

**ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ПОПРАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ ВІДДАЛЕМІРІВ**

Рассматривается усовершенствованный способ определения постоянной поправки электронного дальномера при измерении линий в разных комбинациях. Усовершенствование заключается в измерении одних и тех же линий в прямом и обратном направлениях. Это обеспечивает возможность контроля операций по разностям двойных измерений непосредственно в полевых условиях. Предложено отказаться от закрепления точек на местности, а выполнять измерения линий с тригеров, закрепленных на штативах и установленных в створе, что исключает влияние погрешностей центрирования на точность измерений. Выведена новая формула для вычисления среднего значения постоянной поправки электронных дальномеров в более компактном виде для случая равноточных измерений линий во всех возможных комбинациях. Разработана методика вычисления среднего значения постоянной поправки с контролем. Приведен пример применения усовершенствованного способа.

Improved method for determining the stadia constant of electronic distance measurer for the purpose of line observation in all possible combinations is considered. The improvement consists in measurement of the same lines in the forward and reverse directions. This provides the control of the measurement lines on the double difference measurements directly in the field. It is offered to reject the point fixing on the ground and to measure lines using tribraches fixed on tripods and mounted in line. This balanced out the affect of the errors of centering of accuracy in measurements. The new formula for calculation of average value of the stadia constant of electronic distance measurer in a more compact form has been derived for equal observations of lines in all possible combinations. Computing technique for average calculating of stadia constant with rerunning has been developed. An example of this improved technique application has been provided.

Постановка проблеми. При визначенні відстаней світло- і радіовіддалемірами чи електронними тахеометрами необхідно знайти сталу, яку прийнято називати постійною поправкою. Потреба в цьому виникає через неспівпадання осей обертання електронного віддалеміра і відбивача з випромінюючою поверхнею віддалеміра та відбивного поверхню відбивача. Як відомо, значення поправки можна знайти у паспорті до електронного віддалеміра, а також в інтернет-джерелах, в яких характеризуються відповідні типи приладів. Проте для отримання надійних значень все ж краще визначити її величину для кожного випадку окремо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, дотичних до анонсованої проблеми. У публікаціях [1-3] наведено кілька варіантів визначення постійної поправки. В першому випадку виконуються вимірювання коротких інтервалів відомої довжини в межах фазового циклу, в другому вимірюється контрольний базис завдовжки 300-500 м, у третьому вимірюється кілька ліній, довжини яких попередньо визначені із заданою точністю. Постійна поправка визначається як різниця між відомою довжиною відрізка та вимірною за допомогою електронного віддалеміра. У разі вимірювання кількох відрізків обчислюють декілька значень поправки та її середню величину. Недоліком усіх цих способів є необхідність попереднього вимірювання інтервалів з точністю $(1-2) \cdot 10^{-6}$ – для геодезичних і топографічних світловіддалемірів та $(3-5) \cdot 10^{-7}$ – для високоточних приладів [3].

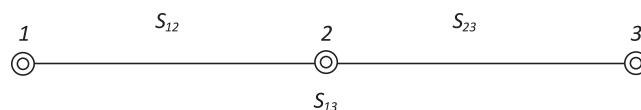
У четвертому варіанті визначають постійну поправку шляхом розрахунку за конструктивними розмірами [3]. Зрозуміло, що в цьому випадку необхідно знати конструктивні параметри віддалеміра і відбивача.

П'ятий варіант передбачає використання блока контрольного відліку у вигляді насадки, яка кріпиться до зорової труби електронного тахеометра [2]. Але не кожен електронний віддалемір має в комплекті таку насадку.

У шостому варіанті пропонується визначити постійну поправку за різницею віддалей між двома

крайніми точками та сумою проєкцій на цю віддаль від середньої до крайніх точок [2]. Точки не закріплюються на місцевості, а тому у визначення постійної поправки не входять похибки за центрування приладу та відбивача. Середня точка розміщується поза створом крайніх точок, тож необхідно вимірювати два горизонтальних кути з крайніх точок на середню. Відступ від створу середньої точки може становити кілька метрів. Перевагою способу є те, що немає необхідності у попередньому точному визначенні довжин ліній. До недоліків слід віднести необхідність вимірювання двох горизонтальних кутів, а ще вплив похибки неспівпадання візирної осі зорової труби та віддалемірної осі тахеометра на точність визначення постійної поправки [2].

