

КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВРАХУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ

© Клим С.А., 2004

В статье на рассмотрение геодезической общественности представлена классификация современных методов учета вертикальной рефракции.

In this article on examine geodetic community presents classification of modern methods consideration vertical refraction.

Постановка проблеми. Метою статті є інформування геодезичної громадськості про сучасні досягнення у галузі геодезичної рефрактометрії.

Аналіз останніх досліджень. Найповнішу класифікацію методів врахування атмосферних впливів на геодезичні виміри подані в [11].

При цьому автори монографії небезпідставно вважають, що усі методи є такими, що в них при реалізації обов'язково в тій чи іншій мірі використовуються прилади: як не може бути безприладного методу знаходження величин, що вимірюються, так і не може бути безприладного методу визначення та врахування рефракції. Найбільший інтерес, як вважають автори, буде мати класифікація, в основу якої покладена сутність методів врахування рефракції. Виходячи з усього вищесказаного, методи врахування дії рефракції можна розділити на дві головні групи:

I – посередні;

II - безпосередні (прямі).

Посередні методи поділені на три підгрупи:

1) метеорологічні;

2) геодезичні;

3) статистичні.

Метеорологічні методи [11] базуються на вимірах метеопараметрів – тиску, температури, вологості і їх градієнтів. Усі метеорологічні методи є точковими – метеопараметри вимірюються в одній, двох точках на шляху розповсюдження ЕМХ. В цьому їх головний недолік. Найбільш вживаними серед геодезичних в наш час є:

- взаємних одночасних та неодночасних спостережень [2,3,4];

- рефракційного базису [6];

- спеціального математичного опрацювання мережі. При цьому, усі три згадані методи дозволяють визначати кути рефракції за кожним напрямком мережі [3,6,11,12];

Широко застосовується метод спостереження в періоди спокійних зображень візирних цілей при наявності хоча би незначного вітру (до 1м/сек). В ці періоди діє тільки нормальна рефракція, яка змінюється зі зміною довжини траси і не залежить від висоти.

Повністю втратив своє значення метод постійного коефіцієнта рефракції, оскільки стало відомо, що при турбулентності атмосфери не може бути мови про єдиний коефіцієнт.

Деякі статистичні методи також втратили своє значення, наприклад, такий як метод абсолютної висоти променя. Інші втратили самостійне значення, проте вони застосовуються в комплексі одночасно з геодезичними методами. Це такі як:

- найвигіднішого періоду доби [5,8];

- найвигіднішого сезону року (весна та літо) [13].

У групі прямих у монографії виділені не підгрупи, а тільки окремі методи.

Проте сьогодні, на нашу думку, прямі методи також можна поділити на три підгрупи:

- дисперсійні [10];

- турбулентні (флуктуаційні) [8];

- інші прямі [1].

До інших прямих віднесемо компенсаційний та зміни морського горизонту.

Зі всіх названих методів в останній час дослідники продовжують вдосконалювати з посередніх – метеорологічні методи, з прямих – турбулентні та дисперсійні. Оскільки турбулентні методи працюють тільки при термічній турбулентності, то зразу зрозуміло, чому дослідники продовжують надавати уваги метеорологічним методам.

Так що особливо при інверсії температури, метеорологічний метод продовжує займати положення серед інших методів врахування рефракції як один з найефективніших.

Розвиток метеорологічних методів у наш час проходив за такими напрямками:

- визначення градієнтів температури із точкових, а не градієнтних вимірів. Такий підхід став можливий завдяки застосуванню для вимірів температури повітря малоінерційних термометрів опору. З'ясувалося, що абсолютна температура у деякій точці миттєво флукує у тих самих межах, що і градієнти температури, тобто так, як іаномальні градієнти показника заломлення повітря;

- детального вивчення розподілу градієнтів температури з висотою при різних стратифікаціях повітря;

- визначення точкових або інтегральних метеопараметрів не на середніх, а на еквівалентних висотах проходження світлового променя;

- вивчення впливів вітрового режиму на градієнти температури.

Дисперсійний та турбулентний методи перетворились з окремих методів на групи методів.

Так, раніше в дисперсійному методі застосовували для визначення малих кутів дисперсії з точністю до $0,002''$ тільки метод інтерференції. На жаль, у польових умовах інтерференційна картина розмивається турбулентністю атмосфери. Тому усі спроби створити кутові рефрактометри не мали успіхів. Проте, знайшли застосування дисперсіометри при лінійних вимірах.

З появою цифрових камер стало можливе вимірювання малих кутів ССД-сенсорами. Такий дисперсійний метод здається перспективнішим [15]. Отже, в наш час можна вести розмову про два дисперсійні методи:

- дисперсійний метод із застосуванням інтерференції;
- дисперсійний метод із застосуванням ССД-сенсорів.

Значно більше розрослась турбулентна підгрупа методів, яка дуже успішно розвивається у наш час.

Як відомо, турбулентні (флуктуаційні) методи засновані на оптичних проявах турбулентності. Це, перш за все, коливання (флуктуації) фази (кута приходу світлових хвиль) та амплітуди (яскравості світла) при проходженні світловими хвилями турбулентної атмосфери.

Однак, насамперед застосування (застосовується майже 30 років) знайшов метод вимірювання коливання фази, тобто коливання візирної цілі. Нагадаємо: амплітуди максимальних розмахів коливань при термічній турбулентності дорівнюють середній аномальній рефракції. Розмахи вимірювались окулярним мікрометром або просто горизонтальним бісектором сітки ниток. Можна рекомендувати вимірювати коливання спеціальною шкалою, нанесеною на тому ж склі, що і сітка ниток. Шкала повинна мати перемінну ціну поділок: $10''$, $5''$, $2''$. Такими шкалами оснащені деякі високоточні теодоліти (ОТ-02). Досвід показує, що така шкала полегшує вимірювання максимальних розмахів коливань та підвищує точність вимірів.

