

С.М. Урдзік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ВПЛИВ КУТА ЗЕМНОГО ЗАЛОМЛЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ТРИГОНОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

Проведено аналіз літературних джерел, в яких в значній мірі приділено увагу точності проведення геодезичних робіт. Викладена послідовність дій при тригонометричному нівелюванні. Проаналізовано залежність значення коефіцієнту земного заломлення від часу доби. Наведено середнє значення кутів земного заломлення, визначених видатними вченими.

Ключові слова: тригонометричне нівелювання, коефіцієнт земного заломлення, теодоліт, зенітна відстань, точність вимірювання.

Постановка проблеми

Одним з найбільш поширених методів геодезичної зйомки для визначення перевищень є тригонометричне нівелювання, суть якого полягає в вимірюванні куту нахилу та відстані між вимірюваними точками. Однією з переваг цього методу також є те, що тільки в ньому враховується кривизна Землі, через внесення відповідних поправок.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Питанням, точності геодезичних вимірювань та допустимим значенням похибки присвячено багато наукових видань [1 - 7]. Найбільше уваги приділяється класу точності геодезичного обладнання та приладів, методам зйомки,

розрахунків та обробки отриманої інформації.

Метою цієї статті є аналіз впливу та врахування кривизни Землі та кута земного заломлення на точність тригонометричного нівелювання.

Виклад основного матеріалу

При тригонометричному нівелюванні (рисунок 1) на точці A встановлюють теодоліт, проводять о робоче положення та виміряють висоту прибору i . В точці B встановлюють нівелірну рейку. Для визначення перевищення h виміряють кут нахилу ν , горизонтальне прокладення d та фіксують висоту візування a (відлік, на який наведено візирний луч).

Із рисунка 1 слідує:

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - a \quad (1)$$

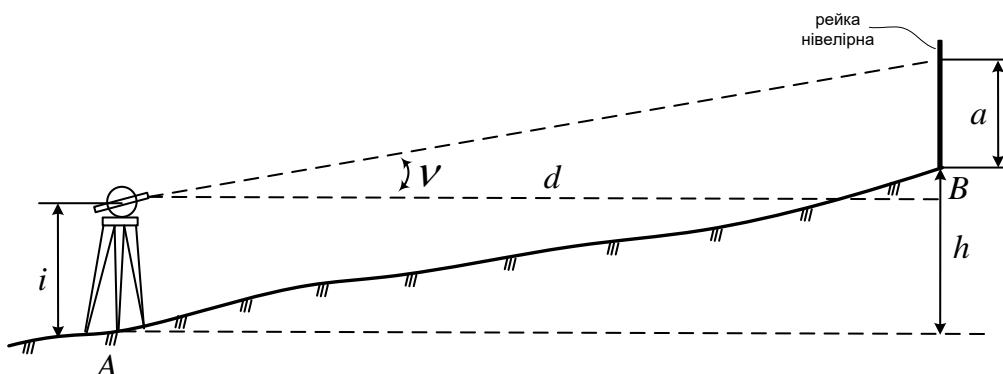


Рис. 1. Спрощена схема тригонометричного нівелювання

Але, земна атмосфера на різних висотах має різну щільність, а, отже, і різний показник заломлення, так що світловий пучок розповсюджується не по прямій, а по кривій траєкторії, поверненій увігнутістю до поверхні Землі. Це викривлення відбувається переважно у вертикальній площині, не суттєво впливає на

горизонтальні кути [9]. Це викривлення візирного лучу відбувається в вертикальній площині. Воно є і у горизонтальній площині, але в дуже не значних розмірах – найбільша величина так званої бокової рефракції оцінюється в одну секунду. В свою чергу, зенітну відстань воно змінює дуже суттєво. Спостерігач в точці A бачить точку B не за

напрямок хорди AB , а за напрямком дотичної Ad до останнього елементу рефракційної кривої AcB (рисунок 2). Якщо прямі zAC і BC співпадають з прямовисними лініями в A і B , то кут $zAB = \xi$ називається справжньою зенітною відстанню, а кут $zAd = z$ – видимою зенітною відстанню. При нормальному розподілі щільностей в атмосфері z завжди менша ніж ξ .

