

ВИМІРЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПЛОСКОГО ДЗЕРКАЛЬНОГО ВІДБИВАЧА

© Перій С.С., 2011

Предложен способ определения вертикальной рефракции с использованием наблюдений изображений отсчетной шкалы рейки в отвесно установленном плоском зеркальном отражателе, что даст возможность непосредственно определять и учитывать поправки за рефракцию в результаты геометрического нивелирования.

A method of measuring of vertical refraction by observed representation of reading scale, which is on the mirror reflector, has been suggested. This method permits direct determination and inserting correction as refraction as result of geometrical leveling.

Постановка проблеми. Геометричне нівелювання і сьогодні залишається одним із найточніших методів визначення перевищення. Підвищення точності високоточного геометричного нівелювання зумовлене науково-технічним прогресом. Найбільший вплив на його точність чинить вертикальна рефракція. Врахування впливу вертикальної рефракції під час виконання нівелювання є актуальною проблемою.

Зв'язок із науковими та практичними завданнями. Науково-технічний прогрес постійно вимагає вдосконалення методів високоточного нівелювання для підвищення точності й економічності нівелювання. Високоточні вимірювання висот необхідні як для наукових, так і практичних цілей. Насамперед це пов'язано зі зростанням вимог до точності побудови державних висотних мереж, спостережень на геодинамічних полігонах за деформаціями земної кори, спорудження і контролю за унікальними і прецизійними спорудами та високотехнологічного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких вирішується проблема. Основним із методів врахування вертикальної рефракції, який сьогодні застосовується, є її максимальне виключення. Інструкція [1] жорстко регламентує як періоди виконання робіт, так і саму методику спостережень із контролем рівності плечей нівелювання з метою мінімізації атмосферних впливів. Рівність віддалей до передньої і задньої рейок дає змогу прийняти гіпотезу про відповідну рівність рефракцій у спостережуваних напрямках, а це дозволяє частково вилучити її з вимірюного перевищення.

У [2;3] детально описані проблеми високоточного нівелювання і способи врахування атмосферних впливів під час виконання геометричного нівелювання. Одним із перспективних способів визначення вертикальної рефракції є спосіб, що ґрунтується на вимірюванні коливань зображень [4;5]. З появою приладів зарядового зв'язку (ПЗЗ) точність фіксації коливань зображень значно підвищилась [6], що дало змогу дослідити зв'язок вертикальної рефракції з коливаннями зображень. Величину вертикальної рефракції пропонується визначати як половину амплітуди максимальних коливань зображень, використовуючи емпіричну залежність, яка не завжди відповідає необхідній точності.

У роботі [7] запропоновано спосіб визначення вертикальної рефракції за коливаннями зображень, який полягає в тому, що встановлюють нівелірну рейку поряд з нівеліром і на однорідній горизонтальній поверхні, на оптимальній для нівелювання віддалі, встановлюють плоский дзеркальний відбивач, до того ж у нівелірі періодично здійснюють відлічування зображення рейки у відбивачі і за зміною відліків у часі визначають вертикальну рефракцію. Для

визначення вертикальної рефракції цим способом багаторазово відлічують у нівелірі зображення рейки для визначення коливань зображень і приймають, що коливання будуть у два рази більші, тому що візирний промінь пройде атмосферу двічі.

Невирішені частини загальної проблеми. Величину вертикальної рефракції, як уже вказувалось, пропонується або частково виключати, або обчислювати за встановленими функціональними залежностями за допомогою виміряних інших параметрів. Безпосереднього вимірювання рефракції, окрім експериментальних рефрактометрів та вимірювань на еталонних напрямках, під час спостережень не проводять.