У сьомому варіанті вимірюються кілька ліній, розташованих у створі, у всіх можливих комбінаціях (мал. 1). У цьому випадку немає необхідності у попередньому точному вимірюванні ліній та горизонтальних кутів [1].



Мал. 1. Вимірювання ліній у всіх можливих комбінаціях

Електронним віддалеміром вимірюють відстані S_{12} , S_{13} , S_{23} . Постійна похибка c входить у кожен з виміряних ліній. Якщо вона дорівнює нулю, то значення ліній становитиме: S'_{12} , S'_{13} , S'_{23} . Постійна поправка обчислюється за формулою

$$V = S_{13} - S_{12} - S_{23} = S'_{13} + c - S'_{12} - c - S'_{23} - c = -c. \quad (1)$$

Якщо створних точок більше трьох, визначають середню поправку:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{\sum V_i}{N} = \frac{\sum (S_{ik} - S_{ij} - S_{jk})}{N}, \quad (2)$$

де $N = \frac{n(n-1)(n-2)}{6}$ – кількість постійних поправок [1].



Оскільки однакові відстані S_{ij} для $n > 3$ зустрічаються у формулі (2) декілька разів, то після зведення подібних членів отримують робочу формулу для обчислення середнього значення постійної поправки [1]:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{6}{n(n-1)(n-2)} \left\{ (2-n) \sum_1^{n-1} S_{i(i+1)} + (4-n) \sum_1^{n-2} S_{i(i+2)} + (6-n) \sum_1^{n-3} S_{i(i+3)} + \dots + (n-6) \sum_1^3 S_{i(i+n-3)} + (n-4) \sum_1^2 S_{i(i+n-3)} + (n-2) S_{1n} \right\}. \quad (3)$$

У публікації [1] наводиться алгоритм для обчислення за формулою (3), а також вказуються значення коефіцієнтів у залежності від числа n для 10-х створних точок.

Недолік даного способу – складність обчислення значення $V_{\text{сеп}}$ за формулою (3). Крім того, неможливий жорсткий польовий контроль за якістю вимірювання ліній, що може призвести до необхідності вилучення деяких з них під час розрахунку окремих значень постійної поправки [1].

Постановка завдання. Спробуємо спростити вираз (3) для обчислення середнього значення постійної поправки для випадку рівноточних вимірювань та удосконалити механізм польового контролю за якістю вимірювання ліній і методику обчислення середнього значення постійної поправки.

Виклад основного матеріалу дослідження. В чисельнику формули (2) значиться елемент $\sum(S_{ik} - S_{ij} - S_{jk})$. Для n створних точок такі суми матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} n=3: & V_1 = S_{13} - S_{12} - S_{23}; \\ n=4: & V_1 = S_{13} - S_{12} - S_{23}; \\ & V_2 = S_{14} - S_{13} - S_{34}; \\ & V_3 = S_{14} - S_{12} - S_{24}; \\ & V_4 = S_{24} - S_{23} - S_{34}. \end{aligned}$$

Для чотирьох створних точок після зведення подібних членів $\sum_{i=1}^4 V_i$ становитиме:

$$\sum_{i=1}^4 V_i = -2S_{12} + 2S_{14} - 2S_{23} - 2S_{34}.$$

Складемо таблицю коефіцієнтів a_{ij} у $\sum_{i=1}^N V_i$, які знаходяться перед відстанями S_{ij} , для числа створних точок від $n=3$ до $n=6$ (табл. 1).

