

УДК 528 П29

І.В. Петлюк¹, Т.Г. Шевченко¹, О.І. Петлюк²¹Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів²Військова частина А 1277, Львів

ПРО ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ У СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДАХ

У статті проаналізовано вплив вертикальної рефракції на точність геодезичних вимірів при використанні табличного коефіцієнта вертикальної рефракції у сучасних електронних приладах.

Ключові слова: рефракція, нівелір, табличний коефіцієнт рефракції, нормальна та аномальна частини коефіцієнта рефракції.

Вступ

Постановка проблеми. На сучасному рівні подальше підвищення точності геодезичних вимірів стримується не величиною помилок власне приладів, а помилками, що пов'язані з впливом зовнішніх умов, зокрема рефракцією.

І справді, сучасні електронні високоточні кутомірні прилади та високоточні світлодалекоміри забезпечують точність вимірювань напрямку до десятих часток кутової секунди, а віддалі у декілька кілометрів – з точністю до 0,5 мм. Разом з тим викривлення променів світла внаслідок дії рефракції може сягнути десятків кутових секунд.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Питання, розглянуті у статті, тісно пов'язані з науковою і навчальною роботою інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» та відповідають напрямку роботи кафедри геодезії «Дослідження сучасних методів геодезичних вимірювань та умов їхнього виконання і опрацювання», а також вимогам Постанови Кабінету міністрів України № 844 від 8 червня 1998 р. «Про затвердження основних положень створення Державної геодезичної мережі України».

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми, дає підстави стверджувати, що продовжується пошук геодезистами єдиного коефіцієнта рефракції для певного регіону та об'єкта робіт [1–8].

Невирішена частина загальної проблеми. У сучасних електронних приладах, зокрема у нівелірах, у програмне забезпечення закладений коефіцієнт рефракції, який враховує атмосферні впливи тільки для певних умов. Насправді викривлення променя внаслідок дії зовнішніх умов (рефракції) у різний час доби буде різним. Відповідно, у кінцевий результат вимірювання необхідно вводити різні поправки.

Постановка завдання. Провести математичне обґрунтування зміни коефіцієнта рефракції з часом при переході від одного пункту геодезичної мережі до іншого та від будь-якого напрямку, що виходить з даного пункту, до іншого.

Виклад основного матеріалу

Дослідження та впровадження новітніх технологій у геодезичному приладобудуванні не розв'язало проблему визначення та врахування вертикальної рефракції.

Табличний коефіцієнт рефракції (K_T), закладений в програмне забезпечення електронних приладів, знаходиться в межах 0,132–0,160 і відповідає дійсності лише на певній території, у конкретний час доби та пори року. Наприклад, в електронному нівелірі DINI 22, який широко використовується при геодезичних роботах, $K_T = 0,14$.

Багатьом вченим вдалось визначити табличний коефіцієнт рефракції: зокрема Гаусс [7] для Німеччини визначив значення $K_T = 0,131$, в державах колишнього СРСР користуються табличним значенням $K_T = 0,14$. В той же час Паст [7] визначив, що для Німеччини дійсні значення рефракції найближчі до табличного значення Гаусса в сезон польових геодезичних робіт у середині дня за сонячної погоди. Очевидно, що єдиний коефіцієнт рефракції, закладений у програмах сучасних електронних геодезичних приладів, не дозволяє враховувати добовий хід і короткоперіодичні коливання коефіцієнта.

У рефрактометрії коефіцієнт рефракції (K) звичайно ділять на дві складові

$$K = K_n + K_{an}, \quad (1)$$

де K_n – нормальна і K_{an} – аномальна частини коефіцієнта відповідно.

Нормальну частину називають нормальним коефіцієнтом рефракції і визначають згідно із залежністю

$$K_n = 12,26 \frac{P}{T^2}, \quad (2)$$

де P – тиск у ГПа, T – абсолютна температура в градусах Кельвіна.

