

## ДО ПИТАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА УСУНЕННЯ ДІЇ АНОМАЛЬНОЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ

© Мороз О., 2011

*Предложен способ определения и учета аномальной вертикальной рефракции  
в период температурной стратификации атмосферы.*

*The method of determination and registration of the anomalous vertical refraction at the period  
of the atmosphere temperature stratification.*

**Постановка проблеми.** Останнім часом набуло широкого впровадження в геодезичне виробництво електронних та лазерних геодезичних приладів, що значно покращило якість топографо-геодезичних вимірювань.

Підвищення точності геодезичних вимірювань відбулось, переважно, за рахунок удосконалення приладів та ефективності технологічних процесів. Підвищення точності геодезичних вимірювань стримується не розміром помилок власне приладів, а помилками, пов'язаними із впливом зовнішнього середовища на результати вимірювань. Так, наприклад, сучасні електронні геодезичні прилади дають можливість вимірювати кут з точністю до десятої частки секунди, а високоточним віддалеміром можна виміряти лінію з точністю до 0.5 мм на віддалі до двох кілометрів. Вплив атмосфери на результати геодезичних вимірювань може давати помилку десятка кутових мінут. Однак останнім часом питанню визначення та врахування аномальної вертикальної рефракції, на наш погляд, приділялося не достатньо уваги. Спробуємо виправити цю несправедливість.

**Аналіз основних досліджень та публікацій присвячених даній тематиці.** Проблемою впливу атмосфери на точність астрономо-геодезичних вимірювань займаються вчені світу більше ніж 300 років. Як не дивно, але ця проблема не тільки не вирішена, але й ще більше загострилася. Насамперед це пов'язано із зростанням вимог до побудови геодезичних планових та висотних мереж, вимірів на геодинамічних полігонах, контролем за спорудженням та експлуатацією унікальних інженерних споруд. Однією із складових, що впливає на точність геодезичних вимірювань, є вертикальна рефракція. Прийнято вважати, що близько 90 % всіх геодезичних вимірювань виконують у приземному прошарку атмосфери, який характерний доволі різкими змінами свого стану. Закономірні за часом для певної широти зміни метеорологічних параметрів є причиною так званої нормальної рефракції. Величина рефракції є функціонально залежною від метеорологічних елементів, градієнтів та умов місцевості і має добовий та річний хід. Нагромаджено значний досвід у вимірюванні та врахуванні нормальної рефракції, одержано достатню кількість залежностей для визначення величини рефракції. Однак варто зауважити, що використовувати ці залежності для визначення поправок за рефракцію можна з певною обмеженістю, оскільки вимірювання метеопараметрів, зокрема, температури на шляху будь-якого променя може бути занадто складним, дорогим, а часто просто неможливим. Тим не менше вимірювання, визначення та врахування нормальної вертикальної рефракції є складним, але досяжним.

Напрямок розповсюдження променів у приземному шарі атмосфери залежить не тільки від циклічних змін метеорологічних параметрів атмосфери, а й від перемішування шарів повітря, вітру, вихорів тощо. Такий стан атмосфери називають турбулентним. У турбулентній атмосфері відбуваються безперервні зміни показника заломлення повітря на шляху розповсюдження променів. Зміни показника заломлення зумовлюють обмеженість видимості, а також коливальні зображення візорних цілей. Це є зовнішнім відчутним проявом термічної турбулентності атмосфери, або аномальної рефракції.

Виконані спостереження [2–7] показали, що коливання, спричинені турбулентністю, різні за частотою та амплітудою. На початковій фазі переходу атмосфери у термічно турбулентний стан з'являється малопомітне переміщення візирних цілей.

Надалі амплітуда коливань зростає, а частота видимих коливань перебуває в межах від 10–15 Гц до 1,0 – 0,1 Гц.

