

**ПРО ОСОБЛИВОСТІ НАГРОМАДЖЕННЯ ПОМИЛОК
У ХОДАХ ПОЛІГОНОМЕТРІЙ,
СТВОРЮВАНИХ З ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННИХ ТАХЕОМЕТРІВ**

© Я.М. Костецька, С.Л. Петров, Ю.Р. Пішко, М.В.Шпіть

Сети полигонометрии создаются в настоящее время с применением электронных тахеометров разных фирм. В этих приборах точность линейных измерений выше точности угловых измерений и практически одинакова в тахеометрах одного класса точности. Эта особенность точности величин, измеренных электронными тахеометрами, влияет на характер накопления погрешностей в сетях полигонометрии. В статье приведены результаты исследования продольных и поперечных сдвигов ходов полигонометрии с разными длинами сторон и разным количеством их в ходе. Они показали, что продольные сдвиги ходов полигонометрии при изменении длин сторон хода изменяются очень медленно, а поперечные возрастают быстро.

The networks of polygonometry create now with the help of total stations. In these gears of different firms the exactitude of linear measurements is higher than an exactitude of angular measurements and practically is identical in total stations of one class of an exactitude. This feature of an exactitude of magnitudes measured total station, influences a character of accumulation of errors in the networks of polygonometry. In the article are indicated the outcomes of a research of longitudinal and transversal shifts of polygonometry courses with different lengths of the parties and different quality them in a course. They have shown, that the longitudinal shifts of courses traverse for want of modification of lengths of the parties of a course are changed slowly, and transversal will increase fast.

Постановка проблеми. Метод полігонометрії широко використовують при створенні мереж згущення. В наш час довжини сторін і кути в мережах полігонометрії вимірюють електронними тахеометрами. Точність вимірювання сторін і кутів цими пристроями відрізняється від точності вимірювань пристроями, які застосовувались раніше. Тому виникла необхідність дослідити закономірності нагромадження помилок у таких мережах, створених електронними тахеометрами, що дозволить уточнити нормативні вимоги до мереж полігонометрії, які існують зараз [1], а також вдосконалити методику створення та математичного опрацювання мереж полігонометрії.

Першим етапом таких досліджень є аналіз закономірностей нагромадження помилок в ходах полігонометрії.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Питання методики створення геодезичних мереж завжди є в центрі уваги геодезистів. Методика геодезичних робіт постійно

вдосконалюється, що пов'язане з модернізацією геодезичних приладів та новими досягненнями геодезичної науки. Проведене нами дослідження має на меті обґрунтування необхідності змін в методиці створення та опрацювання мереж полігонометрії у зв'язку з широким впровадженням в геодезичне виробництво сучасних електронних тахеометрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Дослідженням точності мереж полігонометрії, вимірювання в яких виконують оптичними теодолітами та електронними віддалемірами, присвячено дуже багато наукових праць. Найбільш повне узагальнення результатів цих досліджень маємо в монографії [8]. Ці дослідження послужили основою для встановлення нормативних характеристик мереж полігонометрії [1]. В [3] проведено дослідження, що дозволяє встановлювати діапазони значень довжин сторін, вимірюваних електронними віддалемірами та тахеометрами, яким можна присвоювати однакові ваги при врівноваженні мереж полігонометрії. Тобто це дослідження вже ставить питання про вдосконалення методики врівноваження мереж полігонометрії, побудованих електронними тахеометрами.

Невирішенні частини загальної проблеми. Технічні властивості електронних віддалемірів та тахеометрів 70-х, 80-х рр. суттєво відрізняються від властивостей тахеометрів сьогодення. Так точність вимірювання сторін світловіддалеміром СТ5 становить $m_s = 10 \text{ мм} + 5 \cdot 10^{-6} S$, точність вимірювання сторін тахеометром Та3, який створений у 80-і рр., є такою ж [2]. Середня квадратична помилка (СКП) вимірювання сторін сучасними електронними тахеометрами є не більшою від $m_s = 5 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$. Найчастіше точність лінійних вимірювань становить $m_s = 3 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$, тобто щонайменше є два рази вищою. Тут S - довжина лінії, яку вимірюють. Тому опубліковані праці з методики створення мереж полігонометрії не містять досліджень, які виявили б особливості нагромадження помилок в мережах полігонометрії, створених сучасними електронними тахеометрами. Проведення таких досліджень дозволить досягнути відповідності між методикою створення мереж полігонометрії та технічними властивостями сучасних електронних тахеометрів.