Нормальний коефіцієнт рефракції має місце при нормальній стратифікації атмосфери, коли вертикальні градієнти температури

$\gamma_n = -0,0098 \frac{\text{град}}{\text{м}}$ (при піднятті на 100 м температура зменшиться практично на 1°C).

Нормальний коефіцієнт – стала величина, незалежна від довжини S та еквівалентної висоти h_e променя світла.

Незмінність нормального коефіцієнта рефракції наявна в однорідних рефракційних полях нижніх прошарків атмосфери, в яких $\gamma_n = -0,0098 \frac{\text{град}}{\text{м}}$ та стабільне відношення $\frac{P}{T^2}$.

В Україні, у сезон польових геодезичних робіт (травень-вересень), за плюсової температури повітря, приймаючи $P_{сер} = 986$ ГПа (740 мм рт.ст.) і $T_{сер} = 288^\circ\text{C}$ ($t_{сер} = 15^\circ\text{C}$), отримаємо

$K_n = 0,146$. Якщо тиск змінюється в межах $P_i = 740 \pm 20$ мм рт.ст., а температура – в межах $t_i = 15 \pm 10^\circ\text{C}$ то K_n змінюється в межах 0,132–0,160. Сумарне значення коефіцієнта рефракції ($K = K_n + K_{an}$) змінюється не тільки за модулем, але і за знаком. Впродовж однієї доби K (за будь-яких стратифікацій температури) може змінюватися від +3,00 до –2,85 і більше.

Явище вертикальної рефракції пов'язане зі значними змінами видимих положень віддалених предметів. Тому спочатку було введено поняття кута рефракції, а пізніше – відносна міра рефракції, коефіцієнт рефракції

$$K = \frac{R_3}{R_C}, \quad (3)$$

де R_3 – радіус Землі, R_C – радіус кривої розповсюдження світла.

Кути рефракції можна обчислити або виміряти, оскільки вони реально існують, а коефіцієнти рефракції не можуть бути виміряні, а тільки обчислені за метеорологічними та геодезичними даними [3, 4, 8].

Відомо, що вплив кривини Землі на перевищення – K_3 описується формулою

$$K_3 = \frac{1}{2} \frac{S^2}{R_3}. \quad (4)$$

Оскільки рефракційна крива представлялась такою, що має постійний радіус R_C , як і поверхня Землі, то, знаючи K , можна на основі (3) знайти R_C

$$R_C = R_3 K. \quad (5)$$

Тоді вплив рефракції на вимірювання перевищення між двома будь-якими точками можна визначити як

$$r = \frac{1}{2} \frac{S^2}{R_3}, \quad (6)$$

де r – поправка на перевищення за рефракцію.

Насправді коефіцієнт рефракції K , визначений за формулою (3), не описує зміни кривини довільної кривої рефракції, не описує зміни R_C . Тому формула (6) не працює. Що стосується кута рефракції, який спотворює вимірний зенітний кут (зенітну віддаль), то цей кут створений інтегральним еквівалентним впливом атмосфери на всьому шляху променя світла.

Кут вертикальної рефракції [5] за відомою формулою А.А. Ізотова, Л.П. Пеллінена визначається як

$$\delta = 0,198 \frac{P}{T^2} S + 8,132 \frac{P}{T^2} \cdot \frac{c}{h_e} S, \quad (7)$$

де c – аномальний вертикальний градієнт температури на висоті 1 м, h_e – еквівалентна висота променя світла над підстелюючою поверхнею.

Перший доданок правої частини формули (7) – нормальна рефракція δ_n , другий доданок описує аномальну рефракцію δ_{an} .