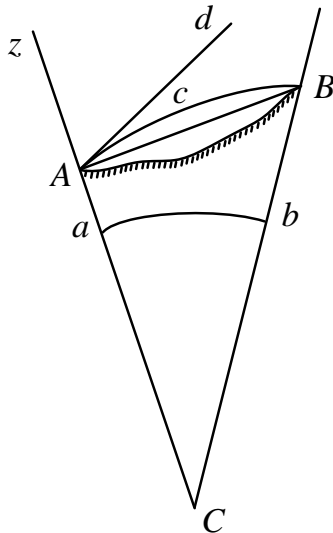


Рис.2. Схема визначення зенітної відстані з врахуванням впливу кута земного заломлення

Різницю $r = \xi - z$ називають кутом земного заломлення або просто земним заломленням. Численні дослідження доводять, що значення земного заломлення не може бути визначення точно, оскільки залежить не тільки від відстані між точками A і B , але й від часу дня, від виду та властивостей місцевості між точками A і B , температури та тиску навколишнього середовища під час вимірювань z , температури ґрунту, висоти променя над ґрунтом та ін. Ось чому вертикальні кути вимірюють менш точно, ніж кути горизонтальні: безкорисна висока точність візування трубою та взяття відліків по вертикальному кругу, якщо точність визначення z абсолютно поглинається при переході від z до ξ похибкою в визначенні кута земного заломлення. Для простоти підрахунків зазвичай приймають, що крива AcB представляє кругову дугу. В такому припущенні земне заломлення, як кут між дотичною і хордою, очевидно пропорційно довжині дуги ab , що лежить на рівневій поверхні. З іншого боку довжина дуги ab , пропорційна куту C між прямовисними лініями AC і BC . Відповідно, земне заломлення r пропорційне куту C . Приймають:

$$r = k \cdot \frac{C}{2}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт земного заломлення.

Земне заломлення, а відповідно і його коефіцієнт, має найбільшу величину за день на світанку, перед сходом сонця. Від сходу сонця до полудня k безперервно зменшується. Найменше значення r та k і найменша швидкість змінення k припадають на час з 11-ї до 14-ї години. Саме з 14-ї години значення k збільшується безперервно аж до ранку наступного дня. З численних досліджень випливає, що найменше за добу полуденне значення k доволі постійне навіть для різних місць спостережень. В інші години доби для різних днів і різних місць досить сильно різняться. Саме тому, тільки виміряні в полуденний, або в близько до полуденного часу період зенітні відстані можна перераховувати на відповідні істинні зенітні відстані через формулу:

$$\xi = z + k \cdot \frac{C}{2} \quad (3)$$

Коефіцієнт земного заломлення k можна визначити двома методами [9]:

1. Визначаючи з геодезичного нівелювання різницю рівнів точок, альтитуди яких відомі з геометричного нівелювання;
2. Виконуючи одночасні спостереження взаємних зенітних відстаней.

В табл. 1 наведені достовірні величини коефіцієнту k , визначені Бесселем, Кларком, Байером, Теннером, Струве.

Таблиця 1
Середнє значення коефіцієнту земного заломлення

| Імена вчених | Назва тріангуляцій | Середнє значення коефіцієнту |
|--------------|--------------------|------------------------------|
| Кларк | Англійська | 0,158 |
| Бессель | Пруська | 0,137 |
| Байер | Пруська | 0,145 |
| Теннер | Западно-руська | 0,145 |
| Струве | Лифляндська | 0,124 |

Проаналізувавши данні таблиці, можна побачити, що навіть середнє значення коефіцієнту земного заломлення може змінюватися в значних межах, що в відсотковому значенні сягає 25%.

В середньому для Європейської частини планети $k = 0,14$.

Висновки

Дотримання геометричних параметрів проекту інженерної споруди та точність його зведення є основною та найголовнішою вимогою в будівництві. Виконання ж цієї умови без геодезичних робіт в будівництві не представляється можливим і на

пряму залежить від якості і точності виконання геодезичних вимірювань при проведенні розбивочних робіт.

Одним з важливих видів робіт по визначенню перевищень, є нівелювання. Нівелювання зазвичай використовують для визначення висот точок при складанні топографічних планів, карт, профілів, при перенесенні проектів забудови та планування території по висоті. При виконанні будівельно-монтажних робіт за допомогою нівелювання встановлюють будівельні конструкції в проектне положення по висоті. Застосовують нівелювання при спостереженнях за опадами і деформаціями будівель, для визначення вертикальних переміщень точок будівель і споруд.

Врахування під час проведення подібних робіт такого важливого фактору, як кут земного заломлення може значно вплинути на точність проведення розбивочних робіт і, як наслідок, на якість самого будівництва.