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів a_{ij} перед S_{ij} у $\sum_{i=1}^N V_i$ в залежності від числа створних точок n

n	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{23}	S_{24}	S_{25}	S_{26}	S_{34}	S_{35}	S_{36}	S_{45}	S_{46}	S_{56}	N_S^*	N_S^*
3	-1	+1	-	-	-	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
4	-2	0	+2	-	-	-2	0	0	-	-2	-	-	-	-	-	6	4
5	-3	-1	+1	+3	-	-3	-1	+1	-	-3	-1	-	-3	-	-	10	10
6	-4	-2	0	+2	+4	-4	-2	0	+2	-4	-2	0	-4	-2	-4	15	12

* N_S^* – число вимірюваних ліній; N_S – число ліній, необхідних для визначення $\sum V_i$ з урахуванням зведення подібних членів, для яких $a_{ij}=0$.

З таблиці випливає, що:

1. Для кожного n маємо число груп доданків у $\sum_{i=1}^N V_i$, яке співпадає з максимальним значенням i та змінюється від 1 до $n-1$. Тобто число груп доданків становить $n-1$. Наприклад, для $n=3$ першу групу утворюють доданки, для яких $i=1: S_{12}, S_{13}$; другу групу – доданок S_{23} , для якого $i=2$.

2. Перші коефіцієнти кожної групи однакові й дорівнюють $[-(n-2)]$.

3. Кожен наступний коефіцієнт групи утворюється від попереднього додаванням числа 2. Він може бути записаний у формі члена арифметичної прогресії: $a_m = -(n-2) + 2(m-1) = 2m - n$, де m – номер члена арифметичної прогресії або, в даному випадку, – номер члена в групі.

4. Нумерацію членів у кожній групі можна провести у вигляді: $m=j-i$, звідки $j=m+i$.

Тоді формулу для обчислення суми поправок можна записати у вигляді:

$$\sum_{i=1}^N V_i = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{m=1}^{n-1-i} (2m - n) S_{i,i+m}, \quad (4)$$

де i – номер групи, який співпадає з номером i лінії у S_{ij} ; m – номер члена в групі.

Формула для визначення середнього з постійних поправок значення з урахуванням (4) і числа поправок N за формулою (2) виглядатиме так:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} = \frac{6}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{m=1}^{n-1-i} (2m - n) S_{i,i+m}. \quad (5)$$

Виведена формула (5) для обчислення середнього значення постійної поправки з урахуванням зведення подібних членів значно компактніша за наведену в джерелі [1] і представлену у виразі (3).

З табл. 1 видно, що деякі коефіцієнти a_{ij} поряд з S_{ij} мають нульові значення. Такі лінії не входять у загальну суму $\sum_{i=1}^N V_i$, а тому можуть і не вимірюватися на місцевості. Знайдемо значення номерів i та j в залежності від числа створних точок n для такого випадку. У таблиці нульові коефіцієнти вказано для парного числа n там, де є парні перші члени у кожній групі. Змінною величиною у кожній групі є j при незмінному значенні i . Тоді можна записати:

$$a_j = a_i + d(j - i),$$

де $a=0$, $a_1 = -(n-2)$ – перший член прогресії; $d=+2$ – різниця прогресії. Номер члена прогресії, для якого $a_j=0$, з урахуванням наведених значень буде таким:

$$j = \frac{a_j - a_1 + d}{d} = \frac{n}{2}. \quad (6)$$

Таблиця також засвідчує, що $a_{ij}=0$ для тих членів у групі, для яких

$$j - i = \frac{n}{2}. \quad (7)$$

Враховуючи (6) та (7), отримаємо значення j :

$$j = i + \frac{n}{2}. \quad (8)$$



Формула (8) дозволяє для числа створних точок n і номера в групі i ($i=1, n-1$) визначити відстань S_{ij} , яку не потрібно вимірювати на місцевості, якщо використовувати для визначення середнього значення постійної поправки формулу (5).