Враховуючи такі позначення, запишемо (7) скорочено

$$\delta = \delta_n + \delta_{an}. \quad (8)$$

Це означає, що коли кут δ знайдено з вимірів (наприклад, як різницю між теоретичними значеннями зенітної віддалі Z_T та вимірним Z_B , тобто $\delta = Z_T - Z_B$), або за формулою (7), тоді можна визначити еквівалентний коефіцієнт

рефракції – K_e , що описує середню еквівалентну відносну кривину шляху розповсюдження променя світла (радіус $R_{c_{ep.e}}$) за залежністю

$$K_e = \frac{\delta 2 R_3}{\rho''}. \quad (9)$$

Дійсно, поправку на рефракцію r у виміряне перевищення можна визначити за формулою

$$r = \frac{\delta''}{\rho''} s. \quad (10)$$

На основі формул (7) і (8) можемо записати

$$\delta_n = 0,198 \frac{P}{T^2} S. \quad (11)$$

Як видно з (11), нормальний кут рефракції δ_n може залежати від довжини лінії S . Проте довжина лінії S при тригонометричному нівелюванні та світлодалекомірних вимірах звичайно відома, а за необхідності може бути визначена на карті. За тих же значень P_{cep} і T_{cep} , що використані для обчислення K_n за формулою (2), отримаємо

$$\delta_n = 2,35 \cdot 10^{-3} S \quad (12)$$

Тобто так само, як достатньо точно відомий нормальний коефіцієнт рефракції $K_n = 0,145$, або навіть з дещо більшою точністю відомий і вертикальний кут рефракції δ_n . Він складає, наприклад, $2,35''$ за довжини лінії $S = 1$ км. На основі (12) і (10) маємо формулу для визначення поправки на перевищення за нормальну рефракцію r_n

$$r_n = 0,11 \cdot 10^{-7} S^2. \quad (13)$$

Можна одержати контрольну формулу для визначення r_n , використовуючи нормальне значення коефіцієнта рефракції K_n . Запишемо

$$r_n = \frac{1}{2} \frac{S^2}{R_{c_n}}, \quad (14)$$

де R_{c_n} – постійний радіус світлової кривої у нормальному, однорідному полі рефракції.

Оскільки $K_n = \frac{R_3}{R_{c_n}}$, то

$$R_{c_n} = \frac{R_3}{K_n}. \quad (15)$$

На основі (14) і (15), враховуючи, що $K_n = 0,145$, радіус Землі $R_3 = 6371$ км, отримаємо

$$r_n = 0,11 \cdot 10^{-7} S^2. \quad (16)$$

У всіх формулах S , r та r_n в метрах.

Висновки

1. Єдиного постійного коефіцієнта рефракції, який включає нормальні й аномальні складові рефракційних впливів, не існує.

2. Єдиний табличний коефіцієнт рефракції (K_r), який закладений у сучасних електронних геодезичних приладах, не дозволяє враховувати добовий хід і короткоперіодичні коливання коефіцієнта.

3. Аномальна рефракція при інверсії температури – додатна, а при понададіабатичних градієнтах та термічному коливанні зображень візирних цілей – від'ємна. Для мінімізації її додатних значень недоцільно вести спостереження в періоди 1,0 – 1,5 години після сходу Сонця, а також закінчувати спостереження за 1,0 – 1,5 години перед заходом Сонця.

Список літератури

1. Ващенко В.И. Об исследовании зависимости коэффициента рефракции от абсолютной высоты / В.И. Ващенко, Б.М. Джуман, А.Л. Островский // Геодезия и картография. – 1974. – № 10. – С. 26–27.
2. Вильнер Д.Г. О некоторых аспектах проблемы учета местного коэффициента вертикальной рефракции для целей тригонометрического нивелирования / Д.Г. Вильнер // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1976. – № 24. – С. 8–18.
3. Мозжухин О.А. Определение коэффициента рефракции способом метеорологических измерений / О.А. Мозжухин // Геодезия и картография. – 1976. – № 12. – С. 27–32.
4. Островский А.Л. Современные достижения и задачи в области определения и учета вертикальной рефракции / А.Л. Островский // Геодезия и картография. – 1985. – № 10. – С. 30–77.
5. Маслич Д.Н. Определение разности коэффициентов рефракции, вызванных колебанием высот и асимметрией профиля линии нивелирования. / Д.Н. Маслич, С.Г. Власенко // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1974. – № 20. – С. 63–68.
6. Яковлев Н. Высшая геодезия: Учебник для вузов / Н. Яковлев. – М.: Недра, 1989. – 445 с.
7. Мороз О.И. Визначення та врахування вертикальної рефракції під час геодезичних вимірювань: [монографія] / О.И. Мороз. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2003. – 224 с.
8. Островський А.Л. Чи доцільне в сучасній геодезичній рефрактометрії поняття коефіцієнта рефракції? / А.Л. Островський // Зб. матер. V міжн.

