

УДК 528.1 (075.8)

ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТЕЙ ПОШУКУ ГРУБИХ ПОХИБОК У ВИСОТНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖАХ

К. Бурак, М. Гринішак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Ключові слова: груба похибка, похибка одиниці ваги, нев'язка у полігоні, нівелірна геодезична мережа.

Постановка проблеми

З проблеми пошуку грубих похибок у геодезичних мережах опубліковано багато робіт. Детальний аналіз останніх публікацій з цього питання наведено в роботах авторів [6, 2]. Там також теоретично обґрунтовано можливість виявити неякісні виміри “незначної” величини (від 5 *m* до 10 *m*, де *m* – середня квадратична похибка виміру) у висотних геодезичних мережах. У цій статті наведено результати експериментальної перевірки на квазімоделі висунутих теоретичних положень.

Постановка завдання проблеми

Дослідити можливості пошуку грубих похибок у нівелірних геодезичних мережах за допомогою аналізу поправок з урівноваження методами найменших квадратів та найменших модулів, а також за результатами аналізу нев'язок у замкнутих полігонах мережі.

Виклад основного матеріалу проблеми

Як тестову використаємо висотну мережу (рис. 1), наведену в підручниках [3, 4]. Ця мережа спирається на три пункти висотної основи II класу (M18, M22 та M96). Невідомі відмітки чотирьох точок, які зв'язані між собою та з відомими пунктами II класу дев'ятьма висотними ходами III класу.

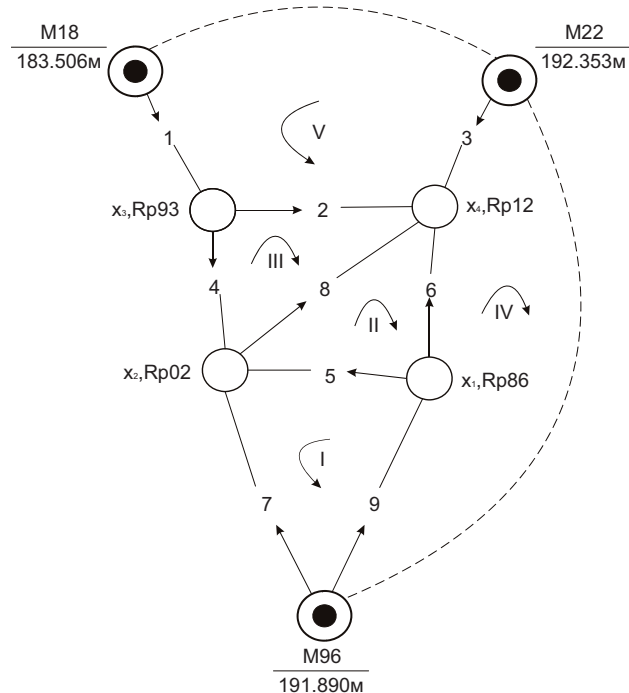


Рис. 1. Схема нівелірної мережі

Дослідження виконували математичним моделюванням (для нормального закону розподілу) випадкових похибок у якісних ходах мережі з використанням методу створення квазімоделі. Тобто спочатку шукали так звані “ідеальні” перевищення для кожного з ходів мережі (як суму вимірюного перевищення в ході з табл. 1 та поправки з результатів урівноваження). Далі здійснювали генерацію нормально розподілених випадкових чисел з урахуванням середньої квадратичної похибки для кожного з ходів. Тобто величину змодельованого перевищення – h_m для ходу визначали за виразом:

$$h_m = h_i + \Delta_m = h_i + a \cdot m \sqrt{L}, \quad (1)$$

де h_i – ідеальне перевищення в ході; Δ_m – змодельована величина похибки; a – число з математичним сподіванням 0 та стандартом відхилення 1, отримане випадковим способом за нормальним законом розподілу; L – довжина ходу, км. Далі в один з ходів мережі вносились груба похибка.

На створених у такий спосіб моделях і досліджували можливість пошуку промаху такими методами:

1. За допомогою аналізу поправок з результатів урівноваження мережі методом найменших квадратів.
2. На основі аналізу поправок з результатів урівноваження мережі методом найменших модулів.
3. Виконуючи аналіз нев'язок у полігонах та аналіз змін помилки одиниці ваги для мережі.

