

В. І. ВАЩЕНКО, Б. М. ДЖУМАН

**ПРО ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ
ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ
ЗА КОЛИВАННЯМИ ЗОБРАЖЕНЬ**

Метод врахування вертикальної рефракції за коливаннями зображень з односторонніх спостережень ґрунтується на визначенні часткового кута або коефіцієнта рефракції з вимірювань на одному пункті під час спостережень зенітних віддалей та максимальних розмахів коливань зображень візирних цілей.

© Ващенко В. І., Джуман Б. М., 1993

На підставі [1] можна записати формулу середньої квадратичної помилки кута рефракції у вигляді

$$m_{\delta_B}^2 = 6,2 \cdot 10^{-4} L h_e^{-1} \sigma^2 (4 \sigma^{-2} m_{\sigma}^2 + h_e^{-2} m_{h_e}^2 + L^{-2} m_L^2). \quad (1)$$

З наведеної формули бачимо, що середня квадратична помилка визначення вертикального кута рефракції δ_B залежить, в основному, від точності вимірів максимального розмаху коливань зображень візирних цілей та еквівалентної висоти h_e . Третім членом в дужках можна знехтувати.

Таблиця 1

Значення похибок $m_{\delta_B}^2$.

Довжина трас, м	Еквівалентні висоти h_e , м									
	1	3	5	8	10	15	20	30	40	50
250	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
500	1,2	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
1000	1,7	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
3000	3,0	1,7	1,3	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
5000	3,8	2,3	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6
10000	5,5	3,2	2,5	1,9	1,7	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8

Точність вимірювання σ за допомогою бісектора або шкали з 10—20 поділками, нанесеними в площині сітки ниток труби теодоліта, можна характеризувати середньою квадратичною по-

Таблиця 2

Значення кутів рефракції

Показ- ники	1—2 L=250 м			1—3 L=650 м			3—1 L=650 м		
	Кути рефракції								
	δ_T^*	δ_K^*	δ_T^*	δ_T^*	δ_K^*	δ_T^*	δ_T^*	δ_K^*	δ_T^*
$n=15$	10,0	8,2	7,6	32,5	28,2	26,1	39,2	37,1	50,3
$n=15$	11,2	8,6	9,7	27,6	30,7	36,1	18,8	21,0	15,0
m_{σ}^2		3,1	5,0		4,5	8,0		3,0	8,2
M_{σ}^2		0,8			1,2			0,8	

мишкою, що дорівнює 1...2" для одного прийому спостережень, якщо коливання зображень визначати при двох кругах. Вимірюючи зенітні віддалі чотирма та більше прийомами, m_{σ} не буде перевищувати 1". Приймаючи $m_{\sigma}=1''$, $\sigma=20''$, $m_{h_e}=0,05 h_e$ та підставляючи в (1), після перетворень отримаємо наближену формулу для попереднього розрахунку точності кутів рефракції:

$$m_{\delta_B} = 5,5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{L}{h_e} \right)^2. \quad (2)$$

У табл. 1 наведені значення середніх квадратичних помилок кутів рефракції, визначених за формулою (2), для різних довжин трас та еквівалентних висот.

Дослідження точності визначення кута рефракції виконане за результатами експериментальних спостережень на трасах з однорідними підстилаючими поверхнями довжиною 250, 650 та

Таблиця 3

Обчислені значення кутів рефракції

Показники	Назви трас								
	Б—Бер	Б—Г	Бер—Г	С—Г	А—Б	С—Бер	Б—А	А—Бер	Б—С
L , км	2,9	4,4	2,7	4,3	5,5	2,3	5,5	4,5	4,7
h_e , м	7,0	11,0	16,0	22,0	44,0	20,0	31,0	35,0	32,0
σ''	22,4	18,8	7,2	14,6	6,4	11,4	2,8	19,2	0,6
σ''_T	-16,4	-5,0	2,1	-2,8	10,6	-1,8	11,5	0,7	12,9
δ''_k	-15,8	-8,0	1,9	0,2	9,7	0,4	11,4	6	11,8
δ''_T	-27,0	-11,6	3,7	0,4	9,5	2,3	28,0	2,6	14,4
δ''_k	0,6	-3,0	-0,2	3,0	-0,9	2,2	-0,1	-0,7	-1,1
δ''_T	-10,6	-6,6	1,6	3,2	-1,1	4,1	16,5	1,9	1,5

850 м із середніми висотами відповідно 1,4 1,2 та 1,1 м. Зенітні віддалі і коливання зображень вимірювались приладом ОТ-02, а температура на висотах 1 і 2,7 м психрометром Асмана.

У табл. 2 наведено середні значення кутів рефракції, визначені за коливаннями зображень δ_k і для порівняння метеорологічним методом δ_v . Теоретичні значення кутів рефракції δ_T для трас 1—2 отримані з точністю $\pm 1,5''$, а для трас 1—3 та 3—1 з точністю $\pm 1,0''$.