Постановка завдання. Завдання дослідження – запропонувати спосіб визначення вертикальної рефракції, який дав би змогу безпосередньо вимірювати вертикальну рефракцію і контролювати вимірювання на станції нівелювання, що б дало можливість підвищити точність вимірювань перевищень та спростити врахування атмосферних впливів на результати геометричного нівелювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо проекцію зображення прямовисної шкали, яка встановлена в безпосередній близькості біля нівеліра у вільно підвішеному плоскому дзеркальному відбивачі за умови відсутності вертикальної рефракції (рис. 1).

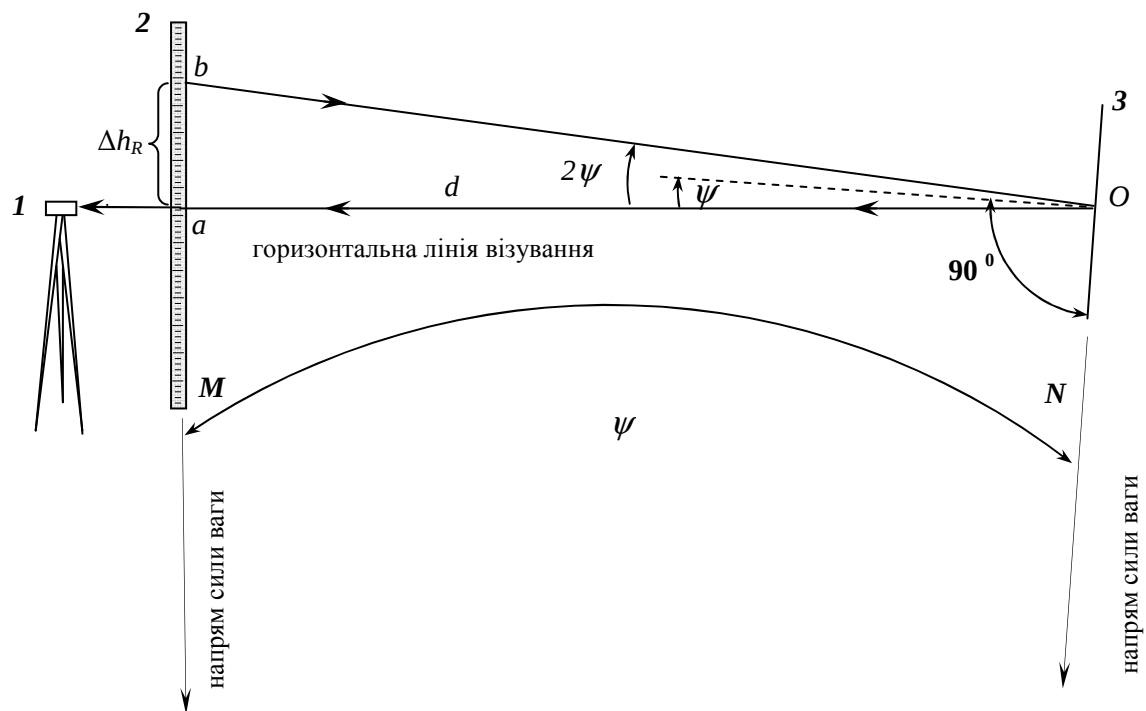


Рис. 1. Хід променів від прямовисно встановленого плоского дзеркального відбивача до нівеліра, за умови відсутності вертикальної рефракції: 1 – нівелір (прилад, який задає в просторі горизонтальний візирний промінь), 2 – прямовисно розташована відлікова шкала (рейка), 3 – прямовисно встановлений плоский дзеркальний відбивач

Оскільки шкала рейки та плоский дзеркальний відбивач встановлені прямовисно на віддалі d один від одного, як видно з рис. 1, то за рахунок кривини Землі вони будуть взаємно розташовані під центральним кутом $\psi'' = \frac{d\rho''}{R_z}$. На коротких віддальх допускають, що прямовисні лінії збігаються із радіусом кривини Землі. Тоді візирний промінь, що потрапляє в нівелір (за умови виконання основної умови нівеліра), – горизонтальний і відіб'ється від плоского дзеркального відбивача під кутом ψ . Загальний кут падіння і відбиття становитиме 2ψ .