наук.-техн. симпозиуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS – технології». – 2000. – С. 9-13.

Рецензент: І.С. Тревого, д.т.н., проф., Заслужений працівник освіти України, Академія сухопутних військ, Львів.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

И.В. Петлюк, Т.Г. Шевченко, А.И. Петлюк

Проанализировано влияние вертикальной рефракции на точность геодезических измерений при использовании табличного коэффициента вертикальной рефракции в современных электронных приборах.

Ключевые слова: рефракция, нивелир, табличный коэффициент рефракции, нормальная и аномальная части коэффициента рефракции.

THE USE OF COEFFICIENT OF VERTICAL REFRACTION IN MODERN ELECTRONIC DEVICES

I. Petliuk, T. Shevchenko, O. Petliuk

The article analyses influence of vertical refraction on accuracy of survey measurements when using tabular coefficient of vertical refraction in modern electronic devices.

Keywords: refraction, level unit, tabular coefficient of vertical refraction, normal and anomalous part of the refraction coefficient.

УДК 623.486

Б.О. Оліярник¹, І.В. Коплик², А.М. Ліцман²

¹ Державне підприємство Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут, Львів

² Науковий центр бойового застосування ракетних військ і артилерії Сумського державного університету, Суми

МЕТОД ГРУПУВАННЯ РОБІТ З ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИРОБІВ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ

Запропоновано метод групування робіт з технічного обслуговування виробів артилерійського озброєння.

Ключові слова: технічне обслуговування, артилерійське озброєння, відмова виробу, сумарна вартість, планово-попереджувальні заміни.

Постановка проблеми

Поява та розробка нових сучасних видів озброєння та військової техніки (ОВТ) і, зокрема, артилерійського озброєння (АО) викликала необхідність розробки не тільки нових форм і способів застосування військ, а також нового підходу до технічного забезпечення цих військ. Для підтримання рівня працездатності виробів АО на необхідному рівні в Збройних Силах України функціонує система технічного забезпечення військ. Складність умов використання виробів АО неминує веде до необхідності удосконалення системи технічного забезпечення військ і однієї з основних її складових – системи технічного обслуговування (ТО) [1].

Цілком зрозуміло, що в даний час неможливо з прийнятими обсягами витрат створити складні системи ОВТ, які б достатньо якісно функціонували

протягом тривалого часу їх експлуатації. Тому виникає необхідність здійснення технічного обслуговування та ремонту (ТО та Р) ОВТ в процесі експлуатації з метою своєчасного попередження можливих відмов. Керування режимами ТО та Р систем ОВТ є однією з актуальних проблем теорії надійності. Однак, не зважаючи на велику кількість робіт з керування режимами ТО та Р, багато важливих для практики задач все ще залишаються невирішеними. Одна з них – задача обґрунтування періодичності проведення ТО та Р [2].

Виклад основного матеріалу

Нехай в результаті аналізу конструкторської документації, досвіду експлуатації попередніх аналогічних та подібних виробів, ступеня уніфікації та стандартизації визначена множина робіт виробу, що розглядається. Показники періодичності виконання цих робіт систематизуються. В результаті