З табл. 1 видно, що для кожного значення n у першій групі маємо число ліній $(n-1)$. В останній групі залишається завжди одна лінія. Число груп – $n-1$. Тоді для кожного n маємо число ліній N_S як суму першого $a_1=n-1$ та останнього $a_k=1$ членів арифметичної прогресії. З урахуванням числа членів прогресії $k=n-1$:

$$N'_S = \frac{a_1 + a_k}{2} \cdot k = \frac{(n-1) + 1}{2} (n-1) = \frac{n}{2} (n-1).$$

Табл. 1 засвідчує, що для парних чисел n кількість ліній з нульовими коефіцієнтами становить $n/2$. Тому реальна кількість ліній, яка бере участь у визначенні $\sum V_i$, для парних n становить:

$$N_S = N'_S - \frac{n}{2} = \frac{n}{2} (n-1) - \frac{n}{2} = n \cdot \left(\frac{n}{2} - 1 \right). \quad (9)$$

Середні значення постійної поправки, отримані за формулами (2) та (5), повинні збігатися, оскільки (5) є наслідком (2). Розрахунок середнього значення за формулою (5) потребує меншого обсягу обчислень та знижує вірогідність помилок у розрахунках.

У нашому дослідженні було визначено величину постійної поправки, виходячи з конкретних даних. При цьому використано електронний тахеометр Trimble 3305 і відбивач, який входить до комплексу світловіддалеміра СТ-5. Створні точки (а їх було 6)

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N V_i &= \sum_{i=1}^{6-1} \sum_{m=1}^{6-i} (2m-6) S_{i,i+m} = \sum_{i=1}^5 \sum_{m=1}^{6-i} (2m-6) S_{i,i+m} = \sum_{m=1}^{6-1} (2m-6) S_{1,1+m} + \sum_{m=1}^{6-2} (2m-6) S_{2,2+m} + \\ &+ \sum_{m=1}^{6-3} (2m-6) S_{3,3+m} + \sum_{m=1}^{6-4} (2m-6) S_{4,4+m} + \sum_{m=1}^{6-5} (2m-6) S_{5,5+m} = (2 \cdot 1 - 6) S_{1,1+1} + (2 \cdot 2 - 6) S_{1,1+2} + \\ &+ (2 \cdot 3 - 6) S_{1,1+3} + (2 \cdot 4 - 6) S_{1,1+4} + (2 \cdot 5 - 6) S_{1,1+5} + (2 \cdot 1 - 6) S_{2,2+1} + (2 \cdot 2 - 6) S_{2,2+2} + \\ &+ (2 \cdot 3 - 6) S_{2,2+3} + (2 \cdot 4 - 6) S_{2,2+4} + (2 \cdot 1 - 6) S_{3,3+1} + (2 \cdot 2 - 6) S_{3,3+2} + (2 \cdot 3 - 6) S_{3,3+3} + \\ &+ (2 \cdot 1 - 6) S_{4,4+1} + (2 \cdot 2 - 6) S_{4,4+2} + (2 \cdot 1 - 6) S_{5,5+1} = -4S_{1,2} - 2S_{1,3} + 0S_{1,4} + 2S_{1,5} + \\ &+ 4S_{1,6} - 4S_{2,3} - 2S_{2,4} + 0S_{2,5} + 2S_{2,6} - 4S_{3,4} - 2S_{3,5} + 0S_{3,6} - 4S_{4,5} - 2S_{4,6} - 4S_{5,6}. \end{aligned}$$

