



розподіл метеопараметрів в атмосфері за даними реєстрації GNSS-сигналів дасть змогу вийти на якісно новий рівень метеорологічного забезпечення, підвищити якість прогнозів погоди.

Література

1. Азизов, А.А. Использование сигналов навигационных ИСЗ для определения параметров атмосферы / А.А. Азизов, К.П. Гайкович, С.С. Кашкарев, М.Б. Черняева // Изв. ВУЗов. Радиофизика. – 1997. – Т. ХLI. – № 9. – С. 1093-1110.
2. Заблоцький, Ф. Суха і гідростатична складові зенітної тропосферної затримки / Ф. Заблоцький, Б. Паляниця, Л. Матвієнко, Н. Турчин // Сучас. досягн. геодез. науки та вир-ва: зб. наук. пр. Зах. геодез. т-ва УТГК. – Л.: Вид-во Львівської політехніки, 2011. – Вип. II. – С. 92-95.
3. Каблак, Н.І. Сучасні підходи до визначення та використання тропосферних затримок / Н.І. Каблак // Геодез., картогр. і аерофотознім. – 2009. – Вип. 72. – С. 22-27.
4. Каблак, Н.І. Моніторинг осадженої водяної пари на основі обробки ГНС-даних / Н.І. Каблак // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17. – № 4. – С. 65-73.
5. Каблак, Н.І. Методика визначення впливу тропосфери на результати GNSS-вимірювань у мережі активних референціальних станцій / Н.І. Каблак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук.

пр. Зах. геодез. т-ва УТГК. – Л.: Вид-во Львівської політехніки, 2013. – Вип. I. – С. 62-66.

6. Хуторова, О.Г. О перспективах исследования неоднородной структуры тропосферы с помощью сети приемников GPS – ГЛОНАСС / О.Г. Хуторова, А.А. Васильев, В.Е. Хуторов // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – 23. – № 6. – С. 510-514.

7. Devis, M.S. GPS meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System / M.S. Devis, S. Businger, T.A. Herring [et al.] // J. Geophys. – 1992. – V. 97. – P. 15787-15801.

8. Mendes, V.B. Tropospheric Zenith Delay Prediction Accuracy for Airborne GPS High-Precision Positioning / V.B. Mendes, R.B. Langley // Proceedings of The Institute of Navigation 54th Annual Meeting. – Denver, CO, U.S.A., 1-3 June 1998. – P. 337-347.

9. Schueler, T. A New Tropospheric Correction Model for GNSS Navigation Proceedings of GNSS / T. Schueler, G.W. Hein, B. Eissfeller // V GNSS International Symposium, Spanish Institute of Navigation. – Seville, Spain, May 8-11, 2001.

Інтернет-джерело

10. Schueler, T. On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation Dissertation / T. Schueler. – Schriftenreihe 73, Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, February 2001, online: <http://137.193.32.1/Forschung/TropAC/docs/phd/index.html>.

Надійшла 17.04.13

* * *

УДК 528.335

М. Т. Ковтун

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПРИЙОМІВ І ТОЧНОСТІ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ НА КОРОТКИХ ВІДСТАНЯХ

Описывается процесс выведения формулы для определения количества приемов измерения угла электронным тахеометром на коротких расстояниях (10-50 м). Особое внимание уделено вопросу точности определения с одного приема средней квадратической погрешности измерений.

The paper presents the process of derivation of a formula to determine the number of steps by angle measurement by means of electronic tachometer on short distances (10-50 m). The particular attention was paid to the accuracy of the determination with one reception of mean square error.

Постановка задачі. Під час кутових вимірювань на коротких відстанях (10-50 м) виникає необхідність у встановленні математичного зв'язку між окремими параметрами, що дало б можливість визначити кількість виконання прийомів на станції. Такими параметрами є:

- середня квадратична похибка (СКП) m вимірювання кута одним прийомом конкретним приладом на коротких відстанях;
- відстані S_1 та S_2 від точки стояння до точок спостережень (див. малюнок);
- похибки x_1 та x_2 встановлення (центрування)

© М. Т. Ковтун, 2013

візирних марок або точніших приладів на пунктах візування, наприклад, комплект електронного тахеометра TC 1800 Leica;

- коефіцієнт z_p довірчого інтервалу СКП арифметичної середини M ;

- кількість n прийомів вимірювання кута β .

Потрібно знайти математичну залежність між указаними параметрами.

Аналіз попередніх публікацій. Питанню вимірювання кутів на коротких відстанях в інженерній геодезії приділено ще недостатньо уваги. У праці [2] описується прийом використання одностороннього довірчого інтервалу при розрахунку точності вимірювань – це формула (VI.58).