У полі зору нівеліра горизонтальний штрих сітки ниток проектується в точку b на шкалі рейки, якщо її спостерігати в прямовисний плоский дзеркальний відбивач. Лінійна величина зміщення відліку від положення лінії горизонту приладу за рахунок кривини Землі становитиме величину Δh_R :

$$\Delta h_R = 4 \frac{d^2}{2R_3} = 2 \frac{d^2}{R_3}. \quad (1)$$

Розглянемо рис. 2, на якому зображено шлях світлових променів за наявності додатної вертикальної рефракції (інверсійний стан приземного шару атмосфери), кривиною Землі для спрощення викладення на цьому етапі знехтуємо. Промінь попадає у нівелір, що приведений у робоче положення, під кутом $Z_B = 90^\circ$ по дотичній до горизонтальної лінії горизонту приладу DO , але він відіб'ється від плоского дзеркального відбивача не в точці O , а в точці O' , оскільки промінь візування на коротких траєкторіях проходить в атмосфері по світловій кривій радіуса R_C за рахунок показника заломлення атмосфери.

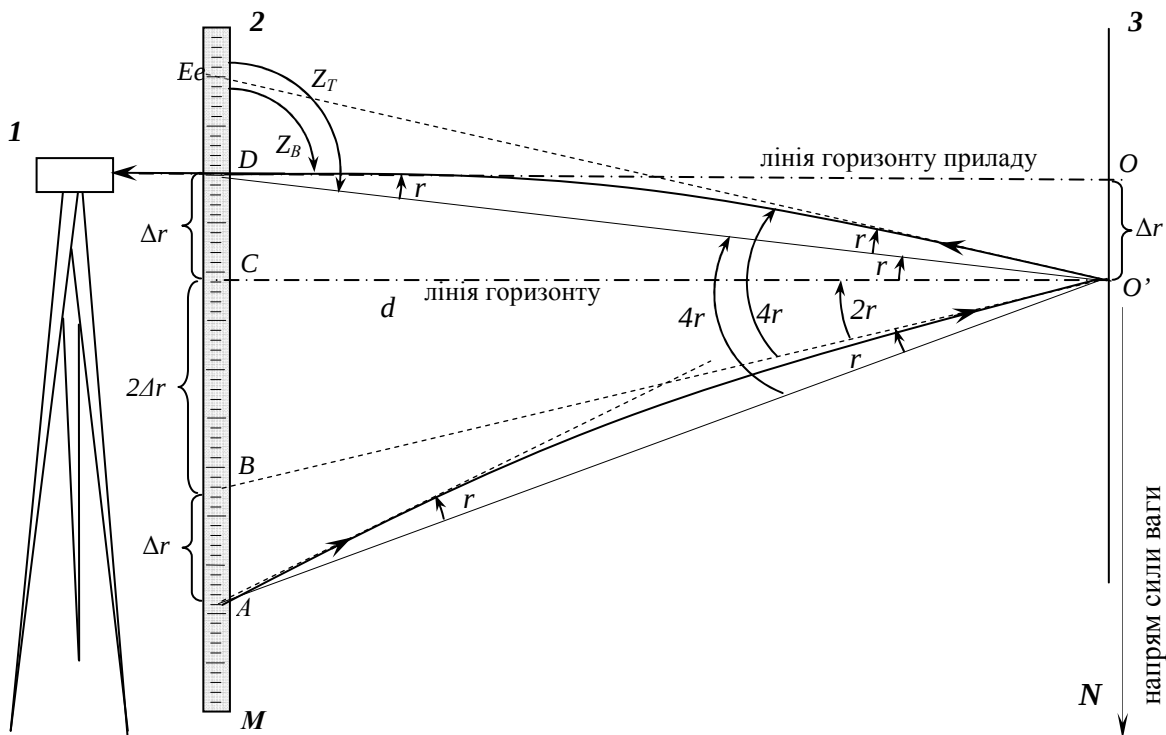


Рис. 2. Хід променів від прямовисно встановленого плоского дзеркального відбивача до нівеліра, за умови додатної рефракції