Під час пошуку грубих похибок за першими двома методами критерієм для відбракування ходу мережі була така залежність [7]:

$$|v_i| > 3\bar{\mu} \sqrt{\frac{1}{p_i} - \frac{1}{[p]}}, \quad (2)$$

де $\bar{\mu}$ – стандарт одиниці ваги; p_i – вага ходу (знаходили з виразу $15/L$, де L довжина ходу, км, для якого перевіряємо умову (2)); $[p]$ – сума ваг усіх ходів мережі; \bar{m} – стандарт результатів вимірів, для III класу нівелювання прийнято 3,3 мм.

Введемо деякі пояснення щодо третього методу пошуку промахів. Річ у тому, що, як відомо з літератури [3, 5], одним з критеріїв точності результатів вимірів є середня квадратична похибка одиниці ваги μ , яку для нівелірної мережі можна обчислити за формулою:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_{hi}^2 * P)}{N}}, \quad (3)$$

де f_{hi} – нев'язка в полігоні; P_i – вага полігона; N – кількість полігонів у мережі.

Почергово вилучаючи з мережі ходи, які беруть участь у полігоні з максимальною нев'язкою, і перераховуючи для мережі величину μ , знайдемо, в якому випадку μ буде найменшим.

Дослідження виконали, створюючи по 8 квазімоделей з одним спотвореним грубою похибкою величиною 5 м або 10 м ходом для випадку, коли промах містився у внутрішньому ході мережі (хід № 8). Також було створено та досліджено 20 квазімоделей зі спотвореним грубою похибкою величиною 5 м зовнішнім ходом мережі (хід № 1).

Результати пошуку промахів величиною 5 м у моделях для випадку внутрішнього ходу наведено в табл. 2, для зовнішнього ходу – в табл. 4, результати пошуку промахів величиною 10 м у моделях для випадку внутрішнього ходу містяться в табл. 3.

Зазначимо, що обчислене за виразом (2) допустиме значення поправки з урівноваження становить для ходу № 8 34,1 мм. У другому та третьому стовпцях табл. 2 подано значення поправок з урівноваження. Сірим кольором виділено значення поправок, які менші за допустиме значення, обчислене за виразом (2), для цих випадків ідентифікація промаху з аналізу результатів урівноваження неможлива. У стовпцях 4 та 5 для кожної моделі знайдена за виразом (3) помилка одиниці ваги до вилучення ходу, що містить грубу похибку, та після його вилучення, відповідно.

Крім того, за наведеним в роботі [6] алгоритмом створювали граф мережі й за ним підраховували нев'язки у всіх можливих полігонах за участю кожного з ходів мережі. З них вибирали ті, кількість станцій, в яких відповідно до теоретичних розрахунків [2] дає змогу знайти грубу похибку, що дорівнює 5 м. Для кожної моделі обчислювалася помилка одиниці ваги з почерговим вилученням кожного з ходів із мережі. У стовпці 6 вказане найменше значення μ , отримане у разі вилучення з мережі певного ходу, і номер цього ходу (якщо найменше значення μ одержане при вилученні з мережі ходу 8, то у стовпці 6 стоїть тільки номер ходу (тобто

“8”). У стовпцях 7–9 вказано кількість полігонів з недопустимими нев'язками для мережі з грубою похибкою взагалі і з них за участю ходу 8, та після вилучення ходу з грубою похибкою. (Всього у мережі є 7 полігонів, в яких бере участь хід № 8).

Аналізуючи результати пошуку промахів з табл. 1, зазначимо, що помилку 5 м у внутрішньому ході мережі за результатами урівноваження методом найменших квадратів знайдено для 5 моделей з 8, за результатами урівноваження методом найменших модулів – для 7 випадків з 8, за допомогою аналізу нев'язок у полігонах – для 8 моделей з 8.

Тобто в цьому випадку пошук промаху за допомогою аналізу нев'язок у полігонах з вилученням ходу, який найбільше впливає на величину μ , дав найкращий результат.

Наступним етапом було дослідження можливостей пошуку грубої похибки 10 м для того ж внутрішнього ходу мережі. Результати наведено в табл. 2, будова якої така сама, як і табл. 1, тому додаткових пояснень не потребує. Зазначимо, що промах величиною 10 м однозначно знаходять як за результатами вирівнювання обома методами, так і за допомогою аналізу нев'язок у полігонах та перерахунком μ з почерговим вилученням ходів з мережі.

