прийомів.

Схема визначення позастворного положення вимірювального пристрою на стовпчику s_2 наведена на рис. 4. Оскільки лінійка l_3 знаходилась на відстані ΔD від осі вимірювального пристрою на стовпчику s_2 , то було визначено не відхилення від створу h вимірювального пристрою, а відхилення від створу h' лінійки l_3 . Значення $h' = 8,44$ мм. З рис. 4 видно, що

$$\Delta h = \frac{\Delta D}{D_{24}^T - \Delta D} h', \tag{1}$$

$$\beta = \arcsin \frac{h}{D_{12}^T} = \arcsin \frac{h' + \Delta h}{D_{12}^T}. \tag{2}$$

Приймається $D_{24}^T \approx D_{14}^T - D_{12}^T = 6,43995 - 2,06063 = 4,37932$ м, $\Delta D = 65$ мм – половина довжини підставки δ в напрямку, перпендикулярному площині лінійки l_3 (рис. 3). Тоді з урахуванням формул (7) та (8): $\beta = 0,238210^\circ = 0^\circ 14' 18''$.

Поправка ΔD_{24}^T у наближене значення $D_{14}^T - D_{12}^T$ відстані D_{24}^T дорівнює

$$\Delta D_{24}^T = D_{24}^T - (D_{14}^T - D_{12}^T). \tag{3}$$

Користуючись формулою (3), теоремою косинусів для сторони D_{24}^T (рис. 4) та розкладанням у ряд функції $\cos \beta \approx 1 - \beta^2 / 2\rho^2$, можна отримати формулу для обчислення ΔD_{24}^T

$$\Delta D_{24}^T = \frac{D_{12}^T D_{14}^T}{2(D_{14}^T - D_{12}^T)} \frac{\beta^2}{\rho^2} - \frac{(D_{12}^T D_{14}^T)^2}{8(D_{14}^T - D_{12}^T)^3} \frac{\beta^4}{\rho^4}, \tag{4}$$

де $\rho = 57,2958^\circ$. Для наведених вище значень D_{12}^T , D_{14}^T , β другий доданок формули (4) дорівнює $7,8 \cdot 10^{-8}$ мм, а тому ним нехтується. Тоді $\Delta D_{24}^T = 0,026 \approx 0,03$ мм. У підсумку за формулою (3) D_{24}^T дорівнює $D_{24}^T = D_{14}^T - D_{12}^T + \Delta D_{24}^T = 4,37935$ м.

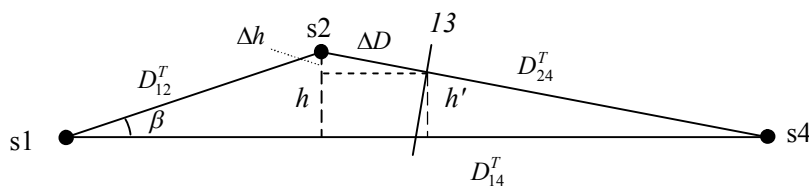


Рис. 4. Схема визначення позастворного положення вимірювального пристрою на стовпчику s_2

Різниця ΔD_{24} відстаней, виміряних рулеткою D_{24}^P і тахеометром D_{24}^T становить $\Delta D_{24} = D_{24}^P - D_{24}^T = 4,37682 - 4,37935 = -0,0025 \text{ м} = -2,5 \text{ мм}$.

Середня квадратична похибка (СКП) різниці m_{Δ} відстаней D_{24} , виміряних рулеткою з СКП m_P і тахеометром з СКП m_T , дорівнює

$$m_{\Delta} = \sqrt{m_T^2 + m_P^2} = \sqrt{m_{S_{14}}^2 + m_{S_{12}}^2 + \frac{1}{4}(m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2)}, \quad (5)$$

де $m_{S_{12}}$, $m_{S_{14}}$ – СКП визначення відстаней S_{12} та S_{14} за допомогою тахеометра, m_{S_1} , m_{S_2} – СКП визначення двічі відстані S_{24} за допомогою рулетки. СКП визначення поправок нехтується через їх малі значення.

Перш ніж визначити СКП $m_{S_{12}}$ та $m_{S_{14}}$, необхідно впевнитись, чи мають значення окремих відстаней, наведених у табл. 1 і табл. 2, нормальний розподіл.

