

УДК 528.3:551.5

СПОСІБ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ ТА НЕГОРИЗОНТАЛЬНОСТІ ВІЗИРНОГО ПРОМЕНЯ

В. Ващенко, С. Перій

Львівський Національний аграрний університет

В. Літинський

Національний університет “Львівська політехніка”

Постановка проблеми

Геометричне нівелювання і сьогодні є найточнішим методом визначення перевищень на віддаль до сто кілометрів. Найбільший вплив на точність високоточного геометричного нівелювання має вертикальна рефракція та негоризонтальність променя нівелювання.

Зв'язок із науковими та практичними завданнями

Методика виконання високоточного геометричного нівелювання обумовлюється чинною інструкцією [1]. Високоточне визначення перевищень застосовується в багатьох галузях народного господарства та для наукових досліджень. Процес виконання вимірювань під час високоточного нівелювання трудомісткий та вимагає високоточного обладнання, відповідної методики вимірювань, метрологічного забезпечення та кваліфікованих виконавців для досягнення необхідних результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених розв'язанню проблеми

Для досягнення високої точності визначення перевищень у геометричному нівелюванні застосовують метод нівелювання “зі середини”, який компенсує негоризонтальність променя нівелювання, за умови його незмінності на станції та частково вплив вертикальної рефракції [2–5]. В інструкції [1] накладені певні обмеження на виконання високоточного нівелювання для досягнення високої точності визначення перевищень. Це передусім довжини та нерівність плеч нівелювання, висота візирного променя над землею поверхнею, а також період часу, у який виконують нівелювання.

З появою нових цифрових нівелірів, вилучаються грубі помилки та зменшуються особові похибки під час нівелювання на результати вимірювань. Запропоновані методики врахування нівелірної рефракції для високоточного геометричного нівелювання [6–10] потребують додаткового обладнання.

Нерозв'язані частини загальної проблеми

Застосування способу геометричного нівелювання “зі середини” компенсує негоризонтальність візирного променя лише за умови його незмінності на станції, оскільки стабільність установлення горизонтально візирного променя під час нівелювання не контролюється; частково компенсує вплив вертикальної рефракції, але дозволяє виконувати нівелювання лише в короткі періоди, коли немає коливань зображень, що значно знижує продуктивність праці. Зміна положення візирного променя за час між спостереженнями на задню і передню рейки повністю входить у похибку визначення перевищення. Під час нівелювання I і II класів багато часу витрачається для установлення рівності плеч (допуск 0,5 і 1 м, відповідно), та їхньої довжини (допуск 50–65 м, відповідно), особливо на похилих ділянках нівелювання, де ще накладається обмеження висоти променя над землею поверхнею (0,8 і 0,5 м, відповідно) [1].

Відомий також спосіб геометричного нівелювання “вперед”, що передбачає вимірювання перевищення з одного кінця лінії нівелювання. Однак під час виконання нівелювання таким способом необхідно додатково враховувати негоризонтальність візирного променя, вплив кривини

Землі та вплив вертикальної рефракції. Для високоточного нівелювання такий спосіб не застосовують. Його використовують для визначення негоризонтальності візирного променя нівеліра під час виконання основної перевірки.

Постановка завдання

Запропонувати спосіб геометричного нівелювання, який би дозволив контролювати процес визначення перевищення на кожній лінії врахуванням: негоризонтальності візирного променя та значною мірою величини вертикальної рефракції, навіть, під час коливань зображень, що дозволить значно розширити періоди спостережень.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо спосіб геометричного нівелювання “вперед”.

На рис. 1 показано визначення перевищення методом нівелювання “вперед”.

$$h_{AB} = H_B - H_A = a - b_{\text{прав.}} = a - b + \Delta R + \Delta i + \Delta k + \Delta_{\text{периф}}, \quad (1)$$

де a – відлік на ближню рейку, що встановлена в точці A ; b – відлік на дальню рейку, встановлену в точці B ; $b_{\text{прав.}}$ – відлік на дальню рейку, вільний від впливу кривини Землі, кута нахилу візирного променя та вертикальної рефракції в точці B ; S_{1B} – горизонтальна віддаль між нівеліром і дальньою рейкою; i – кут негоризонтальності візирного променя; $\Delta i = S_{1B} \text{tg}(i)$ – поправка у відлік b за негоризонтальність візирного променя нівеліра; R – кут за кривину Землі на віддалі S_{1B} ; $\Delta R = \frac{S_{1B}^2}{2R_3}$ – поправка за кривину Землі у відлік b ; $\Delta k = \frac{k_{1B} S_{1B}^2}{2R_3}$ – поправка у відлік b за вертикальну рефракцію; $k_{1B} = r'' \frac{2R_3}{\rho'' S_{1B}}$ – коефіцієнт вертикальної рефракції; r – кут вертикальної рефракції по лінії S_{1B} ; R_3 – радіус кривини Землі; $\Delta_{\text{периф}}$ – поправка за перефокусування (рис. 1).

