

РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ МЕТЕОРОЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ ПРИ ОДНОСТОРОННІХ СПОСТЕРЕЖЕННЯХ

Врахування вертикальної рефракції метеорологічним методом полягає у визначенні часткового кута або коефіцієнта рефракції з виміряних під час спостережень зенітних віддалей осереднених значень атмосферного тиску, профілей температури та вологості повітря.

Точність визначення коефіцієнта рефракції залежить від значень похибок визначення температури T , вологості p , градієнта температури c та еквівалентної висоти h_e .

На основі формули [1]

$$k = k_n + 502,4 \frac{P}{T^2} \frac{c}{h_e} \quad (1)$$

маємо

$$m_k^2 = \left(500 \frac{c}{h_e T^2} \right)^2 m_p^2 + \left(500 \frac{cp \cdot 2}{h_e T^3} \right)^2 m_T^2 +$$

$$+ \left(500 \frac{\rho}{T^2} \frac{c}{h_e^2} \right)^2 m_{h_e}^2 + \left(500 \frac{\rho}{T^2} \frac{1}{h_e} \right)^2 m_c. \quad (2)$$

Зважаючи на незначний вплив перших трьох членів формули (2) на величину m_h та нехтуючи ними, дістаємо

$$m_h = 500 \frac{\rho}{T^2} \frac{m_c}{h_e}. \quad (3)$$

Таким чином, точність визначення коефіцієнта рефракції метеорологічним методом залежить, головним чином, від похи-

Таблиця 1

Пункти спостережень	Значення m_c	
	Нестійка стратифікація	Стія стратифікація
Віжомля—С. Вишня-Рогізно	$\pm 0,18$	$\pm 0,17$
Становое—Борщева	$\pm 0,16$	$\pm 0,22$
Становое—Петровське	$\pm 0,20$	$\pm 0,21$
Середнє:	$\pm 0,18$	$\pm 0,20$

бок визначення градієнта температури на висоті 1 м над підстилаючою поверхнею.

Помилка визначення градієнта температури складається із власне градієнтних визначень та помилки невідповідності вимірюваного значення c в одній точці його еквівалентному значенню

$$c_e = \frac{2}{L^2} \int_0^L cL dL, \quad (4)$$

яке враховує неоднорідність підстилаючих поверхонь вздовж траси.

Для визначення значень m_c використані матеріали експериментальних спостережень, виконаних у зимовий період на пунктах триангуляції Віжомля, Судова Вишня, Рогізно [3]. На цих пунктах протягом місяця вимірювались одночасно, щогодини різниці температур на двох висотах (одні і три метри).

Використані також результати одночасних двосторонніх градієнтних спостережень ЦНДІГАіК на лініях Становое—Борщева та Становое—Петрівське [1]. Результати цих досліджень наведені в табл. 1.

Значення m_c обчислені за різницями одночасно вимірюваних градієнтів на суміжних пунктах триангуляції. З табл. 1 бачимо,

що значення m_c приблизно однакові для різних груп пунктів спостережень, а також для різних температурних стратифікацій. На основі табл. 1, за формулою (3) виконано розрахунок точності коефіцієнтів рефракції, одержаних метеорологічним методом, для різних еквівалентних висот. Для цього прийнято середні значення m_c , $T = 290^\circ\text{K}$, $p = 1000$ гПа.

Дані табл. 2 свідчать, що точність визначення k метеорологічним методом при різних стратифікаціях приблизно одна-

Таблиця 2

Розрахунок точності k по середньому значенню m_c

Показники	Еквівалентні висоти, м									
	3	5	8	10	15	20	25	30	40	50
Нестійка стратифікація										
$\pm m_k$	0,36	0,21	0,13	0,11	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02
Стійка стратифікація										
$\pm m_k$	0,40	0,24	0,15	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02

кова. При збільшенні еквівалентної висоти точність підвищується, а вище приземного шару, напевно, залишається постійною і відповідає помилкам власне вимірів зенітних віддалей z .