Величину вертикальної рефракції прийнято поділяти на нормальну та аномальну складові аналогічно до метеорологічного поділу градієнтів температури, тобто

$$\delta = 0.198 \frac{P}{T^2} L - 8.132 \frac{P}{T^2} L \gamma_{\text{ан.е.макс.}} \quad (1)$$

де другий доданок залежності (1) є аномальною складовою. Для максимальних коливань зображень залежність (1) можна записати так:

$$\Delta \sigma_{\text{макс}} = 8.132 \frac{P}{T^2} L \gamma_{\text{ан.е.макс.}} \quad (2)$$

де

$$\gamma_{\text{ан.е.макс.}} = \frac{2}{L^2} \int_0^L \gamma_{\text{ан.макс.}} \cdot l \, dl \quad (3)$$

У залежностях (2) і (3) прийнято, що  $\Delta \delta_m = 2\sigma_{\text{Амакс}}$  – максимальний кутовий розмах коливань зображень (подвійна амплітуда) аномального еквівалентного та точкового вертикального градієнтів температури відповідно;  $l$  – відрізки лінії  $L$  від візирної цілі до точки інтегрування, що збігається з серединами нескінченно малих відрізків  $dl$ , в яких, власне, є максимальні флуктуації  $\gamma_{\text{ан.е.макс.}}$  точкових аномальних градієнтів.

Не вдаючись у теоретичні викладення цього питання (вони відомі), можемо записати

$$\gamma_{\text{ан.е.сер.}} = \frac{\gamma_{\text{ан.е.макс.}}}{2} \quad (4)$$

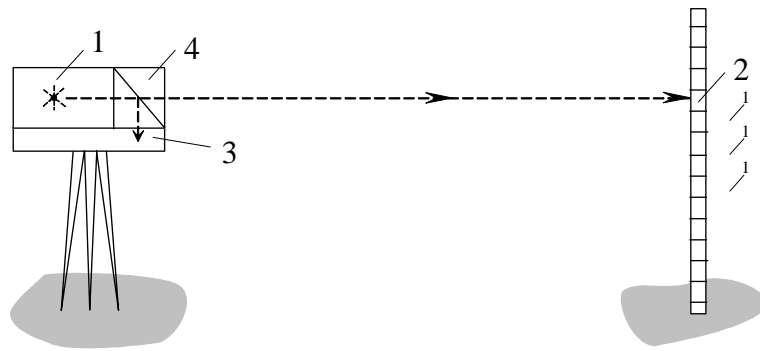
що в термічно-турбулентній атмосфері максимальні флуктуації аномальних еквівалентних вертикальних градієнтів температури за короткий проміжок часу є систематичними, закономірними і підпорядковуються закону пливучості елементарних частинок повітря у атмосфері. Тобто, максимальні амплітуди флуктуацій вертикальних аномальних градієнтів температури, за короткі проміжки часу, дорівнюють середньому аномальному еквівалентному градієнту температури.

Враховуючи цю залежність, можемо запропонувати наступне.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Максимальна амплітуда коливань зображень візирних цілей, або сліду лазерного випромінювання за короткий проміжок часу дорівнює середній аномальній рефракції за цей час, про що зазначено вище.

Величину коливань зображень вимірюють, фіксуючи положення його у бісекторі сітки ниток зорової труби. Окомірна фіксація величини коливань є суб'єктивною і не сприяє підвищенню точності та об'єктивності врахування дії цього фізичного явища. Заміна світлового променя на лазерний дає змогу підвищити точність та об'єктивність вимірювань. На відміну від світлового променя, лазерний промінь і, зокрема, його слід, реально коливається у вертикальній площині. Лазерний промінь, який підкоряється тим самим законам розповсюдження в атмосфері, що й світловий, є генерованим, тому з'являється можливість керування ним.

Для визначення вертикальної рефракції, найдоцільніше використовувати програму загального створу, розташували в одній з кінцевих точок, або за нею, лазерний геодезичний прилад 1 (рисунок), а в другій – фотоелектричний давач 2 з нерухомим світлочутливим елементом.