Література

1. Зуска, А.В. *Інженерна геодезія [Текст]: навч. посіб. / А.В. Зуска. – Дніпро: НГУ, 2016. – 209 с.*
2. Hofmann – Wellenhof, B. (2005). *Physical Geodesy*. Wien New York, 403.
3. Galda, M., Kujawski, E., Galda, M., Kujawski, E. (2000). *Geodezja I miernictwo budowlane*. Warszawa. Wrocław, 389 - 400.
4. Osada, E. (2001) *Geodezja*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. 202 – 221.
5. Richard, H. (1991). *Rapp. Geometric geodesy*. Part 1. The Ohio State University, 106 - 123.
6. Kai Borre. (2006). *Mathematical Foundation of Geodesy. Selected papers of Torben Krarup*. Springer, 189 – 197.
7. Федотов, Г.А. *Інженерная геодезія [Текст]. Учебное пособие. 2-е изд. / Г. А. Федотов - М.: Высшая школа. 2004. - 286 – 292 с.*
8. Большаков, В.Д. *Справочник геодезиста (в двух книгах)*

[Текст] Книга 2. / В. Д. Большаков, Г. П. Левчук - Москва, 1974. - 990 – 1007.

9. Красовский, Ф.Н. *Руководство по высшей геодезии (Часть I). [Текст] /Ф.Н. Красовский.– Издание Геодезического Управления В.С.Н.Х. С.С.С.Р. и Московского Межевого Института, 1926.*

Referenses

1. Zuska, A.V. (2016). *The engineering geodesy*. Tutorial. Dnipro: NGU, 6-8.
2. Hofmann – Wellenhof, B. (2005). *Physical Geodesy*. Wien New York, 403.
3. Galda, M., Kujawski, E., Galda, M., Kujawski, E. (2000). *Geodezja I miernictwo budowlane*. Warszawa. Wrocław, 389 - 400.
4. Osada, E. (2001) *Geodezja*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. 202 – 221.
5. Richard, H. (1991). *Rapp. Geometric geodesy*. Part 1. The Ohio State University, 106 - 123.
6. Kai Borre. (2006). *Mathematical Foundation of Geodesy. Selected papers of Torben Krarup*. Springer, 189 – 197.
7. Fedotov, G. A. (2004). *The engineering geodesy*. Tutorial. Second edition. M.: Vysshaya shkola. 286 – 292.
8. Bolshakov, V. D., Levchuk, G.P. (1974). *Land surveyor's guide (in two books)*. Book 2. Moscow. 990 – 1007.
9. Krasovsky, F.N. (1926). *Guide to Higher Geodesy (Part I)*. Edition of the Geodesic Office V.S.N.KH. USSR. and Moscow Land Survey Institute.

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.П. Кожушко, кафедра мостів, конструкцій та будівельної механіки, Харківський національний автомобільно – дорожній університет, Україна

Автор: УРДЗІК Сергій Миколайович
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail - urdzik@khadi.kharkov.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6914-1221>

INFLUENCE OF THE ANGLE OF EARTH'S REFRACTION ON THE ACCURACY OF TRIGONOMETRIC LEVELING

S. Urdzik

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The article provides a list of literature and scientific papers that examine the accuracy of geodetic measurements, issues of errors and errors, as well as factors affecting the accuracy and the possibility of taking them into account when conducting various geodetic works. It is emphasized that only with trigonometric leveling is the influence of the angle of earth refraction on the accuracy of the measurements taken into account. The scheme of trigonometric leveling and the principles of conducting these works with the appropriate formula are given. The principles of forming and changing the angle of the earth's refraction are stated. The essence of this physical phenomenon and the factors that influence it are described. The scheme for determining the zenith distance is given, taking into account the influence of the angle of earth's refraction and the formula for determining the true zenith distance. The diagram shows the path of the sighting beam from the observer to the observed point and the physical process of curvature of the sighting beam. It is noticed that the distortion occurs to a greater extent in the vertical plane, and slightly affects the horizontal angles. Zenith distance this distortion changes very significantly. The degree of influence of refraction on the measurement of horizontal and vertical angles is analyzed. The angle of the earth's refraction has the highest magnitude per day in the morning, before sunrise in the morning. The smallest value and the smallest rate of change of the angle of earth's refraction occur in the afternoon. A table is given with average values of the Earth's refractive index established by scientists in this field. The value of the coefficient of terrestrial refraction for the European part of the planet, as well as the value of the error that can affect this coefficient and its limits are given. At the end of the article the conclusions are written, where the importance of taking into account the coefficient of terrestrial refraction when trigonometric leveling is indicated. The article is aimed at geodesic industry specialists who want to expand their horizons and improve their professional level.

Keywords: trigonometric leveling, refractive index, theodolite, zenith distance, measurement accuracy.