Постановка завдання. Завданням проведених досліджень є порівняння поперечного і поздовжнього зсувів кінця ходу полігонометрії при різній кількості сторін в ході, різних довжинах сторін ходу та різній точності вимірювання кутів та сторін електронним тахеометром.

Середні квадратичні помилки вимірювання сторін електронними тахеометрами характеризують середніми квадратичними помилками, обчисленими за формулою:

$$m_s = a + b \cdot 10^{-6} S, \quad (1)$$

де a – сумарна дія джерел помилок, що не є функціями довжини лінії, а $b \cdot 10^{-6} S$ – сумарна дія джерел помилок, які викликають помилки в вимірюванні довжин ліній, пропорційні до її довжини. Як бачимо, загальна помилка довжини лінії, вимірюної електронним тахеометром, має дві складові. Стандарт однієї з них є однаковим на всіх вимірюваних лініях, а стандарт другої - зростає із збільшенням довжини лінії, яку вимірює тахеометр. Це є причиною того, що загальна помилка вимірювання довжини лінії тахеометром зростає із збільшенням довжини сторін.

У більшості електронних тахеометрів точність вимірювання довжин сторін є високою і однаковою при різній точності вимірювання кутів. Так, в точних тахеометрах фірми *Sokkia* точність вимірювання довжин сторін в стандартному режимі є $m_s = 2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$. Точність вимірювання кутів характеризується середніми квадратичними помилками m_β (СКП) $1'', 2'', 3'' \text{ i } 5''$ [6]. Такою ж є точність тахеометрів, які пропонує фірма *Trimble* [7]. Тільки в деяких тахеометрах фірми *Topkon* (5603 DR і 5605 DR), в яких $m_\beta = 5''$, СКП вимірювання довжин сторін є $m_s = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$. У зв'язку з цим в проведених нами дослідженнях СКП довжин сторін полігонометричних ходів були прийняті два значення: $m_{S1} = 2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$ і $m_{S2} = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$. СКП кутів приймалися $1'', 2'', 3'' \text{ i } 5''$.

Використовуючи прийняті значення СКП кутів та довжин сторін, нами обчислені поздовжні і поперечні зсуви для модельного витягнутого ходу полігонометрії за формулами:

$$t = m_s \sqrt{n}, \quad (2)$$

$$u = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{n+3}{12}} \sum_{i=1}^n s_i, \quad (3)$$

де t , u – відповідно поздовжній і поперечний зсуви, n – кількість сторін в ході, m_β , m_s – СКП вимірюваних відповідно кутів і сторін відповідно [4]. При цьому обчислювалися два значення поздовжнього зсуву: одне, t_1 при $m_{S1} = 2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$, і друге, t_2 при $m_{S2} = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$.

Таблиця 1

Поздовжні t і поперечні u зсуви кінцевої точки ходу полігонометрії при $n = 3$

$S, \text{м}$	$t_1, \text{мм}$	$t_2, \text{мм}$	$u, \text{мм}$			
			$m_\beta = 1''$	$m_\beta = 2''$	$m_\beta = 3''$	$m_\beta = 5''$
25	3,6	5,3	0,2	0,5	0,8	1,3
50	3,7	5,4	0,6	1,1	1,5	2,6
100	3,8	5,7	1,0	2,1	3,1	5,1
200	4,2	6,2	2,1	4,1	6,2	10,3
300	4,5	6,8	3,1	6,2	9,3	15,4
400	4,8	7,3	4,1	8,2	12,3	20,6
500	5,2	7,8	5,1	10,3	15,4	25,7
600	5,5	8,3	6,2	12,3	18,5	30,9
700	5,9	8,8	7,2	14,4	21,6	36,0
800	6,2	9,4	8,2	16,5	24,7	41,1
900	6,6	9,9	9,3	18,5	27,8	46,3
1000	6,9	10,4	10,3	20,6	30,9	51,4
1500	8,7	13,0	15,4	30,9	46,3	77,1
2000	10,4	15,6	20,6	41,1	61,7	102,8
2500	12,1	18,2	25,7	51,4	77,3	128,6
3000	13,9	20,8	30,8	61,7	92,6	154,3