Слід зазначити, що m_c одержане для горбистих районів Підмосков'я та Прикарпаття з неоднорідними підстилаючими поверхнями. Тому можна чекати, що для районів з однорідними підстилаючими поверхнями значення m_c будуть дещо відрізнятися від значень, наведених у табл. 2. Дослідження цього питання на матеріалах експериментальних спостережень у пустельному районі Середньої Азії [2] показали, що значення середньої квадратичної помилки градієнта температури на висоті 1 м над поверхнею Землі $m_c \approx \pm 0,22$. Таке значення наближається до середніх значень m_c табл. 1. Отже, попередній розрахунок точності визначення рефракції метеорологічним методом з достатньою надійністю можна отримати за формулою (3), приймаючи $m_c = \pm 0,20$.

Для дослідження точності визначення коефіцієнта рефракції використано матеріали спостережень, виконаних у зимовий і літній періоди [3]. Всі значення коефіцієнтів рефракції, що одержано з односторонніх спостережень 70 ліній довжиною від 3 до 20 км мережі триангуляції 2 і 3 класів, згруповано за величинами еквівалентних висот у діапазоні від 5 до 50 м окремо для нестійкої та стійкої стратифікації. Обчислено різниці Δ теоретичних та одержаних із спостережень шістьма прийомами

значень коефіцієнтів рефракції, а також середні квадратичні помилки коефіцієнта рефракції для кожної групи напрямків

$$m_k = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (5)$$

У табл. 3 для кожної групи напрямків наведено середні значення k , величини m_k , а також значення m_z^* , обчислених за формулою

$$m_z^* = m_k \frac{L}{0,062} \quad (6)$$

Таблиця 3

Показники	Значення m_k							
	Еквівалентні висоти, м							
	5	10	15	20	25	30	40	50
L , км	3,0	5,5	5,0	8,0	7,7	11,0	11,0	10,8
Нестійка стратифікація								
\bar{k}	-0,07	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14
$\pm m_k$	0,14	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
$\pm m_z^*$	6,8	6,3	5,7	6,5	6,1	7,1	4,9	3,6
n	30	20	43	53	33	35	50	14
Стойка стратифікація								
\bar{k}	0,34	0,25	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18	0,15
$\pm m_k$	0,16	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,04	0,02
$\pm m_z^*$	7,7	6,3	5,7	7,8	6,1	5,4	7,1	3,6
n	16	15	27	29	31	24	50	17

Дані табл. 3 свідчать, що точність визначення коефіцієнтів рефракції метеорологічним методом однакова для різних стратифікацій. Середні квадратичні помилки m_k приблизно дорівнюють їх значенням, що обчислені за формулами (3), за виключенням груп ліній з еквівалентними висотами 5 та 10 м, для яких m_k відрізняється до 30% (див. табл. 2).

Аналогічні дослідження виконано за матеріалами експериментальних спостережень ЦНДІГАіК [1]. Для обробки взяті всі односторонні виміри на «великі» і «малі» віддалі, в яких немає пропусків окремих напрямків, крім вимірів 14. IX о 20^h30^m, виконаних при дуже сильній інверсії температур у тиху погоду, коли можливі накопичення холодного повітря на різних ділянках трас, що створюють заломлюючі поверхні різних нахилів. При тихій погоді та сильній інверсії температур виконано також вимірювання 15. XI, 16. VI, 13. VIII, 13. IX та 15. IX,

що становлять приблизно 6% всіх односторонніх вимірів на «величкі» віддалі.

Аналіз результатів цих вимірів показує, що при стійкій стратифікації в тиху погоду значення коефіцієнтів рефракції для трас з однаковими еквівалентними висотами можуть відрізнятися у 2—3 рази. Значення еквівалентних вертикальних градієнтів температури для різних трас змінюються у межах від $v_e = ch_e^{-1}$ до $\gamma = ch_e^{-2,3}$.

Таблиця 4

Значення m_h (по ЦНДІІГАіК)

Показники	Еквівалентні висоти, м									
	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30
L км	1,0	1,4	3,1	2,0	3,2	10,1	12,0	8,0	12,1	16,9
Нестійка стратифікація										
\bar{k}	-0,00	-0,43	-0,31	-0,14	-0,07	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12
n	20	40	70	20	20	32	26	23	15	11
$\pm m_k$	0,41	0,26	0,18	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,05	0,03
$\pm m''$	6,6	5,8	9,0	3,6	4,7	13,1	13,5	6,5	9,8	8,2
Стойка стратифікація										
\bar{k}	0,75	0,63	0,61	0,56	0,48	0,43	0,34	0,30	0,27	0,26
n	20	40	66	20	20	26	25	24	15	24
$\pm m_k$	0,37	0,26	0,19	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
$\pm m_z$	6,0	5,8	9,5	3,9	5,7	14,7	15,5	9,0	11,7	13,6

Отже, у ці періоди параметри h_e не завжди є надійними показниками для визначення вертикальної рефракції. Тому вимірювання, що виконані у таких умовах, у подальших дослідженнях не враховуються.

