

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВЕРТИКАЛЬНИМИ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ КОЛИВАННЯМИ ЗОБРАЖЕНЬ ВІЗИРНИХ ЦІЛЕЙ

Вертикальну рефракцію δ_V при вимірюванні зенітних кутів, або кутів нахилу, можна виразити формулою

$$\delta_V = \delta_{V_n} + \delta_{V_a}, \quad (1)$$

де δ_{V_n} та δ_{V_a} — відповідно нормальна та аномальна складові частини вертикальної рефракції. При цьому δ_{V_n} можна визначити з достатньою точністю для практичних цілей на основі простої формули:

$$\delta_{V_n} = 0,198 \frac{P}{T^2} \cdot S \quad (2)$$

Тут P — середній тиск у мілібарах ($1 \text{ мбар} = 10^2 \text{ Па}$); T — абсолютна температура; S — довжина лінії візування в метрах. Щоб знайти P і T , достатньо виміряти тиск та температуру на кінцях лінії S :

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}; \quad (3)$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}. \quad (4)$$

Звичайно, P , а особливо T не дорівнюють середнім інтегральним значенням тиску і температури \bar{P} та \bar{T} на трасі S . Але розходженнями відповідно між P і \bar{P} та T і \bar{T} можна нехтувати. Тоді помилка у визначенні δ_{V_n} не буде перевищувати $0,2''$.

Все це означає, що для визначення нормальної складової частини вертикальної рефракції достатньо проводити виміри температури та тиску на кінцях траси S .

Значно складніше знайти аномальну частину вертикальної рефракції — δ_{V_a} . Дослідженнями показано, що δ_{V_a} найпростіше визначити за коливаннями зображень візирної цілі: *

$$\delta_{V_a} = \frac{A_i}{2}. \quad (5)$$

* *Островский А. Л., Джуман Б. М., Заблоцкий Ф. Д., Кравцов Н. И. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. М., 1990.*

У (5) A_i — максимальний розмах (подвійна амплітуда коливань зображень).

Таким чином, вертикальну рефракцію можна визначити за формулою

$$\delta_B = 0,198 \frac{P}{T^2} \cdot S - \frac{A_i}{2}. \quad (6)$$

Логічно виникає питання: чи можна за горизонтальними коливаннями зображень визначити горизонтальну (бокову) рефракцію?

Формулу поправки у напрямок за бокову рефракцію можна записати так:

$$\delta_\Gamma = - \frac{0,198}{S} \gamma \Sigma, \quad (7)$$

де

$$\Sigma = \int_0^s \operatorname{tg} \alpha \cos \nu S dS \quad (8)$$

$$\gamma = \gamma_n + \gamma_a. \quad (9)$$

Відповідно у (7), (8) та (9) введено такі позначення: Σ — рефракційна загроза напрямку; α — кут нахилу рельєфа на даній секції світлового променя; ν — кут між візирною лінією і горизонталлю на карті на даній секції dS ; γ_n , γ_a — нормальна та аномальна складові частини вертикального градієнта температури.

Оскільки $\gamma_n = 0,0098$ о/м, то формулу (7), приймаючи, що $0,0098 = 0,01$, запишемо так:

$$\delta_\Gamma = - \frac{0,198}{S} \cdot 10^{-2} \Sigma - \frac{0,198}{S} \gamma_a \Sigma. \quad (10)$$

У правій частині формули (10) другий член визначити важко, тому що не відома на висоті променя аномальна складова частина вертикального градієнта — γ_a .

За аналогією з вертикальною рефракцією можна записати:

$$\delta_\Gamma = \delta_{\Gamma_n} + \delta_{\Gamma_a} \quad (11)$$

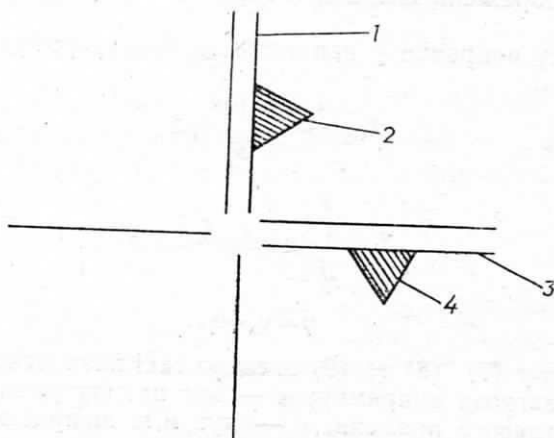
та допустити, що

$$\delta_{\Gamma_a} = - \frac{0,198}{S} \gamma_a \Sigma = \frac{A_\Gamma}{2}, \quad (12)$$

де $\frac{A_\Gamma}{2}$ — амплітуда горизонтальних коливань зображень візирної цілі.