Таблиця 1

Вимірювання відстані S_{12} електронним тахеометром Trimble 3305 DR

2,062	2,061	2,058	2,060	2,062	2,061	2,061
2,060	2,062	2,060	2,061	2,062	2,060	2,061
2,059	2,060	2,060	2,059	2,060	2,059	2,061
2,060	2,061	2,061	2,063	2,061	2,060	2,061
2,058	2,060	2,059	2,063	2,060	2,059	2,059
2,061	2,061	2,060	2,061	2,061	2,062	2,062
2,060	2,060	2,059	2,061	2,060	2,060	2,061
2,061	2,061	2,060	2,062	2,062	2,059	2,062
2,062	2,063	2,059	2,060	2,061	2,062	2,060
2,060	2,062	2,060	2,061	2,060	2,060	2,061
2,062	2,060	2,061	2,063	2,060	2,059	2,062
2,062	2,061	2,061	2,063	2,060	2,061	2,060
2,060	2,060	2,060	2,061	2,062	2,060	2,062
2,061	2,060	2,060	2,061	2,058	2,062	2,061
2,059	2,059	2,059	2,060	2,060	2,061	2,060
2,057	2,062	2,060	2,061	2,060	2,060	2,062
2,061	2,061	2,062	2,060	2,061	2,062	2,061
2,062	2,061	2,061	2,061	2,059	2,061	2,061
2,060	2,059	2,061	2,060	2,060	2,060	2,062
2,063	2,062	2,059	2,061	2,061	2,062	2,061
Середнє значення S_{12}					2,06064	
Кут нахилу лінії V_{12}					-0°11'27"	
Горизонтальне прокладення D_{12}					2,06063	
Асиметрія / Ексцес					-0,17899 / 0,07232	

Оскільки кожна з відстаней виміряна тахеометром 140 разів, то можна визначити асиметрію S та ексцес E рядів вимірювань з використанням середовища Excel для оцінки наближення розподілів до нормального. Для цього визначаються дисперсії D_S та D_E за формулами [2]

$$D_S = \frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}, \quad (6)$$

$$D_E = \frac{24(n-3)}{(n+3)(n+5)}, \quad (7)$$

де n – число вимірювань цієї лінії у ряді. Якщо виконуються нерівності

$$|S| \leq 3\sqrt{D_S}, \quad (8)$$

$$|E| \leq 5\sqrt{D_E}, \tag{9}$$

то розподіл вважається нормальним. Для $n = 140$ з (6), (7) праві частини (8) та (9) дорівнюють $3\sqrt{D_S} = 1,49$ та $5\sqrt{D_E} = 1,99$. Ці значення більші за значення $|S_1| = 0,179$, $|E_1| = 0,072$ (див. табл. 1) та $|S_2| = 0,27$, $|E_1| = 0,072$ (табл. 2). Тому розподіл рядів вимірювань відстаней S_{12} та S_{14} не суперечить нормальному.

Таблиця 2

Вимірювання відстані S_{14} електронним тахеометром Trimble 3305 DR

6,439	6,440	6,439	6,441	6,439	6,439	6,440
6,440	6,438	6,439	6,441	6,440	6,441	6,440
6,441	6,439	6,440	6,440	6,440	6,441	6,441
6,440	6,440	6,440	6,440	6,440	6,441	6,441
6,440	6,440	6,439	6,440	6,440	6,440	6,441
6,439	6,440	6,440	6,439	6,439	6,441	6,440
6,439	6,441	6,438	6,439	6,440	6,439	6,440
6,440	6,441	6,438	6,441	6,440	6,440	6,441
6,440	6,439	6,440	6,441	6,440	6,439	6,440
6,441	6,439	6,441	6,438	6,440	6,441	6,439
6,441	6,439	6,440	6,441	6,439	6,440	6,440
6,440	6,440	6,440	6,438	6,440	6,440	6,440
6,440	6,440	6,439	6,439	6,441	6,439	6,440
6,441	6,440	6,440	6,439	6,439	6,440	6,440
6,441	6,441	6,440	6,441	6,441	6,440	6,440
6,440	6,439	6,439	6,441	6,440	6,440	6,441
6,441	6,439	6,441	6,440	6,440	6,442	6,440
6,439	6,440	6,439	6,441	6,440	6,439	6,440
6,440	6,440	6,441	6,441	6,440	6,440	6,440
6,440	6,440	6,440	6,440	6,440	6,439	6,440
Середнє значення S_{14}					6,43996	
Кут нахилу лінії v_{14}					-0°07'15"	
Горизонтальне прокладення D_{14}					6,43995	
Асиметрія / Ексцес					-0,272/-0,128	