Таблиця 2

Поздовжні і поперечні зсуви кінцевої точки ходу полігонометрії при $n = 5$

$S, \text{м}$	$t_1, \text{мм}$	$t_2, \text{мм}$	$u, \text{мм}$			
			$m_\beta = 1''$	$m_\beta = 2''$	$m_\beta = 3''$	$m_\beta = 5''$
25	4,6	6,9	0,5	1,0	1,5	2,6
50	4,7	7,0	1,0	2,0	3,0	4,9
100	4,9	7,4	2,0	4,0	5,9	9,9
200	5,4	8,0	4,0	7,9	11,9	19,8
300	5,8	8,7	5,9	11,9	17,8	29,7
400	6,3	9,4	7,9	15,8	23,8	39,6
500	6,7	10,1	9,9	19,8	29,7	49,5
600	7,2	10,7	11,9	23,8	35,6	59,4
700	7,6	11,4	13,9	27,7	41,6	69,3
800	8,0	12,1	15,8	31,7	47,5	79,2
900	8,5	12,7	17,8	35,6	53,4	89,1
1000	8,9	13,4	19,8	39,6	59,4	99,0
1500	11,2	16,8	29,7	59,4	89,1	148,4
2000	13,4	20,1	39,6	79,2	118,8	197,9
2500	15,7	23,5	49,5	99,0	148,4	247,4
3000	17,9	26,8	59,4	118,8	178,1	296,9

У дослідженні розглянуті витягнуті ходи полігонометрії, в яких кількість сторін $n = 3, 5$ і 10 . Довжини сторін у ходах приймалися рівними 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 2500 і 3000 м.

У табл. 1 наведені результати обчислень поздовжніх і поперечних зсувів полігонометричних ходів, в яких кількість сторін n дорівнює 3.

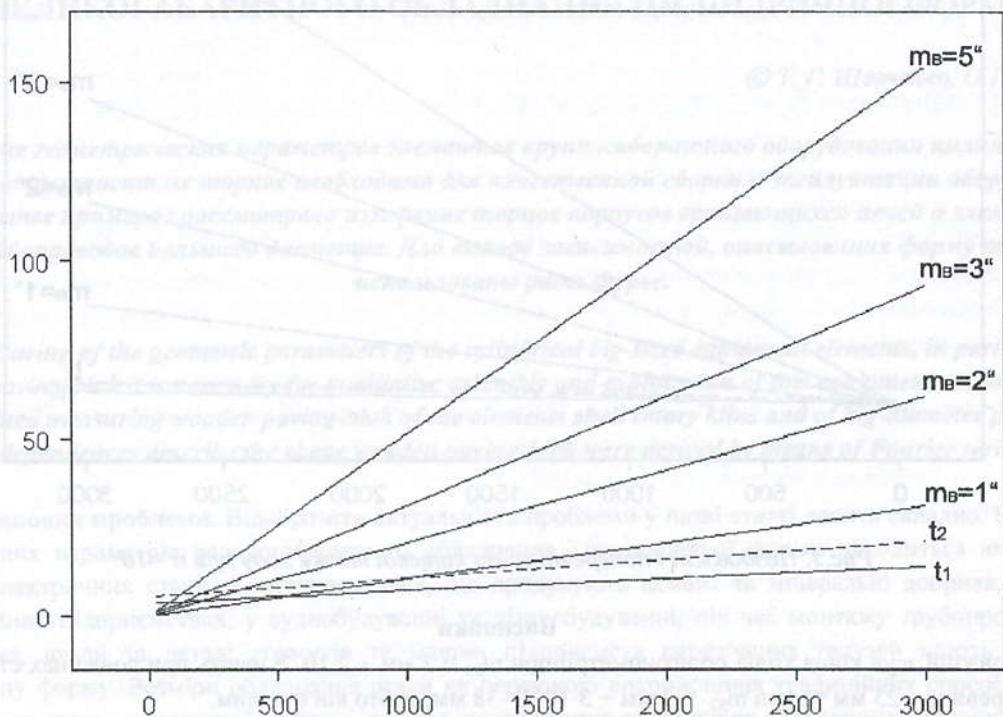
У табл. 2 наведені результати обчислень в ходах полігонометрії, які складаються із п'яти сторін, а в табл. 3 – із десяти сторін.

Таблиця 3

Поздовжні і поперечні зсуви кінцевої точки ходу полігонометрії при $n = 10$

$S, м$	$t_1, мм$	$t_2, мм$	$u, мм$			
			$m_\beta=1''$	$m_\beta=2''$	$m_\beta=3''$	$m_\beta=5''$
25	6,5	9,7	1,3	2,5	3,8	6,3
50	6,6	10,0	2,5	5,0	7,6	12,6
100	7,0	10,4	5,0	10,1	15,1	25,2
200	7,6	11,4	10,1	20,2	30,3	50,5
300	8,2	12,3	15,1	30,3	45,4	75,7
400	8,9	13,3	20,2	40,4	60,6	100,9
500	9,5	14,2	25,2	50,5	75,7	126,2
600	10,1	15,2	30,3	60,6	90,8	151,4
700	10,8	16,1	35,34	70,6	106,0	176,6
800	11,4	17,1	40,4	80,7	121,1	201,8
900	12,0	18,0	45,4	90,8	136,2	227,1
1000	12,6	19,0	50,5	100,9	151,4	252,3
1500	15,8	23,7	75,7	151,4	227,1	378,5
2000	19,0	28,5	100,9	201,8	302,8	504,6
2500	22,1	33,2	126,2	252,3	378,5	630,8
3000	25,3	37,9	151,4	302,8	454,1	756,9