У табл. 4 наведені середні значення коефіцієнтів рефракції та їхні середні квадратичні помилки з однієї серії спостережень для різних груп трас із середніми еквівалентними висотами в діапазоні від 3 до 30 м та середніми довжинами ліній відповідно від 1,0 до 16,9 км.

Порівнюючи дані табл. 2, 3 та 4, можна зробити висновок, що значення m_h , одержані для Прикарпаття та Підмосков'я, майже однакові, максимальна різниця становить 0,04 коефіцієнта рефракції при $h_e = 5$ м. Такі ж відмінності маємо, порівнюючи значення m_h , обчислені за формулою (3) та наведені у табл. 4.

Розрахунок точності вимірюваних зенітних віддалей можна виконати за формулою

$$m_z^2 = m_0^2 + \mu^2 + m_i^2 + m_b^2 \quad (7)$$

де m_0 — помилка за рефракцію; μ — помилка власне вимірів; m_i — інструментальні помилки; m_B — систематичні помилки візування.

На підставі формули

$$m_z^* = \frac{m_k L_{\text{сер}} \rho''}{2 R_3} \quad (8)$$

формул (3), (7), а також приймаючи помилки $\mu = \pm 3,0''$; $m_i = \pm 0,7''$ та $m_B = \pm 0,5''$, маємо

$$m_z^* = 6,5 \cdot 10^7 \frac{\rho^2 m_c^2}{T^4 h_z^2} L^2 + \frac{\mu^2}{n} + m_i^2 + m_B^2. \quad (9)$$

Тут L — довжина траси, км; n — кількість прийомів.

Таблиця 5

Точність виміряних z при врахуванні рефракції метеорологічним методом

Показ-ники	Еквівалентні висоти, м										
	3	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50
$L=2$ км											
$\pm m_z^*$	11,5	8,6	5,7	4,6	3,7	2,7	2,3	2,0	1,9	1,7	1,6
$L=6$ км											
$\pm m_z^*$	34,2	25,7	17,1	12,9	10,3	7,0	5,3	4,4	3,7	3,0	2,5
$L=10$ км											
$\pm m_z^*$	57,0	42,8	28,5	21,4	17,2	11,5	8,7	7,0	5,9	4,5	3,7

Дані розрахунків точності виміряних зенітних віддалей z з врахуванням рефракції метеорологічним методом при $m_c=0,19$; $T=300$ К; $p=1000$ гПа та $n=6$ наведені у табл. 5.

Враховуючи те, що точність визначення коефіцієнта рефракції приблизно однакова для стійкої і нестійкої стратифікацій, значення m_z обчислені за середньою величиною m_c .

З табл. 5 бачимо, що точність виміряних зенітних віддалей з врахуванням впливу вертикальної рефракції метеорологічним методом залежить від еквівалентної висоти та довжини візирного променя. При цьому найбільші значення m_z маємо для мінімальних і максимальних довжин ліній. Так, для довжини траси $L=10$ км та $h_e=3$ м, $m_z \approx 1$, що відповідає помилці в перевищенні $m_h=3$ м.

Удосконалення метеорологічного методу шляхом підвищення точності виміряних вертикальних градієнтів не зможе дати ба-

жані результати внаслідок змінності цих градієнтів у різних точках проходження променя над різними підстилаючими поверхнями. Наприклад, застосування метеорологічного методу для врахування рефракції у тригонометричному нівелюванні при $L=1$ км та еквівалентних висотах 2...3 м не забезпечує точності навіть технічного нівелювання з граничною нев'язкою 50 мм \sqrt{L} .

1. *Изотов А. А., Пеллинен Л. П.* Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования // Тр. ЦНИИГАиК. 1955. Вып. 102.
2. *Суюнов А. С.* Закономерности действия и методы учета рефракции при геодезических измерениях в условиях Средней Азии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1988.
3. *Джуман Б. М.* Влияние рефракции на точность геодезического нивелирования в периоды спокойных изображений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1970.

Стаття надійшла до редколегії 27. 03. 91