СКП вимірювання відстані S електронним тахеометром Trimble 3305 DR визначається за формулою $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$. Тоді СКП $m_{S_{12}}$ – вимірювання відстані

$$S_{12} = 2,1\text{м} = 0,0021\text{ км} \quad 140 \text{ разів дорівнює } m_{S_{12}} = (2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot 0,002) / \sqrt{140} = 2,004 / \sqrt{140} = 0,1694 \text{ мм,}$$

а відстані $S_{14} = 6,4 \text{ м} = 0,0064 \text{ км}$ дорівнює $m_{S_{14}} = (2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot 0,0064) / \sqrt{140} = 2,013 / \sqrt{140} = 0,1701 \text{ мм.}$

У підсумку, СКП визначення різниці m_{Δ} відстаней D_{24} , виміряних рулеткою і тахеометром згідно з (5), дорівнює $m_{\Delta} = 0,3065 \text{ мм}$. Гранична похибка Δ_{Γ} визначення різниці відстаней D_{24} , виміряних рулеткою і тахеометром, для вибраної у цьому дослідженні довірчої ймовірності $P = 0,95$ становить $\Delta_{\Gamma} = 2m_{\Delta} = 2 \cdot 0,3065 = 0,613 \text{ мм}$. Гранична, або припустима випадкова похибка значно менша від різниці відстаней $|\Delta D_{24}| = 2,5 \text{ мм}$. Тому необхідно визначити наявність чи відсутність систематичних похибок у рядах вимірювань.

Як видно з (1), відстань D_{24}^T визначалась у диференційний спосіб, що дозволило не враховувати сталу віддалеміра. Почергове вимірювання відстаней S_{12} та S_{14} за один прийом дозволило мінімізувати можливий вплив нагрівання тахеометра на зміну масштабної частоти його генератора впродовж тривалого часу вимірювань. В основу визна-

чення відстані, вимірюної тахеометром покладено вираз $D_{24}^T = D_{14}^T - D_{12}^T + \Delta D_{24}^T$. Зважаючи на мізерні поправки у горизонтальні прокладення D_{14}^T та D_{12}^T , а також мале значення ΔD_{24}^T , можна записати $S_{24}^T \approx S_{14}^T - S_{12}^T$.

Для визначення наявності систематичної похибки у рядах вимірювань відстаней використано критерій Аббе. Для цього обчислювались послідовні різниці відстаней у ряді їх вимірювань

$$d_i = S_{i-1} - S_i. \quad (10)$$

Визначалась вибіркова дисперсія

$$m_d^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2, \quad (11)$$

та вибіркова статистика для вибіркової дисперсії m

$$\delta = \frac{m_d^2}{m^2}, \quad (12)$$

а за кількістю вимірювань n та рівнем значення $q = 1 - P$ з таблиць [2] визначалась статистика δ_q . Для значного n статистика δ_q може бути визначена за формулою [2]

$$\delta_q = 0,867561498 - \frac{5,94495279}{n} + \frac{37,40106356}{n^2} - \frac{137,710475}{n^3} + \frac{210,6458956}{n^4}. \quad (13)$$

Якщо $\delta > \delta_q$, то систематична похибка у ряді вимірювань відсутня [2].

За даними табл. 3 вибіркова статистика $\delta = 0,843$, розрахункове значення, обчислене за формулою (13), становить $\delta_q = 0,827$. Отже, $\delta > \delta_q$ – систематична похибка у ряді визначень відстані S_{24}^T відсутня.