За даними кожної із таблиць побудовані графіки (рис. 1, 2 та 3). На них підписи прямих поперечного зсуву вказують, при якій СКП вимірюваного кута отримані зсуви. Поздовжні зсуви нанесені штриховими лініями і підписані t_1 та t_2 . Перша з них відповідає СКП довжині сторін $m_{S1} = 2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$, і друга - $m_{S2} = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$.

Рис. 1. Поздовжні і поперечні зсуви кінцевої точки ходу при $n = 3$

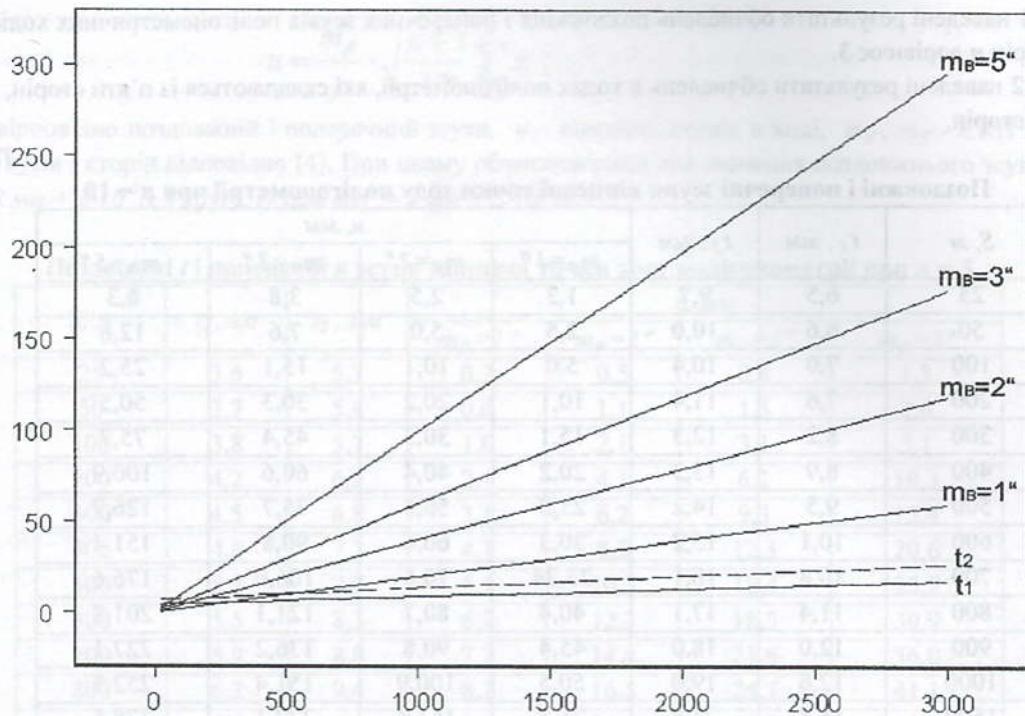


Рис.2. Поздовжні і поперечні зсуви кінцевої точки ходу при $n = 5$

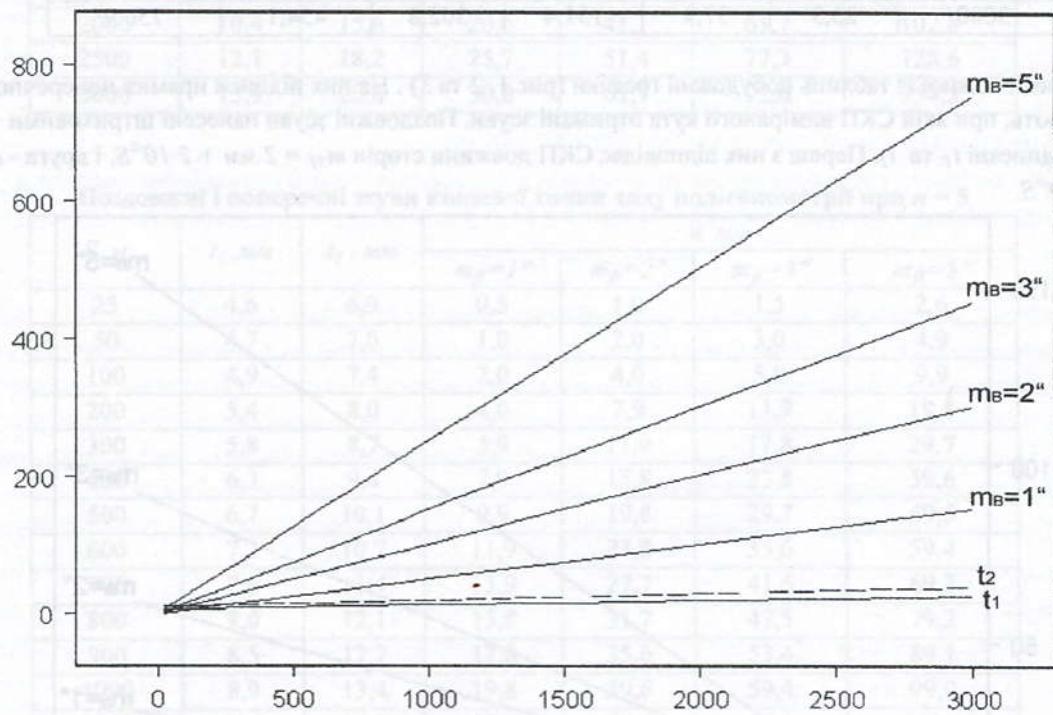


Рис.3. Поздовжні і поперечні зсуви кінцевої точки ходу при $n = 10$

Висновки

- Поздовжній зсув кінця ходів полігонометрії при $m_{S1} = 2 \text{ мм} + 2 \cdot 10^{-6} S$ навіть при довжинах сторін 3 км і $n = 10$ не перевищує 25 мм та при $m_{S2} = 3 \text{ мм} + 3 \cdot 10^{-6} S$ -38 мм, тобто він є малим.
- Поперечний зсув кінця ходів полігонометрії швидко зростає при збільшенні довжин сторін в ході та їх кількості, а також при зростанні СКП кутів. При довжинах сторін 3 км і $n = 10$ та $m_B = 3''$ (як в 4 класі

полігонометрії) поперечний зсув стає рівним аж 454 мм. При середній довжині сторін 4 класу 500 м і $n = 10$ поперечний зсув дорівнює 76 мм. Якщо кількість сторін в ході 4 класу дорівнює 15, що допускає Інструкція [1], то при середній довжині сторони 500м поперечний зсув стає рівним 89 мм. Коли в ході будуть довші сторони, то поперечний зсув ще зросте. Отже, для ходів полігонометрії 4 класу кількість сторін в ході 15 не можна вважати допустимою, особливо якщо в ході є сторони довші від 500 м.