Як відомо, кут вертикальної рефракції r знаходять за формулою [3]:

$$r = Z_T - Z_B, \quad (2)$$

де Z_T – теоретична зенітна віддаль (вертикальний кут) у точці спостереження між місцем зеніту та теоретичним зображенням цілі (напрямок на точку O'); Z_B – виміряна зенітна віддаль у точці спостереження між місцем зеніту та спостережуваним зображенням (дотична до променя, який приносить зображення цілі).

Розглянемо проекцію горизонтального штриха сітки ниток нівеліра, який приведений у робоче положення (промінь візування встановлено горизонтально), на шкалу прямовисно встановленої рейки через прямовисно встановлений плоский дзеркальний відбивач під час дії вертикальної рефракції. Рухаючись по світловій кривій радіусом R_C , що є дотична до лінії горизонту приладу, промінь відхилиться на лінійну величину вертикальної рефракції Δr , що відповідає кутовій величині r . Провівши дотичну $O'E$ до світлової кривої в точці O' і стягуючу

хорду DO' , одержують величину кута падіння на прямовисно встановлений дзеркальний відбивач, що дорівнює подвійному куту вертикальної рефракції $2r$.

Відомо, що кут падіння на плоский відбивач дорівнює куту відбивання $\angle EO'C = CO'B = 2r$, тому, якщо врахувати, що промінь, який рухається від шкали до відбивача так само по світловій кривій радіусом R_c по дотичній до BO' викривиться на таку саму величину вертикальної рефракції Δr , тоді горизонтальний штрих нівеліра проектується в точці A шкали прямовисно встановленої рейки.

Різниця відліків у точках D і A відповідає величині чотирьох лінійних елементів вертикальної рефракції Δr :

$$\Delta h_r = D - A = 4\Delta r = 4d \cdot \operatorname{tg}(r). \quad (3)$$

Лінійна величина вертикальної рефракції пов'язана залежністю з коефіцієнтом вертикальної рефракції k [3]:

$$\Delta r = \frac{kd^2}{2R_3}, \quad (4)$$

де $R_3 \approx 6371000 \text{ м}$ – радіус Землі;

$$k = \frac{R_3}{R_c} = r'' \frac{2R_3}{\rho'' S}, \quad (5)$$

де $\rho'' = 206264,8$.

На рис. 3 показаний загальний вплив кривини Землі і вертикальної рефракції на відлічування проекції горизонтального штриха сітки ниток нівеліра 1 на зображенні прямовисної шкали рейки 2 в прямовисному плоскому відбивачі 3.

Загалом, на основі (3) і (4), величина зміщення положення променя візування за рахунок вертикальної рефракції становитиме:

$$\Delta h_r = \frac{2kd^2}{R_3}. \quad (6)$$

$$\Delta h = b - a = \Delta h_R - \Delta h_r = \frac{2d^2}{R_3}(1 - k), \quad (7)$$

де a – безпосередній відлік шкали рейки 2 за коротким плечем нівелювання, де дія вертикальної рефракції мінімальна; b – відлік шкали рейки 2 за її зображенням у плоскому дзеркальному відбивачі 3 (за візирним променем, який двічі пройшов атмосферу по лінії $MN = d$).

Із різниці відлічування шкали рейки в плоскому відбивачі і без нього обчислюють сумарне зміщення ($\Delta h = b - a$) візирного променя з положення a .

Коефіцієнт вертикальної рефракції k визначають за вимірним значенням Δh :

$$k = 1 - \Delta h \frac{R_3}{2d^2}. \quad (8)$$

У запропонованому способі визначення вертикальної рефракції спостереження виконують, як показано на рис. 3.

