

## ТОЧНІСТЬ ПОЛІГОНОМЕТРІЇ: ЗГУЩЕННЯ МЕРЕЖІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТОЧНОСТІ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

На прикладі виконання світлодалеометричної полігонометрії 4 класу досліджується можливість точного проложення ходів при точності кутових вимірювань нижче нормативної.

By the example of the fourth class EDM polygonometry it is studied the possibility of laying accurate polygon traverses when the accuracy of angular measurements is lower than the normative one.

**Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень і публікацій.** З розвитком космічної геодезії суттєво скоротились масштаби використання традиційних методів створення планових геодезичних мереж. Це стосується і полігонометрії, яка була основним методом побудови мереж згущення передусім на закритій місцевості, особливо в населених пунктах.

Як доведено дослідженнями [1,3,6,7 та ін.], тепер у містах немає потреби будувати потужні полігонометричні мережі. Це, наприклад, підтверджено в процесі створення нової сучасної геодезичної мережі однакової точності в місті Києві методом супутникових технологій. Відстані між пунктами мережі при цьому становили в основному 1,5-3 км. Оскільки це невеликі відстані, стає очевидним, що для подальшого згущення планової мережі можна обмежитись прокладанням полігонометрії між пунктами супутникової мережі у вигляді окремих ходів або мереж з одною вузловою точкою.

Крім того, у праці [7] зазначено, що тепер і периметр полігонометричних ходів і кількість сторін менші, ніж це передбачено інструкцією [2].

Враховуючи значення і беручи до уваги, що в сучасній світлодалеометричній полігонометрії використовують переважно електронні тахеометри (тобто одночасно одним приладом вимірюють лінії та кути), і було вирішено дослідити, яка реальна точність вимірювання потрібна, зокрема точність кутових вимірів.

Світлодалеометричні вимірювання виконують з високою точністю, яка в переважній більшості електронних тахеометрів характеризується середньою квадратичною похибкою

$$m_S = \pm(2 + 2 \cdot 10^{-6} D) \text{ мм},$$

тут  $D$  – відстань до відбивача в кілометрах.

**Мета дослідження** – показати, що кутові вимірювання в сучасній світлодалеометричній полігонометрії можна виконувати з меншою точністю, меншою кількістю прийомів і кутомірними приладами меншої точності. Підстава для такого твердження – висока точність лінійних світлодалеометричних вимірювань. Вона зростає в багато разів порівняно з традиційними методами, які застосовувались раніше. Це спричинило суттєве вкорочення поздовжнього зсуву полігонометричного ходу і,

отже, створило запас точності для кутових вимірювань.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** До появи електронних тахеометрів лінії та кути в полігонометрії вимірювали нарізно, що впливало на точність вимірювань. Крім того, поздовжній  $t$  і поперечний  $u$  зсуви полігонометричного ходу були приблизно однакові, а кутові вимірювання часом переважали лінійні за точністю.

У даному дослідженні абсолютну  $f_S$  і відносну  $f_{\text{відн}}$  нев'язки ходу ми обчислювали за відомими формулами

$$f_S = \sqrt{t^2 + u^2}; \quad f_{\text{відн}} = \frac{f_S}{[S]} = \frac{1}{N}, \quad (1)$$

де  $[S]$  – периметр полігонометричного ходу.

Як бачимо з формул (1), відносна похибка залежить від нев'язки  $f_S$ , а значить і від величин  $t$  і  $u$ . Якщо раніше відношення  $Q = t/u \approx 1$ , то з використанням у полігонометрії світлодалеометрів, а згодом і електронних тахеометрів точність вимірювання ліній і значення  $Q$  стали швидко зростати, тоді як вимоги до точності кутових вимірювань і до величини відносної нев'язки ходу залишались такими само.

Розрахунок величин  $t$  і  $u$  здійснено за формулами

$$t = m_S \sqrt{n}; \quad u = \frac{m_\beta''}{\rho''} L \sqrt{\frac{n+3}{12}}, \quad (2)$$

де  $m_\beta$  – середня квадратична похибка вимірювання кутів;  $\rho = 206265''$ ;  $n$  – кількість ліній;  $L$  – замкнута хода.

Виконано розрахунок величин  $t$  і  $u$  для світлодалеометричного полігонометричного ходу 4 класу з параметрами  $n = 15$ ,  $[S] = L = 14$  км,  $m_S = \pm(2 + 2 \cdot 10^{-6} D) \approx 4$  мм,  $m_\beta = 3''$ . При цьому брали до уваги, що будь-який ламаний полігонометричний хід точніший за еквівалентний йому витягнутий [5]. Тому подальші розрахунки виконували для витягнутих ходів і зрештою одержали:

$$\begin{aligned} t &= 4 \text{ мм} \sqrt{15} = 16 \text{ мм}; \\ u &= \frac{3''}{206265''} 14 \text{ км} \sqrt{\frac{15+3}{12}} = 249 \text{ мм}; \\ f_S &= \sqrt{16^2 + 249^2} \approx 250 \text{ мм}; \\ f_{\text{відн}} &= 0,250 \cdot 14000 = 1:56000. \end{aligned}$$

Далі зменшили точність вимірювання горизонтальних кутів до  $m_\beta = 5''$  (точність полігонометрії I розряду і точність вимірювання кутів у багатьох



електронних тахеометрах) та провели розрахунки для цього самого ходу:

$$u = \frac{5''}{206265''} \cdot 14 \text{ см} \cdot \sqrt{\frac{15+3}{12}} = 415 \text{ мм};$$

$$f_s = \sqrt{16^2 + 415^2} \approx 415 \text{ мм};$$

$$f_{\text{відн}} = 0,415 \cdot 14000 = 1:33735.$$

Отже, і в цьому випадку відносна нев'язка не перевищила допустимого значення в 1:25 000 для полігонометрії 4 класу.