Якщо формула (12) вірна, то ми мали б новий метод визначення бокової рефракції. Оскільки δ_{Γ} звичайно на порядок менше $\delta_{\text{В}}$, то слід чекати, що A_{Γ} також значно менше $A_{\text{В}}$.

Для перевірки справедливості формули (12) виконані спеціальні експериментальні дослідження в експедиційних умовах у районі наукової геодезичної станції міста Шацька, а також у районі навчального полігону ЛПІ в м. Бережани.



Поле зору труби:

1, 3 — вертикальний і горизонтальний бісектори; 2, 4 — візирні марки для вимірювання горизонтальних та вертикальних коливань.

Суть цих експериментальних досліджень полягає в одночасному вимірюванні горизонтальних — A_{Γ} та вертикальних — $A_{\text{В}}$ коливань зображень у полі зору труби теодоліта. При цьому розмах вимірювався в десятих долях ширини горизонтального та вертикального бісектора і може бути переведений у кутові секунди.

На рисунку показано поле зору труби при відсутності коливань. Основа трикутної марки 2 дотикається правої нитки вертикального бісектора, а марки 4 — нижньої нитки горизонтального бісектора. Тепер вважаємо, що починаються коливання зображень і основа марки 2 пересікає праву нитку бісектора та наближається до лівої нитки, наприклад, на 0,2 ширини бісектора. Тоді $A_{\Gamma} = 0,2$. Таким чином, коливання можна оцінювати за десятибальною системою: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0.

Аналогічно оцінювались вертикальні коливання за допомогою горизонтального бісектора.

Середні значення в прийомі коливань зображень

Дата	Час вимірів		Середні колив.		Погода	Примітки
	поча-ток	кінець	В.К.	Г.К.		
1	2	3	4	5	6	7
11.07.90	15.55	15 59	0,24	0,35	Сонце	Місце проведення Шацьк, довжина лінії 297 м, час київський
	16 07	16 10	0,32	0,35	Похм.	
	16 15	16 16	0,29	0,30	Сонце	
	16 20	16 25	0,31	0,36	"	
	16 29	16 34	0,27	0,31	"	
	16 36	16 38	0,32	0,36	"	
	16 39	16 42	0,29	0,34	"	
	Сер.			0,2914	0,34	
12.07.90	10 59	11 01	0,37	0,38	Сонце	
	11 13	11 14	0,37	0,37	"	
	11 46	11 48	0,30	0,38	"	
	11 53	11 55	0,38	0,36	"	
	12 14	12 15	0,33	0,40	"	
	12 33	12 36	0,22	0,36	"	
	13 59	14 00	0,28	0,48	"	
	14 03	14 06	0,26	0,32	"	
Сер.			0,31	0,38		
13.07.90	8 35	8 36	0,30	0,32	Сонце	
	9 59	10 01	0,29	0,31	"	
	10 03	10 04	0,32	0,36	"	
	10 30	10 31	0,36	0,38	"	
	11 29	11 30	0,37	0,40	"	
	12 00	12 04	0,37	0,42	"	
	12 32	12 34	0,42	0,43	"	
	13 09	13 11	0,40	0,41	"	
Сер.			0,35	0,38		
5.08.90	9 04	9 07	0,38	0,35	Сонце	Місце проведення м. Бе- режани, довжина лінії 590 м
	10 05	10 07	0,34	0,38	"	
	11 04	11 07	0,37	0,42	"	
	12 05	12 07	0,56	0,47	"	
	13 05	13 07	0,63	0,60	"	
	14 04	14 06	1,03	0,91	"	
	15 05	15 07	0,96	0,89	"	
	16 05	16 07	0,54	0,59	"	
	17 05	17 07	0,24	0,38	"	
	18 05	18 07	0,19	0,27	"	
	19 05	19 07	0,12	0,19	"	
20 05	20 07	0,00	0,02	"		
Сер.			0,45	0,46		