3. Значення поздовжніх і поперечних зсувів близькі тільки при коротких сторонах полігонометричних ходів та високій точності вимірювання кутів. При кількості сторін в ході біля 5 та точності вимірювання кутів 3" поздовжні і поперечні зсуви співмірні при довжинах сторін до 200 м, а при точності кутів 5" - до 100 м. Такі довжини сторін трапляються в ходах полігонометрії 1 та 2 розрядів. При кількості сторін в ході 10 і більшій і при коротких сторонах поперечні зсуви є значно більшими від поздовжніх. Тому напрошується висновок, що регламентувати потрібно не кількість сторін в ході, а загальну довжину ходу полігонометрії.

1. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 : ГКНТА-2.04-02-98: Управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті міністрів України. К.: 1999.-156 с.
2. Костецька Я.М. Геодезичні прилади ч. II , Електронні геодезичні прилади: Підручник. - Львів: Престиж Інформ, 2000. - 322с.
3. Костецька Я.М. Дегтярьова Л. М. До питання визначення ваг сторін при врівноваженнях мереж. //Геодезія, картографія і аерофотознімання: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів, 2001. – Вип. 61– С. 73-78.
4. Оцінка точності проектів спеціальних геодезичних мереж: Практікум з інженерної геодезії / Тартачинський Р.М., Дейнека Ю.П., Смірнова О.М. Тартачинська З.Р., Хом'як В.С., Губар Ю.П. - Львів, ІП "Стін", 2001.-176 с.
5. Технічний опис тахеометрів фірми Лайка. М.: 138 с.
6. Технічний опис тахеометрів фірми Соккіа. 160 с.
7. Технічний опис тахеометрів фірми Трімбл. М.:ЗАО "Промнефтегрупп", 104 с.
8. Тревого И.С., Шевчук П.М. Городская полигонометрия / М.: Недра, 1986.- 200 с.