Таблиця 2. Розрахунок середнього значення постійної поправки

Номер лінії	S_{ij}	Пряма (S_p), м	Зворотна (S_z), м	$S_p - S_z$ (d), мм	СКП (m_s), мм	$d_{гр}$, мм	a_{ij}	$a_{ij} S_p$, м	$a_{ij} S_z$, м	$a_{ij} d$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$S_{1,2}$	16,608	16,608	0	2,03	5,7	-4	-66,432	-66,432	0
2	$S_{1,3}$	33,414	33,412	+2	2,07	5,9	-2	-66,828	-66,824	-4
3	$S_{1,4}$	50,107	50,108	-1	2,10	5,9	0	0	0	0
4	$S_{1,5}$	66,190	66,190	0	2,13	6,0	+2	+132,380	+132,380	0
5	$S_{1,6}$	82,906	82,906	0	2,17	6,1	+4	+331,624	+331,624	0
6	$S_{2,3}$	16,845	16,844	+1	2,03	5,7	-4	-67,380	-67,376	-4
7	$S_{2,4}$	33,538	33,539	-1	2,07	5,9	-2	-67,076	-67,078	+2
8	$S_{2,5}$	49,622	49,623	-1	2,10	5,9	0	0	0	0
9	$S_{2,6}$	66,341	66,341	0	2,13	6,0	+2	+132,682	+132,682	0
10	$S_{3,4}$	16,738	16,738	0	2,03	5,7	-4	-66,952	-66,952	0
11	$S_{3,5}$	32,816	32,817	-1	2,07	5,9	-2	-65,632	-65,634	+2
12	$S_{3,6}$	49,534	49,534	0	2,10	5,9	0	0	0	0
13	$S_{4,5}$	16,123	16,124	-1	2,03	5,7	-4	-64,492	-64,496	+4
14	$S_{4,6}$	32,839	32,840	-1	2,07	5,9	-2	-65,678	-65,680	+2
15	$S_{5,6}$	16,760	16,760	0	2,03	5,7	-4	-67,040	-67,040	0
							Σ	-0,824	-0,826	+2
							V , мм	-41,2	-41,3	+0,1
							$V_{ср}$, мм		-41 мм	

на місцевості не закріплювались. Щоб зменшити вплив похибок центрування, тахеометр і відбивач встановлювались у створі на шести штативах з підставками. Вимірювання ліній виконувалося із кожного штатива, де стояв тахеометр, до відбивача, який почергово закріплювався на вільних від приладу підставках. Лінії вимірювались у всіх можливих комбінаціях, причому кожна з них по два рази – у прямому і зворотному напрямках. Було виміряно ліній:

$$N_{2S} = 2 \frac{n}{2} \cdot (n-1) = n \cdot (n-1).$$

Для $n=6$ $N_{2S}=30$ ліній (табл. 2). Кожна з ліній вимірювалась по п'ять разів і визначалися середні значення із заокругленням до міліметрів (їх наведено у 3-му та 4-му стовпчиках). Опрацювання подвійних вимірювань починалося з визначення різниць прямих і зворотних вимірювань $S_p - S_z = d$. Далі за формулою визначалися СКП кожної з вимірюваних ліній з точністю їх вимірювання, прийнятою для тахеометра Trimble 3305:

$$m_s = 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм} \cdot S_{\text{км}}.$$

Граничні значення різниць d_{ij} обчислювались для довірчої імовірності $P=0,95$ за формулою

$$|d_{гр}| = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot m_s \approx 2,83 \cdot m_s.$$

Як видно з табл. 2, окремі значення d_{ij} не перевищують за модулем граничних, наведених у 7-му стовпчику. Далі, користуючись формулою (4), визначимо коефіцієнти a_{ij} , що знаходяться перед S_{ij} , для $n=6$:



Значення коефіцієнтів наведено у 8-му стовпчику. Перемножимо значення a_{ij} на прямі й зворотні відстані (9-й та 10-й стовпчики) і a_{ij} на різниці d_{ij} (11-й стовпчик). Визначимо суму членів 9,10 та 11-го стовпчиків та поділимо ці суми на число постійних поправок N , яке обчислюється згідно з поясненням до формули (2), а саме $N=6 \cdot (6-1)(6-2)/6=20$. Маємо два значення постійної поправки для прямих та зворотних вимірювань ліній – $V_{\Pi}=-41,2$ мм, $V_3=-41,3$ мм. Середнє з них $V_{\text{сеп}}=-41,25$ мм ≈ -41 мм і буде значенням постійної поправки. Контролем обчислень є те, що

$$a_{ij}S_{\Pi} - a_{ij}S_3 = a_{ij} \cdot d_{ij};$$

$$V_{\Pi} - V_3 = \sum_1^{N_S} a_{ij}d_{ij}.$$

З табл. 2 випливає, що коефіцієнти $a_{14}=a_{25}=a_{36}=0$, а тому відповідні їм лінії S_{14} , S_{25} , S_{36} можна було б і не вимірювати.