1	2	3	4	5	6	7
14.08.90	10 00	10 07	0,26	0,29	Сонце	
	11 00	11 07	0,34	0,34	"	
	12 05	12 07	0,57	0,49	"	
	13 05	13 07	0,72	0,60	"	
	14 05	14 07	0,77	0,86	"	
	15 05	15 07	0,85	0,99	"	
	16 05	16 07	0,64	0,72	"	
	17 05	17 07	0,45	0,43	"	
	18 05	18 07	0,24	0,25	"	
	Сер.		0,54	0,56		
20.08.90	9 05	9 07	0,24	0,24	Сонце	
	10 05	10 07	0,32	0,32	"	
	11 05	11 07	0,35	0,34	"	
	12 05	12 07	0,43	0,41	"	
	13 05	13 07	0,62	0,57	"	
	14 05	14 07	0,81	0,81	"	
	15 05	15 07	0,99	0,97	"	
	16 05	16 07	0,59	0,59	"	
	17 05	17 07	0,43	0,36	"	
18 05	18 07	0,23	0,21	"		
	Сер.		0,50	0,48		
5.08.90	9 00	9 02	0,12	0,14	Сонце	Місце проведення м. Бережани, довжина лінії 280 м, час київський
	10 00	10 03	0,24	0,28	"	
	11 00	11 02	0,36	0,31	"	
	12 00	12 03	0,52	0,57	"	
	13 00	13 04	0,56	0,65	"	
	14 00	14 02	0,68	0,78	"	
	15 00	15 02	0,62	0,70	"	
	16 00	16 02	0,52	0,52	"	
	17 00	17 03	0,27		"	
	18 00	18 02	0,20	0,19	"	
	19 00	19 02	0,10	0,11	"	
20 00	20 02	0,00	0,00	"		
	Сер.		0,38	0,41		
14.08.90	10 00	10 02	0,15	0,25	Сонце	
	11 00	11 02	0,17	0,32	"	
	12 00	12 02	0,30	0,36	"	
	13 00	13 02	0,43	0,44	"	
	14 00	14 02	0,65	0,65	"	
	15 00	15 02	0,60	0,88	"	
	16 00	16 02	0,43	0,57	"	
	17 00	17 08	0,34	0,42	"	
	18 00	18 02	0,10	0,25	"	
19 00	19 02	0,00	0,00	"		
	Сер.		0,35	0,46		

1	2	3	4	5	6	7
20.08.90	9 00	9 02	0,02	0,03	Сонце	
	10 00	10 02	0,22	0,24	"	
	11 00	11 02	0,29	0,33	"	
	12 00	12 02	0,31	0,33	"	
	13 00	13 03	0,36	0,38	"	
	14 00	14 02	0,63	0,63	"	
	15 00	15 02	0,76	0,79	"	
	16 00	16 02	0,56	0,55	"	
	17 00	17 02	0,32	0,34	"	
	18 00	18 02	0,13	0,14	"	
	Сер.		0,36	0,38		

Окремий прийом вимірювань складався з 10 вимірів розмахів, як вертикальних та горизонтальних коливань зображень. Всього виконано 86 прийомів на трьох лініях довжиною 280, 297, 590 м протягом дев'яти днів ясної та змінної погоди у липні та серпні 1990 року.

У таблиці наведені результати вимірів, а саме середні значення розмаху горизонтальних — A_H та вертикальних — A_V коливань з окремого прийому. Крім того, виведені середні значення A_V та A_H за кожний з дев'яти днів спостережень.

Точність визначення розмаху коливань оцінюється середньою квадратичною помилкою, яка становить близько $0,1\sqrt{10} - 0,03$ ширини бісектора, тобто приблизно $0,9''$.

Це означає, що середнє значення розмаху коливань, виведене з 10 прийомів, дорівнює $0,01$ ширини бісектора, або $0,3''$.

Із аналізу результатів вимірів коливань випливає: 1) розмах горизонтальних та вертикальних коливань зображень візирної цілі в один фізичний момент однаковий; 2) таке, досі не відоме геодезістам, фізичне явище, можна пояснити стохастичністю турбулентних рухів частинок повітря; 3) факт, що за середніми результатами вимірів розмах горизонтальних коливань незначно перевищує вертикальні (чого насправді немає), можна пояснити неточністю визначення кутової ширини бісекторів.

Головний висновок з одержаних результатів досліджень можна сформулювати так: безпосереднє визначення аномальної частини бокової рефракції за коливаннями зображень, тобто турбулентним методом, неможливе. Це, однак, не заперечує застосування посереднього шляху визначення бокової рефракції на основі зображень коливань. Дійсно, якщо за коливаннями зображень визначити вертикальну рефракцію, то в багатьох випадках можна визначити також і бокову рефракцію.

Стаття надійшла до редколегії 27.03.91