

АВТОМАТИЗОВАНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ У ТЕРМІЧНО-ТУРБУЛЕНТНІЙ АТМОСФЕРІ

© Гембарський Т.М., Островський А.Л., 2007

Досліджується точність автоматизованих методів визначення вертикальної рефракції електронним теодолітом і цифровим нівеліром, які оснащені ПЗЗ (приладами зарядного зв'язку) сенсорами. За розрахунками отримали $m_p = 0,75''$.

In article accuracy of automatic methods of definition vertical refraction by a electronic theodolite and the digital level, equipped with chambers CCD is investigated. As have shown calculations, root-sum-square uncertainty $m_p = 0,75''$.

Постановка задачі. Як відомо [1], вертикальна рефракція є однією з найбільших похибок при тригонометричному і геометричному нівелюванні.

Визначення та урахування рефракції, що досліджуються в багатьох країнах світу, вкрай необхідне, оскільки непрямої лінійність і нерівномірність поширення електромагнітних хвиль (ЕМХ) є головним бар'єром на шляху підвищення точності астрономо-геодезичних вимірів.

Сучасні методи рефрактометрії ґрунтуються на теорії турбулентності, оскільки явище турбулентності є не тільки випадковим, але й таким, що характеризується строгими фізичними законами. Проте, окомірні визначення турбулентності, тобто коливання зображення візорних цілей важкі (дуже стомлює очі спостерігача) і неточні. Деякі сучасні геодезичні прилади оснащені ССД-сенсорами (приладами зарядного зв'язку – ПЗЗ), які дають змогу визначити структурну характеристику турбулентності C_n або середні квадратичні похибки відліку рейки $m_{кв}$.

В наш час знайдені методи визначення та врахування рефракції, на жаль тільки при термічній турбулентності, які дають змогу автоматизувати визначення рефракції. Розглянемо три автоматизовані методи визначення рефракції. Перерахуємо ці методи:

1. За максимальними коливаннями зображень візорних цілей.
2. За допомогою цифрових нівелірів, що видають на дисплеї середні квадратичні похибки відліків рейок, викликані коливаннями зображень поділок цієї рейки.
3. За виміряною електронними тахеометрами структурною характеристикою термічної турбулентності атмосфери C_n .

Основний зміст роботи. Метод 1. Нагадаємо, що нормальне значення вертикальної рефракції (однакове в кінцевих і початкових точках 1 та 2) δ_H може бути визначене з точністю до $0,1-0,2''$ за формулою:

$$\delta_H'' = 0,198 \frac{\bar{B}}{T^2} S. \quad (1)$$

Проте нас цікавлять δ_{z_1} та δ_{z_2} – часткові рефракції в цих точках.

Відомо, що під час термічної турбулентності:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{z_1}'' &= \delta_H - \delta_{AH_1} \\ \delta_{z_2}'' &= \delta_H - \delta_{AH_2} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де δ_H – нормальне значення рефракції, δ_{AH_1} та δ_{AH_2} – аномальні значення рефракції в цих точках.

Для визначення δ_{AH_1} та δ_{AH_2} достатньо виміряти максимальні коливань зображення σ_1 та σ_2 за секунду – дві часу, у точках 1 та 2. Тоді як відомо:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{AH_1} &= \frac{\sigma_1}{2} \\ \delta_{AH_2} &= \frac{\sigma_2}{2} \end{aligned} \right\} . \quad (3)$$

Але можна обмежитись також вимірами σ_{AH_1} у точці 1, та, користуючись профілем траси, знайти еквівалентні висоти $h_{e_{1-2}}$ та $h_{e_{2-1}}$ за формулою:

$$h_e = \frac{2}{S^2} \int_0^S h_i S \cdot dS . \quad (4)$$

Знаючи еквівалентні висоти, можемо записати:

$$\delta_{AH_2} = \frac{\delta_{AH_1} \cdot h_{e_{1-2}}^{2/3}}{h_{e_{2-1}}^{2/3}} . \quad (5)$$

Якщо $h_e \leq 3m$, тоді застосовується точніша формула:

$$\delta_{AH_2} = \frac{\delta_{AH_1} \cdot h_{e_{1-2}}}{h_{e_{2-1}}} . \quad (6)$$

Отже, вимірявши у точці 1 тільки максимальні коливання зображень візирної цілі (відбивача, встановленого в точці 2), знайдемо аномальні рефракції δ_{AH_1} та δ_{AH_2} .