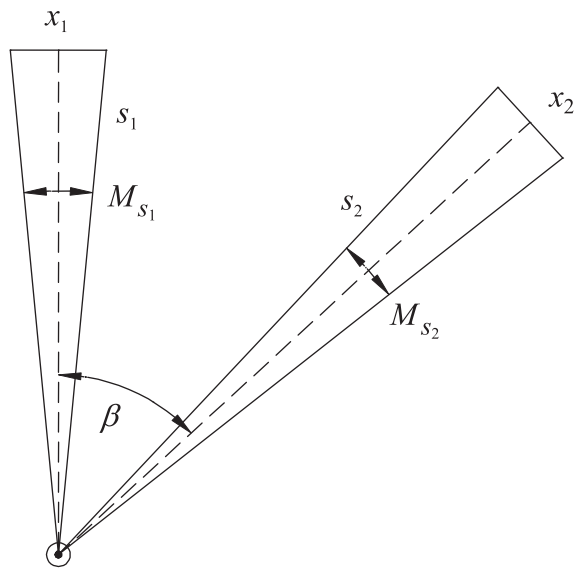


Схема вимірювання кута на коротких відстанях

У новітній капітальній монографії [1] детально описано сучасні методи і точність центрування приладів. Варто зауважити, що навіть при допомозі оптичного центрира теодоліта Т-5 можна досягнути точності 0,2 мм. Такі дослідження автор цієї статті проводив, тому вважаю, що похибкою центрування на практиці можна знехтувати.

Методику вимірювання кута і визначення кількості прийомів на коротких відстанях можна буде застосовувати для створення основної геодезичної мережі, як це, наприклад, описано в статті [5].

У праці [3] розглядається система вимірювання кутів з використанням дводзеркальних відбивачів у точках наведення і тахеометра в точці стояння. За допомогою такої системи можна створювати високоточні лінійно-кутові геодезичні мережі з точністю до 0,3 мм.

Взагалі геодезичні вимірювання характеризуються з двох позицій: кількісної та якісної. Так ось, у праці [3] відсутня зразкова фігура, наприклад, центральна система з шести трикутників, на якій були б виконані дослідницькі вимірювання та оцінено їхню точність за нев'язками.

Цікаво буде проаналізувати методи досягнення такої точності й визначити на основі цього часові та матеріальні затрати.

Основний матеріал дослідження. На початку розглянемо сутність поняття "односторонній довірчий інтервал", як його розуміє автор праці [2]:

$$p = P\{M \leq z_p \cdot \sigma(\bar{x})\}. \quad (1)$$

Це означає, що наперед задана довірна імовірність p є імовірністю P того, що СКП арифметичної середини M не перевищить добутку коефіцієнта z_p на стандарт або стандартну похибку $\sigma(\bar{x})$ арифметичної середини.

Коефіцієнт z_p відповідає імовірності p . Так, для точних вимірювань при імовірності $p=0,99$ коефіцієнт $z_p=2,58$. Він гарантовано дає можливість отримати точні виміри.

З рівняння (1) можна вивести таке відношення:

$$\frac{M}{z_p} = \sigma(\bar{x}), \quad (2)$$

тобто СКП арифметичної середини заздалегідь зменшується на z_p через односторонній довірчий інтервал. Після цього вираз (2) набуде вигляду:

$$\frac{M}{z_p} = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

де m – СКП одного прийому; n – кількість прийомів.

Тоді СКП арифметичної середини вимірювання кута на коротких відстанях можна передати формулою

$$M = \frac{z_p \cdot m}{\sqrt{n}}. \quad (4)$$

Для двох сторін S_1 та S_2 одержимо відношення, які випливають з малюнка (схеми):

$$\frac{x_1}{s_1} = \operatorname{tg} M_{s_1} \approx \frac{M_{s_1}}{\rho''}; \quad \frac{x_2}{s_2} = \operatorname{tg} M_{s_2} \approx \frac{M_{s_2}}{\rho''}. \quad (5)$$

СКП арифметичних середин для сторін S_1 та S_2 становитимуть:

$$M_{s_1} = \frac{x_1 \cdot \rho''}{s_1}; \quad M_{s_2} = \frac{x_2 \cdot \rho''}{s_2}. \quad (6)$$

СКП арифметичної середини вимірюваного кута визначимо з рівняння

$$M^2 = M_{s_1}^2 + M_{s_2}^2 = \frac{x_1^2 \cdot \rho''^2}{s_1^2} + \frac{x_2^2 \cdot \rho''^2}{s_2^2}. \quad (7)$$

З урахуванням виразу (4) останнє рівняння набуде вигляду:

$$\frac{z_p^2 \cdot m^2}{n} = \frac{x_1^2 \cdot s_2^2 \cdot \rho''^2 + x_2^2 \cdot s_1^2 \cdot \rho''^2}{s_1^2 \cdot s_2^2}, \quad (8)$$