Встановлюють нівелір 1 у точці M та приводять його в робоче положення. На віддалі 2–3 м від точки M встановлюють прямовисно шкалу рейки 2.

У точці N у напрямку, для якого визначають вертикальну рефракцію, встановлюють на місцевості прямовисно плоский дзеркальний відбивач 3 так, щоб зображення шкали рейки 2 було видно в нівелір 1. Поряд з відбивачем під час нівелювання у точці N установлюють рейку 4 (для визначення вертикальної рефракції це не обов'язково).

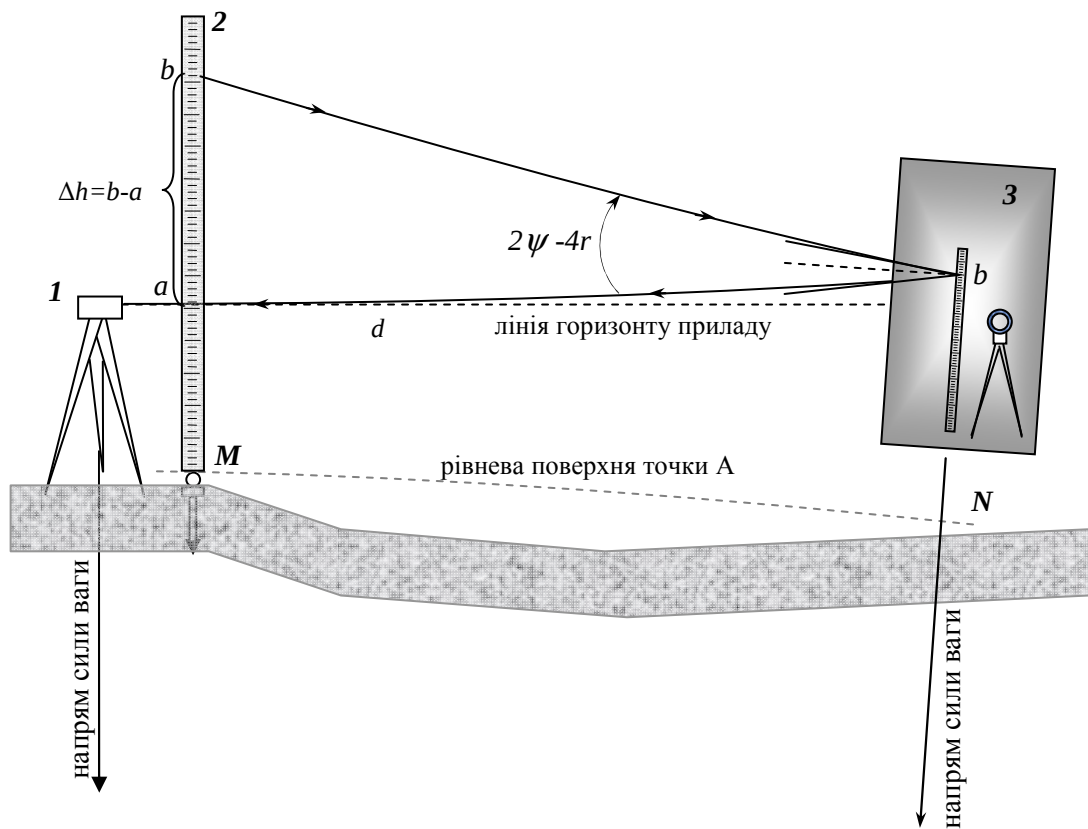


Рис. 3. Хід променів від прямовисно встановленого плоского дзеркального відбивача до нівеліра, за умови додатної рефракції і кривини Землі