Таблиця 3

Результати обчислення відстані S_{24}^T та розрахунки до критерію Аббе

№	S_i , м	d , мм	d^2 , мм ²	№	S_i , м	d , мм	d^2 , мм ²	№	S_i , м	d , мм	d^2 , мм ²	№	S_i , м	d , мм	d^2 , мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	4,377	-3	9	36	4,378	1	1	71	4,375	-3	9	106	4,379	-2	4
2	4,380	-2	4	37	4,379	-2	4	72	4,378	0	0	107	4,381	4	16
3	4,382	2	4	38	4,381	3	9	73	4,378	-3	9	108	4,377	-4	16
4	4,380	-2	4	39	4,378	-3	9	74	4,381	1	1	109	4,381	0	0
5	4,382	4	16	40	4,381	2	4	75	4,380	0	0	110	4,381	2	4
6	4,378	-1	1	41	4,379	-1	1	76	4,380	0	0	111	4,379	0	0
7	4,379	0	0	42	4,380	1	1	77	4,380	-1	1	112	4,379	1	1
8	4,379	1	1	43	4,379	-1	1	78	4,381	2	4	113	4,378	-1	1
9	4,378	-3	9	44	4,380	0	0	79	4,379	2	4	114	4,379	-1	1
10	4,381	2	4	45	4,380	1	1	80	4,377	-1	1	115	4,380	0	0
11	4,379	1	1	46	4,379	1	1	81	4,378	-2	4	116	4,380	2	4
12	4,378	-2	4	47	4,378	-3	9	82	4,380	1	1	117	4,378	-2	4
13	4,380	0	0	48	4,381	0	0	83	4,379	-1	1	118	4,380	3	9
14	4,380	-2	4	49	4,381	2	4	84	4,380	2	4	119	4,377	-2	4
15	4,382	-1	1	50	4,379	-1	1	85	4,378	-2	4	120	4,379	0	0
16	4,383	3	9	51	4,379	0	0	86	4,380	2	4	121	4,379	-1	1
17	4,380	3	9	52	4,379	-1	1	87	4,378	-1	1	122	4,380	0	0
18	4,377	-3	9	53	4,380	-1	1	88	4,379	-1	1	123	4,380	-2	4
19	4,380	3	9	54	4,381	2	4	89	4,380	1	1	124	4,382	4	16
20	4,377	-2	4	55	4,379	0	0	90	4,379	-1	1	125	4,378	-1	1
21	4,379	3	9	56	4,379	1	1	91	4,380	1	1	126	4,379	0	0
22	4,376	-3	9	57	4,378	-2	4	92	4,379	-2	4	127	4,379	-1	1

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
23	4,379	0	0	58	4,380	1	1	93	4,381	0	0	128	4,380	2	4
24	4,379	-1	1	59	4,381	0	0	94	4,381	1	1	129	4,378	0	0
25	4,380	1	1	60	4,381	1	1	95	4,380	1	1	130	4,378	-2	4
26	4,379	-2	4	61	4,380	-1	1	96	4,379	-2	4	131	4,380	2	4
27	4,381	1	1	62	4,381	4	16	97	4,381	1	1	132	4,378	-1	1
28	4,380	4	16	63	4,377	0	0	98	4,380	1	1	133	4,379	-1	1
29	4,376	-1	11	64	4,377	-1	1	99	4,379	1	1	134	4,380	1	1
30	4,377	-2	4	65	4,378	0	0	100	4,378	-3	9	135	4,379	0	0
31	4,379	0	0	66	4,378	-1	1	101	4,381	-1	1	136	4,379	0	0
32	4,379	-1	1	67	4,379	-2	4	102	4,382	1	1	137	4,379	1	1
33	4,380	0	0	68	4,381	4	16	103	4,381	0	0	138	4,378	-1	1
34	4,380	-2	4	69	4,377	-1	1	104	4,381	2	4	139	4,379	0	0
35	4,382	5	25	70	4,378	3	9	105	4,379	0	0	140	4,379	-2	470

$$d = S_{i-1} - S_i; m_{S_{24}}^T = 1,4156 \text{ мм}; m_d^2 = 1,69 \text{ мм}^2; \delta = 0,843.$$

Таким чином, ряди вимірювань відстані S_{24} електронним тахеометром і рулеткою [1] не мають систематичних похибок. Це означає, що середні значення відстаней не зміщені і є близькими до дійсних значень.