Таким чином, є підстава для зміни вимог до точності й технології куткових вимірювань у сучасній світловіддалемірній полігонометрії.

Для підтвердження даної тези було проведено експериментальні вимірювання трьох ходів міської полігонометрії 4 класу. Характеристики ходів ілюструє табл. 1.

Таблиця 1. Характеристики експериментальних ходів

Номер ходу	Лінія ходу	Кількість ліній	Периметри ходів, км
1	(п. Монумент – п. Сірка) <sub>А</sub>	15	3,16
2	(п. Монумент – п. Сірка) <sub>В</sub>	8	2,50
3	п. Сірка – п. Практикер	7	4,23

Усі ходи спірались на пункти, координати яких були відомі з високоточних супутникових спостережень (похибки координат <5 мм), тому вплив похибок вихідних даних на точність і результати експериментальних вимірювань вважали за мінімальні.

У кожному експериментальному ході лінії вимірювали електронним тахеометром Sokkia SET 610 трьома прийомами, а кути – за різними програмами. В ході 1 горизонтальні кути вимірювали шістьма прийомами оптичним теодолітом Theo 010В та електронним тахеометром Sokkia SET 610. У ходах 2 і 3 горизонтальні кути вимірювали трьома прийомами теодолітом Theo 010В і шістьма прийомами кутомірною частиною тахеометра Sokkia SET 610. Точність вимірювання кута одним прийомом оптичним теодолітом Theo 010В становила <2", а тахеометром Sokkia SET 610 – 5".

Результати експериментальних вимірювань наведено в табл. 2.

Проаналізувавши дані таблиці 2, бачимо, що нев'язки  $f_{\beta}$  за результатами вимірювання кутів як теодолітом, так і тахеометром практично однакові.

Таблиця 2. Точнісні характеристики ходів

Номер ходу	1		2		3	
	Theo 010В	Sokkia SET 610	Theo 010В	Sokkia SET 610	Theo 010В	Sokkia SET 610
Кількість прийомів	6	6	3	6	3	6
$f_{\beta}$	11,2"	13,7"	11,3"	11,3"	2,1"	1,4"
$f_x$ , м	0,014	0,012	-0,0130	-0,038	-0,105	-0,108
$f_y$ , м	0,077	0,064	-0,048	-0,035	-0,089	-0,066
$f_{\text{відн}}$ , м	1:40 411	1:48 605	1:36 260	1:48 115	1:30 686	1:33 349

Примітка:  $f_{\beta}$  – кутова нев'язка;  $f_x$ ,  $f_y$  – нев'язки по осях координат.

Тільки при вимірюванні горизонтальних кутів у ходах 2 і 3 трьома прийомами теодолітом Theo 010В відносна похибка ходу не перевищила допуску 1:25 000. Те саме можна сказати і про відносні нев'язки всіх трьох ходів, обчислені за результатами вимірювання горизонтальних кутів 5-секундним тахеометром Sokkia SET 610.

**Висновки.** 1. У сучасній світловіддалемірній полігонометрії для потреб згущення мереж горизонтальні кути можна вимірювати з меншою точністю і одержувати відносні нев'язки ходу, менші за допустимі. Це досягається завдяки високій точності лінійних світловіддалемірних вимірювань.

2. Побудову мереж згущення методом полігонометрії достатньо здійснювати прокладанням світловіддалемірної полігонометрії 4 класу.

### Література

1. Бородко, А.В. О реконструкции геодезических сетей городов Московской области / А.В. Бородко, Г.Н. Ефимов // Геодез. и картогр. – 2002. – № 6. – С. 26-29.
2. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. ГКНТА-2.04-02.98. – К., 2001. – 166 с.
3. Рябчий, В.А. Відновлення геодезичних мереж міст / В.А. Рябчий, В.В. Рябчий // Вісн. геодез. та картогр. – 2003. – № 2. – С. 22-24.
4. Справочник геодезиста. – В 2 кн. – М.: Недра, 1985. – Кн. 2. – 440 с.
5. Тревого, И.С. Городская полигонометрия / И.С. Тревого, П.М. Шевчук. – М.: Недра, 1986. – 200 с.
6. Тревого, І. Сучасні геодезичні мережі великих міст / І. Тревого, І. Зумент, О. Дишлик // Суч. досягн. геодез. науки та вир-ва. – 2006. – Вип. 1. – С. 38-45.
7. Тревого, І.С. Забезпечення точності знімальної геодезичної основи і меж ділянок у великих містах методом полігонометрії / І.С. Тревого, О.В. Кучер // Вісн. геодез. та картогр. – 2008. – № 1. – С. 5-7.

Надійшла 21.01.13