Потім за виразами (2) визначимо δ_{Z_1} та δ_{Z_2} . Тоді повну рефракцію, якщо її потрібно знати, знайдемо за формулою:

$$\delta_Z = \delta_{Z_1} + \delta_{Z_2} . \quad (7)$$

Метод 2. Сучасні цифрові нівеліри, наприклад, SDL30 фірми Sokkia (Японія) та DiNi22 фірми Zeiss (Німеччина) відображають на дисплеї середні квадратичні похибки відліків рейок, викликані турбулентністю атмосфери. Тому ці похибки можна вважати середніми квадратичними похибками рефракції – m_{KB} . Формула залежності між середніми квадратичними і середніми похибками рефракції у лінійній мірі має вигляд:

$$r_1 = \frac{m_{KB} \sqrt{S}}{2} \quad (8)$$

Якщо необхідно знати кутове значення рефракції, тоді можна скористатись формулою:

$$\delta_{AH_1}'' = \frac{m_{KB} \rho''}{2\sqrt{S}} . \quad (9)$$

Значення m_{KB} і S у (9) подано в метрах.

Метод 3. Електронний тахеометр ТМ300V фірми Leica (Швейцарія) відображає на дисплеї структурну характеристику турбулентності атмосфери C_n^2 . Доведено, що під час термічної турбулентності C_n^2 дорівнює аномальному вертикальному градієнту показника заломлення повітря. Тобто:

$$C_n^2 = \left(\frac{dn}{dh} \right)_{AH} \quad (10)$$

Тоді аномальну вертикальну рефракцію δ_{AH_1} можна знайти за формулою:

$$\delta_{AH_1} = \frac{1}{2} \rho'' \left(\frac{dn}{dh} \right)_{AH} S \cdot 10^{-6} \quad (11)$$

Формули (8) та (11) наведені в [2].

Метод 3 найпростіший і найточніший, необхідно однак мати прилад, що видає на дисплеї

$$C_n^2 = \left(\frac{dn}{dh} \right)_{AH}^2$$

Результати дослідження. У наведеній нижче таблиці подані значення рефракцій, виміряних при $S = 86$ м за допомогою цифрових теодоліта та нівеліра.

Різниця значень рефракцій характеризує точність такого визначення.

Приймаючи ці виміри як незалежні, подвійні виміри однієї і тієї самої величини, знайдемо середню квадратичну похибку такого вимірювання за формулою

$$m_{кв} = \sqrt{\frac{[\Delta\delta_i^2]}{2n}} \quad (12)$$

Отже, середня квадратична похибка наведених нижче вимірів становить:

$$m_{кв} = \sqrt{\frac{18,2575}{32}} = 0,75''.$$

Значення рефракцій, отриманих за допомогою теодоліта та нівеліра

Час	Рефракції $\delta''_{ан.сер.}$		Різниця рефракцій
	Теодоліт	Нівелір	$\Delta\delta''_i = \delta''_T - \delta''_H$
14:03	4,17	5,34	-1,17
14:21	5,76	6,23	-0,47
14:24	4,61	5,23	-0,62
14:30	5,32	4,00	1,32
14:51	7,27	5,43	1,84
14:57	4,70	6,33	-1,63
15:00	5,21	5,88	-0,67
15:06	4,86	5,44	-0,58
15:15	4,00	4,23	-0,23
15:48	5,76	4,66	1,10
15:54	3,28	3,45	-0,17
15:57	4,00	2,57	1,43
16:06	4,70	6,45	-1,75
16:15	4,35	4,12	0,23
16:21	4,44	3,45	0,99
16:27	4,70	5,23	-0,53

Висновок: Автоматизовані методи визначення рефракції мають точність 0,75''.

1. Островський А.Л., Джуман Б.М., Заблоцкий Ф.Д., Кравцов Н.И. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. М.: Недра. – 1990. – 231с. 2. Островський А.Л., Островська О.А., Новосад В.М., Кіселік О.В. Порівняльні дослідження точності автоматизованого визначення та врахування аномальної вертикальної рефракції сантиметром, відеотеодолітом та цифровим нівеліром // Геодинаміка. – Львів 1/(4), 2004. – С.17–23.