Дослідження можливостей пошуку грубої похибки величиною 5 м для бокового ходу мережі (хід 1 на рис. 1) наведено в табл. 3, конфігурація якої така сама, як і табл. 1 та 2. Дослідженню бокового ходу було приділено більшу увагу, оскільки пошук промаху в ньому складніший, ніж для внутрішнього ходу, через меншу кількість полігонів з його участю.

Допустиме значення поправки з урівноваження для ходу № 1 становило 33,2 мм. З табл. 3 видно, що за результатами аналізу поправок з урівноваження методом найменших квадратів промах у ході 1 було знайдено тільки у 9 випадках з 20. За поправками з методу найменших модулів – у 18 випадках з 20. За методом, запропонованим нами, – також у 18 випадках з 20.

Таблиця 1

Результати пошуку грубої похибки величиною 5 м у внутрішньому ході мережі (хід № 8)

№ моделі	Поправка з урівноваження		Обчислена помилка одиниці ваги – μ_n , мм			Кількість полігонів з недопустимою нев'язкою		
	мет. найм. квадр, мм	мет. найм. мод., мм	до вилучення ходу	після вилучення ходу	№ ходу, що вилучили	до вилучення ходу, після вилучення якого μ_n найм.	з них за участю ходу, після вилучення якого μ_n найм.	після вилучення ходу, після вилучення якого μ_n найм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	40,4	44,1	24,26	9,90	8	3	3	0
2	44,2	62,2	26,68	10,00	8	4	4	0
3	29,8	44,9	17,70	7,29	8	1	1	0
4	32,9	43,9	21,98	12,17	8	2	2	0
5	37,0	50,5	24,65	12,85	8	4	4	0
6	35,9	52,9	24,22	13,09	8	3	3	0
7	23,0	28,1	16,08	11,36	8	0	0	0
8	34,7	45,8	20,90	9,86	8	2	2	0

Таблиця 2

Результати пошуку грубої похибки величиною 10 m у внутрішньому ході мережі (ході № 8)

№ моделі	Поправка з урівноваження		Обчислена помилка одиниці ваги – μ_b , мм			Кількість полігонів з недопустимою нев'язкою		
	мет. найм. квадрант, мм	мет. найм. мод., мм	до вилучення ходу	після вилучення ходу	№ ходу, що вилучили	до вилучення ходу, після вилучення якого μ_b найм.	з них за участю ходу, після вилучення якого μ_b найм.	після вилучення ходу, після вилучення якого μ_b найм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	68,9	87,9	42,56	16,93	8	7	7	0
2	75,5	121,5	43,57	11,21	8	7	7	0
3	68,5	108,5	40,29	12,00	8	6	6	0
4	72,9	107,9	54,49	14,21	8	7	7	0
5	78,1	128,6	45,39	7,83	8	7	7	0
6	67,4	108,6	40,41	13,58	8	7	7	0
7	74,3	106,6	42,88	9,52	8	7	7	0
8	84,2	139,5	47,30	7,38	8	7	7	0

Таблиця 3

Результати пошуку грубої похибки величиною 5m у боковому ході мережі (ході № 1)

№ моделі	Поправка з урівноваження		Обчислена помилка одиниці ваги – μ_b , мм			Кількість полігонів з недопустимою нев'язкою		
	мет. найм. квадрант, мм	мет. найм. мод., мм	до вилучення ходу	після вилучення ходу	№ ходу, що вилучили	до вилучення ходу, після вилучення якого μ_b найм.	з них за участю ходу, після вилучення якого μ_b найм.	після вилучення ходу, після вилучення якого μ_b найм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	18,2	34,9	14,97	10,03	7	0	0	0
2	39,0	64,9	25,72	6,17	8	4	4	0
3	29,7	53,0	25,34	18,36	8	3	3	0
4	35,6	58,5	33,07	26,54	8	7	5	2
5	36,0	59,5	25,57	11,71	8	3	3	0
6	23,9	28,5	19,14	14,39	4	0	0	0
7	32,6	40,9	22,01	11,23	8	1	1	0
8	36,1	52,5	24,03	11,51	8	2	2	0
9	25,1	41,9	17,03	7,01	8	0	0	0
10	26,0	44,2	17,62	6,40	8	0	0	0
11	35,6	59,4	23,19	6,62	8	2	2	0
12	27,9	47,7	20,21	11,69	8	1	1	0
13	35,1	55,1	25,57	13,61	8	3	3	0
14	42,5	62,1	28,76	10,59	8	7	7	0
15	26,6	47,1	22,84	16,78	8	2	2	0
16	36,7	65,9	26,46	13,40	8	4	4	0
17	30,8	52,9	23,37	13,07	8	2	2	0
18	31,9	53,6	21,92	9,21	8	1	1	0
19	33,5	47,0	22,40	10,57	8	2	2	0
20	19,0	32,4	15,25	11,62	8	0	0	0

Висновки

1. За результатами експерименту пошук грубих похибок малої величини (5 m) за допомогою аналізу нев'язок у полігонах з дослідженням змін помилки одиниці ваги при почерговому вилученні ходів дав найкращі результати з-поміж інших методів пошуку.