СКП середнього значення постійної поправки $m_{V_{\text{сеп}}}$ визначаємо за формулою, наведеною в [1]. За СКП вимірювання сторони m_S візьмемо найбільше значення, яке дорівнює 2,17 мм (див. табл. 2). Тоді

$$m_{V_{\text{сеп}}} \leq m_S \sqrt{\frac{6}{(n-1)(n-2)}} = 2,17 \text{ мм} \sqrt{\frac{6}{(6-1)(6-2)}} = 1,2 \text{ мм}.$$

Висновок. Наслідком наших теоретичних досліджень є нова формула для обчислення середнього значення постійної поправки електронних віддалемірів у компактному вигляді для випадку рівноточних вимірювань ліній у всіх можливих комбінаціях. Пропонується вимірювати лінії з повторенням так, щоб кожному із них вимірювати в прямому та зворотному напрямках з підставок, які встановлені на штативах, без закріплення точок на місцевості. Це дозволяє контролювати якість вимірювань у польових умовах за різницями подвійних дій та виключити вплив похибок центрування на точність визначення постійної поправки. Розроблено методику обчислення середнього значення поправки з контролем.

Перспективи подальших досліджень. Доцільно конкретизувати методику визначення постійної поправки для випадку нерівноточних вимірювань ліній у всіх можливих комбінаціях з повторенням.

Література

1. *Бронштейн, Г.С.* Комбинированные способы измерения расстояний / Г.С. Бронштейн. – М.: Недра, 1991. – 92 с.
2. *Ворошилов, А.П.* Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А.П. Ворошилов // Геопроби. – 2005. – № 4. – С. 46-47.
3. *Сборник инструкций по производству поверок геодезических приборов* / Гл. упр. геодез. и картогр. при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1988. – 77 с.

Надійшла 21.11.14

* * *

УДК 528.3

К. О. Бурак

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ КООРДИНАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ В УКРАЇНІ

С учетом инструктивных требований, которые выдвигаются к крупномасштабному картографированию, обосновывается необходимость определения взаимного положения пунктов (как геодезических сетей 3 класса, так и геодезических сетей сгущения) со среднеквадратической погрешностью, которая бы при уравнивании съемочного обоснования составляла 1:70 000 расстояния между соседними пунктами, а также предлагается закрепить в нормативных документах использование для координатного обеспечения инженерных изысканий сетей референцных станций ГНСС.

The case for determination of relative positions of points (geodetic networks of 3rd class as well as geodetic network of extension) with root-mean-square error which would consists 1:70 000 of the distance between near-by points when adjusting control for survey is made with due consideration to recommended practices to the large scale mapping. Also it is suggested to enshrine in normative documents the application of reference stations of GNSS for coordinate support of engineering research.

Постановка проблеми. Інженерно-геодезичні вишукування завжди становили велику частку геодезичних робіт, яка постійно зростає. Пояснюється це прогресом сучасних наземних методів картографування (поява безпілотних літальних апаратів, лазерного сканування), що значно дешевші та оперативніші за традиційні технології, а ще зростанням інвестицій у розвиток економіки. У свою чергу це зу-

мовлює помітне зростання обсягів проектно-вишукувальних робіт. До того ж, і карта, і план потребують оновлення, якщо їхня інформаційна складова змінилася на 35 %.

Основні нормативні документи, на базі яких розробляються методики інженерно-геодезичних вишукувальних робіт, це ДБН [2], Інструкція з топографічного знімання (ГКНТА-2.04.02-98) [4] та Основні положення створення Державної геодезичної мережі (ДГМ) України, затверджені

© К. О. Бурак, 2015