Необхідно зазначити, що отримана значна різниця $|\Delta D_{24}| = 2,5$ мм відстаней, виміряних електронним тахеометром та рулеткою пояснюється сталою складовою, яка присутня у формулі точності вимірювання відстані електронним тахеометром $m_S = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}$. Адже для $S_{\text{км}} \approx 0$ $m_S = 2$ мм, що для прийнятої довірчої ймовірності $P = 0,95$ відповідає граничній похибці $|\Delta D_{24}| = 2 \cdot 2 = 4$ мм. Тож отримана різниця $|\Delta D_{24}| = 2,5$ мм є припустимою.

Оскільки лівова частка лінійних вимірювань виконується з використанням електронних тахеометрів чи електронних віддалемірів, то необхідно привести результати даних вимірювань, виконаних рулеткою, до масштабу лінійних вимірювань, виконаних електронним тахеометром. Для цього визначається масштабний коефіцієнт

$$k = \frac{D_{24}^T}{D_{24}^P}, \tag{14}$$

який у цьому випадку дорівнює $k = 4,37935/4,37682 = 1,000578$. Тоді горизонтальне прокладення D^P , визначене з використанням рулетки, приводиться до масштабу прокладення D^T , що відповідає електронному віддалі муру, за формулою

$$D^T = kD^P. \tag{15}$$

Для обчислення СКП визначення масштабного коефіцієнта формулу (15) можна записати у вигляді

$$k = \frac{D_{24}^T}{D_{24}^P} \approx \frac{S_{24}^T}{S_{24}^P}. \tag{16}$$

Після диференціювання формули (16) та переходу до СКП її аргументів, СКП визначення масштабного коефіцієнта має вигляд

$$m_K = k \cdot \sqrt{\left(\frac{m_{S_{24}^T}}{S_{24}^T}\right)^2 + \frac{(m_{S_1^P}^2 + m_{S_2^P}^2)}{(2S_{24}^P)^2}}, \tag{17}$$

де $m_{S_1^P}, m_{S_2^P}$ – СКП визначення контрольної довжини S_{24} рулеткою у першому та другому циклах відповідно.

СКП визначення відстані S_{24}^T з огляду на $S_{24}^T \approx S_{14}^T - S_{12}^T$ дорівнює

$$m_{S_{24}^T} = \sqrt{m_{S_{14}^T}^2 + m_{S_{12}^T}^2}, \quad (18)$$

що для $m_{S_{14}^T} = 0,1694$ мм та $m_{S_{12}^T} = 0,1701$ мм складає $m_{S_{24}^T} = 0,2401$ мм. Тоді для $S_{24}^T \approx S_{24}^P = 4378$ мм, $m_{S_{14}^P} = 0,0857$ мм і $m_{S_{12}^P} = 0,0667$ мм [1] та $k \approx 1,00$ з (17) визначиться $m_K = 5,62 \cdot 10^{-5} = 1/17800$.

У підсумку, користуючись вихідною формулою (15) та маючи потрібну відстань, виміряну рулеткою S_P , СКП якої m_{S_P} та цей коефіцієнт переходу $k = 1,00058$, СКП якої наведена вище, можна визначити довжину цієї ж лінії у масштабі тахеометра S^T з відносною похибкою, яка обчислюється за формулою

$$\frac{m_{S^T}}{S^T} = \sqrt{\left(\frac{m_K}{k}\right)^2 + \left(\frac{m_{S^P}}{S^P}\right)^2}. \quad (19)$$

Щоб точність визначення коефіцієнта переходу k не впливала на точність визначення лінії, необхідно, щоб

$$\frac{m_K}{k} \leq \frac{1}{3} \frac{m_{S^P}}{S^P}. \quad (20)$$

Тоді

$$\frac{m_{S^P}}{S^P} \geq 3 \frac{m_K}{k}. \quad (21)$$

Для $m_K = 1/17800$ та $k = 1,00$ з (21) випливає $\frac{m_{S^P}}{S^P} \geq \frac{1}{6000}$, що відповідає точності вимірювання відстаней за допомогою рулеток.