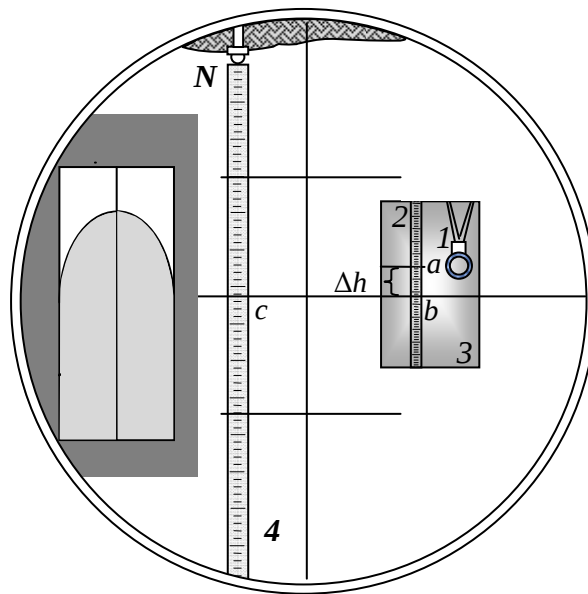


Рис. 4. Поле зору нівеліра зі зображенням прямовисно встановленого плоского дзеркального відбивача 1 та рейки 4 в точці N

Спрямовують трубу нівеліра 1 безпосередньо на шкалу рейки 2 (коротке плече) і відлічують її горизонтальним штрихом сітки ниток нівеліра 1 (відлік a).

Спрямовують трубу нівеліра 1 на дзеркальний відбивач 3 (рис. 4), де видно зображення шкали рейки 2, і відлічують її горизонтальним штрихом сітки ниток нівеліра 1 (відлік b).

Відлічують рейку, що встановлена в точці N (відлік c), див. рис. 4.

За результатами вимірювань обчислюють різницю проєкцій горизонтального штриха сітки ниток на шкалі Δh (7). Використовуючи залежність (8), за різницею Δh (7) обчислюють коефіцієнт вертикальної рефракції вздовж лінії АС.

Виправлений відлік $c_{\text{прав}}$ за вертикальну рефракцію та кривину Землі обчислюють за формулою

$$c_{\text{прав}} = c - \frac{b - a}{4}. \quad (9)$$

Висновки. Запропонований спосіб, який дає змогу безпосередньо визначити вертикальну рефракцію та врахувати кривину Землі під час виконання нівелювання, що передбачає відлічування шкали рейки та її відображення в прямовисному плоскому дзеркальному відбивачі.

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990. – 175 с. 2. Павлив П. В. Проблемы высокоточного нивелирования / П.В. Павлив. – Львов: Вища шк., Изд-во при Львов. ун-те, 1980. – 124 с. 3. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения / [Островский А. Л., Джуман Б. М., Заблоцкий Ф. Д., Кравцов Н. И.]. – М.: Недра, 1990. – 235 с. 4. Павлив П.В. Учет влияния рефракции на результаты нивелирования I и II кл. по колебаниям изображений / П. В. Павлив // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1978. – Вып. 28. – С. 96–100. 5. Джуман Б. М. Метод определения нивелирной рефракции / Б. М. Джуман, П. В. Павлив, И. И. Стаццишин // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1979. – Вып. 30. – С. 66–69. 6. Спосіб фіксації вертикальних і горизонтальних дрижань візорних цілей / В. Літинський, О. Киселик, С. Перій, С. Літинський // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2010. Вип.1(19). – С. 87–90. 7. Пат. 85808 Україна, UA, МПК (2009), G01C 5/00. Спосіб визначення вертикальної рефракції / Мороз О. І., Островський А. Л., Петлюк І. В., Шевченко Т. Г. – № а2008 06918 ; заявл. 19.05.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4. 8. Пат. 93647 Україна, UA, МПК (2011.01), G01C 5/00. Спосіб визначення вертикальної рефракції / Перій С. С., – № а2010 08167 ; заявл. 30.06.10; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.

Надійшла 11.04.2011 р.