2. Грубу похибку значенням 10 m для досліджуваної мережі можна знайти будь-яким з досліджуваних

методів пошуку. Тобто пошук грубих похибок, які перевищують 10 m, не викликає труднощів.

3. Пошук грубих похибок величиною 5 m на основі аналізу поправок з урівноваження способом найменших квадратів недоцільний.

4. Звичайно, експериментальними дослідженнями однієї, навіть і типової мережі, можна довести тільки непридатність того чи іншого методу, що в нашому

випадку показано на прикладі пошуку грубих похибок величиною $5m$ за результатами аналізу поправок з урівноваження методом найменших квадратів.

5. У разі розроблення методики спостережень для певного виду високоточних нівелірних мереж з метою спостережень, наприклад, за осіданням, варто дослідити її на квазімоделях за описаною вище методикою з дослідженням (внесенням спотворення) кожного ходу мережі.

Література

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990.
2. Бурак К.О. Обґрунтування граничної кількості станцій у полігонах висотної мережі для знаходження грубих похибок / К.О. Бурак, М.Я. Гринішак // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2011. – Вип. 73. – С. 27–34.
3. Большаков В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений: учебник / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. – М.: Недра, 1969. – 160 с.
4. Мазмишвили А.И. Теория ошибок и метод наименьших квадратов: учебник / А.И. Мазмишвили. – М.: Недра, 1978. – С. 213, 238.
5. Большаков В.Д. Теория ошибок наблюдений / В.Д. Большаков. – М.: Недра, 1983. – 147 с.
6. Бурак К.О. Побудова замкнутих полігонів у нівелірних геодезичних мережах з використанням орієнтованого графа / К.О. Бурак, М.Я. Гринішак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. II (20). – С. 71–77.
7. Кемніц Ю.В. Теория ошибок измерений / Ю.В. Кемніц. – М.: Недра, 1967. – 174 с.

Перевірка можливостей пошуку грубих похибок у висотних геодезичних мережах

К. Бурак, М. Гринішак

Експериментально показано можливість пошуку грубих похибок малої величини ($5m$) у висотних мережах за допомогою аналізу нев'язок у полігонах з дослідженням змін помилки одиниці ваги при почерговому вилученні ходів та за результатами попереднього урівноваження методом найменших модулів.

Проверка возможностей поиска грубых ошибок измерений в высотных геодезических сетях

К. Бурак, М. Гринишак

Експериментально показана можливість пошуку грубих помилок измерений малої величини ($5 m$) для висотних мереж шляхом аналізу нев'язок в полігонах з дослідженням змін одиниці ваги при поочередному виключенні ходів і за результатами попереднього урівноваження по способу найменших модулів.

Verification of searchabilities flagrant errors of measurings at height geodesic networks

K. Burak, M. Grinishak

Experimentally rotined possibility of searching the flagrant errors in the measurings of small size ($5 m$) for height networks by the analysis of misclosures in grounds with research of changes in error of unit of weight by turn exception of motions and as a result of previous balancing of measurings on the method of the least modules.



**18 травня 2001 р.
м. Марракеш, Марокко**

International Federation of Surveyors
Fédération Internationale des Géomètres
Internationale Vereinigung der Vermessungsingenieure

Головною подією у 2011 р. для Світової федерації геодезистів – FIG є Робочий тиждень, який розпочнеться 18 травня 2001 р. у м. Марракеш, Марокко.

Працюватимуть усі десять комісій FIG, а саме:

- Професійні стандарти і практика
- Професійна освіта
- Просторова інформація
- Гідрографія
- Позиціонування та вимірювання
- Інженерні вишукування
- Кадастр та землевпорядкування
- Просторове планування і розвиток
- Оцінка і управління нерухомістю
- Економіка будівництва і управління.

Більше інформації на <http://www.fig.net/fig2011/>