Висновки. У результаті експериментальних досліджень та статистичного опрацювання результатів вимірювань отримано значення масштабного коефіцієнта для переходу від довжини лінії, виміряної рулеткою Inter Tool, до масштабу ліній, виміряних електронним тахеометром Trimble 3305 DR, який становить 1,000578. Обчислено середню квадратичну похибку визначення масштабного коефіцієнта, яка дорівнює 1:17800.

Список використаних джерел

1. Крячок С. Д. Приведення ліній, виміряних рулеткою та електронним тахеометром, до одного масштабу / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова, Ю. В. Щербак // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2017. – № 2 (8). – С. 9–19.
2. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.

References

1. Kriachok, S.D., Mamontova, L.S., Shcherbak, Yu.V. (2017). Pryvedennia linii, vymirianykh ruletkoiu ta elektronnym takheometrom, do odnogo masshtabu [Bringing lines, which were measured by roulette and electronic total station, to one scale]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (8), pp. 9–19 (in Ukrainian).
2. Voitenko, S.P. (2003). *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriia pokhybok vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements. Theory of measurement errors]*. Kyiv: KNUBA (in Ukrainian).

*Serhiy Kryachok***BRINGING THE LINES MEASURED BY TAPE MEASURE AND ELECTRONIC TOTAL STATION TO ONE SCALE (CONTINUATION)**

Urgency of the research. Lines measurement is an important part of geodetic works. Linear measurements performed during the construction of geodetic networks, topographic survey, engineering and geodetic works. Therefore, ensuring reliable results linear measurement is an urgent task.

Target setting. Measurements can be performed by different devices and different methods. To ensure the principle of unity of measurements each device must undergo metrological certification. In this case a comparison procedure is used. That is a comparison of the distance measured by the geodetic device with the reference one.

Actual scientific researches and issues analysis. Analysis of literary sources showed that standardizing devices for linear measurements is performed on the calibration base-line. Such bases-lines have several line segments that are measured accurately and securely mounted on the locality.

Uninvestigated parts of general matters defining. However, if no calibration base-line of comparison is possible, it is expedient to bring the measure to scale at least one of the devices.

The research objective. The main purpose of this work is to bring linear measurements made by Trimble 3305 DR electronic total station and Inter Tool tape measure to one scale. This paper covers laboratory measurements and processing of results related to the Trimble 3305 DR electronic tacheometer.

The statement of basic materials. The article presents a second part of experimental research using an electronic stationer. The results of the measurements were subject to the determination of a constant error on the ABbe criterion and to the normal distribution with the values of the excess and the asymmetry of the distribution rows.

Conclusions. The result is the average of the line that was brought to the horizon. The average square error of the determination of the length of the line and the scale factor of the transition from the length of the line measured by the tape measure to the scale of the lines measured by the geometry is calculated. The value of the scale factor is calculated.

Key words: measuring distances; roulette; electronic total station; the calibration of measuring instruments; scale factor.

Fig.: 4. Tabl.: 3. Bibl.: 2.

УДК 528.3

*Сергей Крячок***ПРИВЕДЕНИЕ ЛИНИЙ, ИЗМЕРЕННЫХ РУЛЕТКОЙ И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ, К ОДНОМУ МАСШТАБУ**

Описана методика приведения линий, измеренных рулеткой и тахеометром, к одному масштабу. В экспериментальном исследовании была использована рулетка Inter Tool и электронный тахеометр Trimble 3305 DR. Суцність експеримента заключалась в многократном измерении одной и той же линии рулеткой и тахеометром и последующим расчетом масштабного коэффициента. В статье приводится вторая часть измерений с использованием электронного тахеометра. Результаты измерений подлежали выявлению постоянной погрешности по критерию Аббе и соответствия нормальному распределению по значениям эксцесса и асимметрии рядов распределения. В итоге получено среднее значение линии. Вычислены средние квадратические погрешности определения длины линии и масштабного коэффициента перехода от длин линий, измеренных рулеткой к масштабу линий, измеренных тахеометром. Вычислено значение масштабного коэффициента.

Ключевые слова: измерения расстояний; рулетка; электронный тахеометр; компарирование измерительных приборов; масштабный коэффициент.

Рис.: 4. Табл.: 3. Библ.: 2.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Крячок Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com