*Схема вимірювання відхилень лазерного променя*

У будь-якій точці, на шляху лазерного променя, де необхідно визначити величину вертикальної рефракції, встановлюють відліковий фотоелектричний давач 3 з рухомим світлочутливим елементом. До конструкції відлікового давача входить світлорозподільний елемент 4, який скріплено з основою давача. Світлорозподільний елемент дає можливість фіксувати положення енергетичної осі лазерного променя одночасно на чутливих елементах опорного і відлікового давачів. Чутливий елемент відлікового давача, який встановлено перпендикулярно до частин лазерного випромінювання, відбитого світлорозподільним елементом, може рухатися у напрямку, що збігається з напрямком лазерного променя від випромінювача до опорного давача.

Не зважаючи на деяку простоту, такий спосіб дає непогані технічні характеристики.

Для визначення рефракції енергетичну вісь лазерного променя суміщають з центром чутливого елемента опорного давача. Одночасно з цим, у періоди спокійних зображень, коли відсутні коливання візирних цілей, вимірюють температуру  $T$  і тиск  $P$ . Проміжна точка, у якій встановлено відліковий давач (рисунок) не належить горизонтальній площині, що проходить через початкову і кінцеву точки загального створу. До того ж величина відхилення може бути співрозмірною із значенням вертикальної рефракції. Після встановлення відлікового давача у контрольованій точці, за наявності відхилень її, енергетична вісь лазерного променя, що потрапляє на чутливий елемент давача, не збігатиметься з його центром. Чутливий елемент переміщують, а покази реєструвального приладу фіксують його положення, яке відповідає розташуванню контрольної точки без відхилень. Можна враховувати величину нормальної рефракції, яку обчислюють за формулою (1), як перший додаток. Тоді положення світлочутливого елемента відлікового давача відповідає нульовому відліку опорного давача за умови прямолінійності енергетичної осі лазерного променя.

Надалі вимірювати можна у будь-який час, коли діє аномальна рефракція. Зміна положення сліду лазерного променя на чутливому елементі відлікового давача призводить до його розбалансування. Вмикається привід, і рух чутливого елемента відслідковуватиме коливання енергетичної осі лазерного променя. Крайні положення чутливого елемента відповідатимуть точкам максимальної амплітуди коливань променя, що дорівнює середній аномальній рефракції. За потреби можна виміряти температуру та тиск, щоб знати величину нормальної рефракції. Відхилення точки визначають щодо положення чутливого елемента, яке було зафіксоване на першому етапі вимірювань.

**Висновки.** Описаний спосіб визначення величини аномальної рефракції дає можливість оперативно і у будь-який момент часу виконувати геодезичні вимірювання, враховуючи величину аномальної вертикальної рефракції.

*1. Джуман Б.М., Кравцов Н.И., Терещук А.И. Методы учета нивелирной рефракции по колебаниям изображений и оценка их точности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. –*

1992. – № 53. – С. 23–28. 2. Мороз О.І. Визначення та врахування дії аномальної складової вертикальної рефракції застосуванням магнітоелектричних пристроїв // Вісн.Держ. техн. ун-ту. – 2002. – 3(16). – С. 332–338. 3. Мороз О.І. Врахування дії вертикальної рефракції з використанням платівкових пристроїв керування променем // Інженерна геодезія. – 2002. – № 48. – С. 173–180. 4. Мороз О.І. Визначення та врахування вертикальної рефракції під час геодезичних вимірювань: Монографія. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003. – 224 с. 5. Мороз О, Островський А. Закономірності максимальних вертикальних коливань зображень візирних цілей в термічно турбулентній атмосфері і можливості їх практичного використання в геодинаміці // Геодинаміка. – 1999. – № 1 (2). – С. 37–48. 6. Мороз О.І., Островський А.Л. Флуктуаційний метод визначення середніх квадратичних та миттєвих значень вертикальної рефракції// Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – Rzeszow, 2002. – № 195. – Z. 34. – S. 163–167. 7. Мороз О.І., Шевченко Т.Г. Визначення аномальної вертикальної рефракції лазерного променя з використанням фотоелектричного датчика // Вісн. Нац. ун-ту Геодезія та картографія”. – 2002. – № 2. – С. 17–18. 8. Островський А.Л., Мороз А.И. Теория и практика флуктуационного метода определения вертикальной рефракции // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 3. – С. 11–29.

Надійшла 02.04.2011 р.