Ще недавно існувало два турбулентні методи:

- метод визначення та врахування аномальної вертикальної рефракції за виміряними максимальними амплітудами коливань;
- метод врахування аномальної вертикальної рефракції наведенням труби не на середнє положення візирної цілі, що коливається, а на максимальні верхні піки коливань (у трубах з оберненим зображенням – на нижні піки коливань).

У наш час спостерігач може бути звільнений від праці, що втомлює очі, вимірювання максимальних розмахів коливань, або амплітуд коливань. Цю роль беруть на себе цифрові камери – ССД-сенсори, якими оснащені деякі сучасні електронні відеотеодоліти та цифрові нівеліри. Правда, поки що це реалізовано тільки на коротких трасах.

Комп'ютери цих приладів відповідно видають на електронне табло C_n^2 (відеотеодоліт) та середню квадратичну похибку відліку рейки $m_{кв}$. (цифровий нівелір). Так додалися ще два турбулентні методи визначення рефракції:

- електронним відеотеодолітом;
- цифровим нівеліром.

Нарешті, з'явився ще один метод, заснований на оптичних проявах турбулентності – сантилометричний.

Сантилометр – прилад, що визначає і також, як і відеотеодоліт, видає на табло структурну характеристику турбулентності C_n^2 за вимірами амплітуди коливань яскравості двох різних довжин світлових хвиль, що випромінює активний відбивач (трансміттер), встановлений на протилежному кінці траси [15].

Таким чином, в наш час можна говорити про п'ять турбулентних методів врахування аномальної вертикальної рефракції. Стаття не претендує на детальне викладення усіх методів визначення та врахування рефракції. Вони викладені у монографії [11]. Нами зроблені тільки ті доповнення та описані зміни, які відбулися у розробці методів визначення вертикальної рефракції за 14 років після виходу у світ [11].

Висновки. Нові методи ще не є завершеними і обтяжені рядом недоліків. Ось головні з них:

- відеотеодоліт, цифровий нівелір, сантилометр видають C_n^2 та $m_{кв.с}$, які ще не є поправками за рефракцію;
- відеотеодоліт, цифровий нівелір, сантилометр не використовують систематичні закономірності турбулентності, а засновані на уявленні, що турбулентність проявляється тільки як безсистемне, хаотичне явище, що не відповідає дійсності;
- точність визначення параметрів C_n^2 та $m_{кв.с}$, а також амплітуд коливань бажає бути кращою;

- нові методи знайшли реалізацію тільки на коротких трасах, менше 100 м.

Зауважимо, що другий та останній з перерахованих недоліків не стосуються визначення коливань спостерігачем за допомогою оптичних приладів.

Також необхідно підкреслити, що тільки завдяки роботі [9] з'явилась можливість за параметрами C_n^2 та $m_{\text{об}}$ визначити поправки за рефракцію відповідно у виміряні зенітні кути та відліки нівелірних рейок.

1. Вишивков В.Ф. О компенсационном способе учета влияния рефракции при геодезических измерениях// Геодезия и картография, 1974, № 10, С.28-32. 2. Джуман Б.М., Островская С.А. Метод учета вертикальной рефракции в тригонометрическом нивелировании// Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1981. – №33. – С.19-24. 3. Извеков М.М. К вопросу о тригонометрическом нивелировании в сетях триангуляции// Геодезия и картография. – 1966. – С.21-29. 4. Изотов А.А., Пеллинен Л.П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования// Тр.ЦНИИГАиК. – 1955. – № 102. – С.175. 5. Маслич Д.И., Хижак Л.С. Исследование зависимости коэффициента рефракции от периода суток и высоты луча// Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1969. – № 10. – С.47-51. 6. Островская С.А. Исследование точности тригонометрического нивелирования с учетом рефракции методом рефракционного базиса // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1983. – № 37. – С.89-95. 7. Островский А.Л., Кравцов Н.И., Перий С.С. Определение частных углов рефракции по дрожаниям центров лазерного пятна и угловым колебаниям целей// Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1987. – № 45. – С.69-77. 8. Островский А.Л., Сидорик Р.С. Определение промежутков времени суток с минимальным действием земной рефракции по радиационному балансу// Инженерная геодезия. – 1966. – № 3. – С.56-66. 9. Островська О.А. Формула залежності між середніми та середньоквадратичними аномальними вертикальними рефракціями в турбулентній атмосфері// Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 2003. – № 64. – С.55-59. 10. Прилетин М.Т. Измерение спектральной разности рефракции интерферометром с постоянной базой// Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1970. – № 3. – С.3-9. 11. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения// А.Л.Островский, Б.М.Джуман, Ф.Д.Заблоцкий, Н.И.Кравцов. – Недра. – 1990. – С.235. 12. Фесенков В.Г. Способ определения температурного градиента по земной рефракции// Астрономический журнал. – 1931. – № 8. – С.89-94. 13. Хижак Л.С., Маслич Д.И. Исследование годового хода коэффициента рефракции// Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1967. – № 6. – С.92-97. 14. Tengstrom E. On a method of determining terrestrial Refraction by means double-slit interferometers// IUGG-meeting. – Helsinki. – 1960. 15. Böckem B., Flach P., Welss A., Hennes M. Refraction influence analysis and investigations on automated elimination of Refraction effects on Geodetic measurements. Paper to XVI IMEKO World Congress 2000, 25-28 Sept. Viena, pp. 1-6.