а формула кількості прийомів вимірювання кута β при коротких відстанях зрештою виглядатиме так:

$$n = \frac{z_p^2 \cdot m^2 \cdot s_1^2 \cdot s_2^2}{(x_1^2 \cdot s_2^2 + x_2^2 \cdot s_1^2) \cdot \rho''^2}. \quad (9)$$

Приклад. Маємо такі вихідні дані: $z_p=2,58$; $m=4''$; $s_1=20$ м; $s_2=28,284$ м; похибки візування: $x_1=0,4$ мм; $x_2=0,5$ мм. Тоді кількість прийомів становитиме:

$$\begin{aligned} n &= \frac{2,58^2 \cdot 4^2 \cdot 20000^2 \cdot 28284^2}{(0,4^2 \cdot 28284^2 + 0,5^2 \cdot 20000^2) \cdot 206265^2} = \\ &= \frac{6,6564 \cdot 16 \cdot 2^2 \cdot 10^8 \cdot 2,8284^2 \cdot 10^8}{(0,16 \cdot 28,284^2 + 0,25 \cdot 20^2) \cdot 10^6 \cdot 2,06265^2 \cdot 10^{10}} = \\ &= \frac{3408,0114}{970,02123} = 3,513 \approx 4. \end{aligned}$$

Оскільки в даній статті йдеться про точні кутові вимірювання на коротких відстанях, тому у виразі (9) потрібно брати точніше значення СКП одного прийому, особливо тоді, коли їх небагато. У практиці геодезичних вимірювань для оцінювання





точності одного виміру використовують формулу Бесселя, коли істинне значення вимірюваної величини невідоме. Тоді СКП виміру визначається за формулою

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}}, \quad (10)$$

де $\delta_i = x_i - \bar{x}$ – це відхилення; x_i – результати вимірювань; \bar{x} – середнє арифметичне значення із результатів вимірювань.

Для точнішого визначення величини m потрібно використовувати формули з праці [4].

Якщо досліджувана випадкова величина розподілена нормально, то незміщена оцінка СКП обчислюється за формулою [4]:

$$m = k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}}, \quad (11)$$

де k – коефіцієнт, який обчислюється за значеннями Γ -функцій і величини якого в залежності від кількості вимірів n вказано в таблиці.

Значення коефіцієнта k залежно від кількості вимірювань

n	k_n	n	k_n
3	1,1284	10	1,0280
4	1,0853	12	1,0230
5	1,0640	15	1,0181
6	1,0506	20	1,0134

Наближена до (11) формула для визначення СКП одного виміру виглядає так:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1,45} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2}. \quad (12)$$

Приклад обчислення СКП одного прийому за наведеними формулами. Дано: $n=12$; $k=1,023$; $\sum_{i=1}^n \delta_i^2 = 168,175$.

1. За формулою (10) маємо:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{11} \cdot 168,175} = 3,91''.$$

2. За формулою (11) потрібно попередній результат помножити на відповідний коефіцієнт k_n :

$$1,023 \cdot 3,91'' = 4,00''.$$

3. За формулою (12) отримуємо:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1,45} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{12-1,45} \cdot 168,175} = 3,993''.$$

Отже, СКП, отримані за формулами (11) та (12), практично однакові.

Створюючи лінійно-кутові мережі на вихідному горизонті для будівництва висотних споруд, потрібно узгоджувати похибки вимірювання довжин сторін (поздовжні похибки) та похибки вимірювання кутів (поперечні похибки). Для цього необхідно підібрати методику і прилади лінійного вимірювання з похибкою, яка б приблизно дорівнювала поперечним похибкам x_1 та x_2 кутових вимірювань. Це складний процес, але для створення надійної мережі його потрібно здійснити.

Колись доміри визначали компарованою рулеткою по штативах (або по бетону) з натягом 10 кг з СКП $m_s=0,3-0,4$ мм. Переконали, що такої точності при використанні широкоживаних світловіддалемірів ми не отримуємо. У всякому разі потрібні додаткові дослідження.

Література

1. Баран, П.І. Інженерна геодезія: монографія / П.І. Баран. – К.: ПАТ "ВІПОЛ", 2012. – 618 с.: іл.
2. Видуев, Н.Г. Математическая обработка геодезических измерений / Н.Г. Видуев, А.Г. Григоренко. – К.: Вища шк., 1978. – 376 с.
3. Малік, Т.М. Спосіб вимірювання кутів у високоточній лінійно-кутовій мережі / Т.М. Малік // Інж. геодез.: наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 53. – С. 152-158.
4. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / Б.Г. Володин, М.П. Ганин, И.Я. Динер [и др.]; под. ред. А.А. Свешникова. – М.: Наука, 1970. – 656 с.: ил.
5. Шульц, Р.В. Геодезична мережа на будівельному майданчику / Р.В. Шульц, О.П. Плохута, А.М. Хайлак // Інж. геодез.: наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 53. – С. 240-245.

Надійшла 05.07.13