Дані табл. 2 свідчать, що навіть для трас з однорідними підстилаючими поверхнями метод коливань зображень дає точніші результати порівняно з метеорологічним методом. Середні квадратичні помилки кутів рефракції, одержанні з одного прийому, в два рази менші, ніж для метеорологічного методу і в середньому дорівнюють $m_{\delta} \approx 3,5''$. Таке значення середньої квадратичної помилки відповідає або наближене до помилки власне вимірів для приладу ОТ-02. Середні квадратичні помилки $M_{\delta} = m_{\delta}/h^{1/2}$ наближені для відповідних L та h_e до значень m_{δ_B} табл. 1.

Аналогічні експериментальні спостереження виконані у 1974 р. на геодезичному полігоні ЛПІ в мережі триангуляції

3 і 4 класів [1]. Zenітні віддалі та коливання зображень вимірювались чотирма прийомами. Результати досліджень наведені в табл. 3.

Тут показані значення кутів рефракції, одержані методом коливань зображень та метеорологічним методом для трас, довжиною від 2 до 6 км з еквівалентними висотами від 7 до 44 м. Теоретичні кути рефракції одержані з використанням висот пунктів з геометричного нівелювання II класу. Еквівалентні висоти обчислено методом чисельного інтегрування з профілів, побудованих з топографічної карти масштабу 1 : 50 000. Слід відзначити, що для досить широкого діапазону висот $h_e^{1/2} \approx (h_e)^{1/2}$.

З табл. 3 бачимо, що кути рефракції, враховані за коливаннями зображень, наближаються до їх теоретичних значень. Максимальні відмінності не перевищують 3". В той же час δ_v можуть значно відрізнятись від теоретичних значень, у нашому випадку більше як на 15".

Крім експериментальних досліджень, у 1974 р. підприємством № 13 ГУГК були виконані виробничі спостереження в години, близькі до полудня теплого періоду в мережі з 20 пунктів триангуляції 4 класу [2]. Значення z вимірювалось приладом OT-02, максимальну амплітуду коливань одержували з подвійного нівелювання на верх візирного циліндра, перший раз на середину верхнього зрізу візирного циліндра, що коливається, а другий раз — на верхню точку. Середня квадратична помилка кута рефракції з чотирьох прийомів для довжин сторін від 1,5 до 4 км та еквівалентних висот від 2 до 40 м дорівнює $m_B^z \approx 2,5''$.

Таким чином, точність визначення кутів вертикальної рефракції при нестійкій стратифікації за коливаннями зображень з односторонніх вимірів zenітних віддалей чотирма прийомами для мереж з довжинами трас до 5 км та еквівалентними висотами від 2 до 50 м характеризується середньою квадратичною помилкою $\approx 2''$. Така точність приблизно дорівнює розрахунковій точності (див. табл. 1).

Для визначення точності вимірювань zenітних віддалей з урахуванням вертикальної рефракції за коливаннями зображень з односторонніх спостережень у формулі (1) приймаємо $m_\delta = 2''$ при вимірі розмаху коливань одним прийомом, $m_{h_e} = 0,05$, $\delta = 20''$ та, нехтуючи третім членом в дужках через його малість, маємо

$$m_B^z = 6,2 \cdot 10^{-4} L h_e^{-1} \left(\frac{16}{n} + 1 \right), \quad (3)$$

де n — кількість прийомів вимірювання δ'' .

Підставляючи (3) у формулу

$$m_z^2 = m_s^2 + \mu^2 + m_i^2 + m_B^2 \quad (4)$$

та враховуючи, що значення помилки власне вимірів μ залежить від кількості прийомів n , одержимо

$$m_z^2 = 6,2 \cdot 10^{-4} L h_e^{-1} \left(\frac{16}{n} + 1 \right) + \frac{\mu^2}{n} + m_i^2 + m_B^2, \quad (5)$$

де m_i — інструментальні помилки; m_B — помилки візування; m_s — помилки за рефракцією.

Розрахунок точності вимірних зенітних віддалей за формулою (5) при $n=6$, $\mu=3''$, $m_i=0,7''$, $m_B=0,5''$ наведено в табл. 4.

Значення похибок m_z^2

Таблиця 4

Довжина трас. м	Еквівалентні висоти, м									
	1	3	5	8	10	15	20	30	40	50
500	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1000	2,1	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5
2000	2,6	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
5000	3,7	2,5	2,1	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6
10000	5,0	3,1	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6

З табл. 4 бачимо, що точність вимірних зенітних віддалей з односторонніх спостережень незначно міняється залежно від висоти та довжини візирного променя. Значення середніх квадратичних помилок кутів рефракції, одержаних з шести прийомів, коливаються від 1,5 до 2,5'' при вимірі довжин до 10 км та еквівалентних висот від 1 до 50 м, тобто у всьому практичному діапазоні комбінацій L і h_e .

Слід зауважити, що збільшуючи кількість прийомів спостережень n , цим методом можна підвищити точність виміру зенітних віддалей приблизно в 1,5 раза.

1. Джуман Б. М. О точности определения угла вертикальной рефракции по колебаниям изображений // Тез. докл. Всесоюз. совещания по рефракции электромагнитных волн в атмосфере. Томск, 1983. С. 67—69. 2. Шевчук П. М. Вопросы восстановления и сгущения государственной геодезической сети для обеспечения крупномасштабных съемок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1977.

Стаття надійшла до редколегії 19.03.91