Перевищення методом нівелювання “вперед” з врахуванням відповідних поправок одержують за залежністю

$$h_{AB} = a - b + S_{1B} \text{tg}(i) + \frac{S_{1B}^2}{2R_3} - \frac{k_{1B} S_{1B}^2}{2R_3} + \Delta_{\text{периф}}. \quad (2)$$

З аналізу рівняння (2) зрозуміло, що для знаходження перевищення методом нівелювання вперед необхідно знати: горизонтальну віддаль між нівеліром і дальньою рейкою S_{1B} , кут негоризонтальності візирного променя, коефіцієнт або кут вертикальної рефракції, та вплив величини перефокусування приладу. Коли визначення віддалі від нівеліра до рейки не є складною технічною задачею, то визначення величини вертикальної рефракції та перефокусування нівеліра є доволі проблематичними.

Поставлене завдання розв’язують застосуванням способу геометричного нівелювання, який назвемо “вперед, назад”. Він передбачає подвійні вимірювання перевищення способом “вперед” з кінців лінії нівелювання (прямо і зворотно). Виконуючи подвійні вимірювання перевищення в прямому і зворотному напрямі, на одній і тій самій лінії нівелювання, запишемо систему рівнянь визначення прямого і зворотного перевищення.

$$\left. \begin{aligned} h_{\text{пр.}(AB)} &= a_A - b_B + S_{1B} \text{tg}(i) + \frac{S_{1B}^2}{2R_3} - \frac{k_{1B} S_{1B}^2}{2R_3} + \Delta_{\text{периф}} \\ h_{\text{зв.}(BA)} &= a_B - b_A + S_{2A} \text{tg}(i) + \frac{S_{2A}^2}{2R_3} - \frac{k_{2A} S_{2A}^2}{2R_3} + \Delta_{\text{периф}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де a_A, a_B – відліки на ближні рейки, що встановлені в відповідних точках A і B ; b_A, b_B – відліки на дальні рейки, встановлені у цих самих точках; $S_{1B} = S_{2A}$ – горизонтальна віддаль між нівеліром, встановленим відповідно в положенні 1 та 2, і дальньою рейкою; k_{1B}, k_{2A} – коефіцієнти вертикальної рефракції відповідно вздовж ліній S_{1B} і S_{2A} .

У запропонованому способі з вимірювань прямого і зворотного перевищення визначають середнє перевищення. Для цього під час спостережень встановлюють однакові плечі $S_{1B} = S_{2A}$, тоді середнє значення перевищення по лінії AB , відповідно до (3), отримують за формулою

$$h_{AB}^{сеп.} = \frac{h_{np.(AB)} - h_{зв.(BA)}}{2} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2} - (k_{1B} - k_{2A}) \frac{S_{1B}^2}{4R_3}. \quad (4)$$

Наближене значення середнього перевищення, без урахування рефракції, обчислюють за формулою

$$h'_{AB}^{сеп.} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2}. \quad (5)$$

Контролюють результат нівелювання, аналізуючи стабільність кута i . Практично, з ідеї самого способу, на кожній лінії нівелювання виконують перевірку головної умови нівеліра – горизонтальності візирного променя. Додавши два рівняння системи (3) і виконавши нескладні перетворення, одержимо

$$i'' = \left(\frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} - \frac{S_{1B}^2}{R_3} + \frac{(k_{1B} + k_{2A})S_{1B}^2}{2R_3} \right) \frac{\rho''}{S_{1B}}, \quad (6)$$

де $\rho'' = 206265$.

Визначення самого кута i , аналізуючи залежність (6), доволі проблематично, так як, необхідно врахувати вертикальну рефракцію та кривину Землі, тому пропонується застосовувати спрощений контроль. Для цього, обчислюють сумарний кут ε негоризонтальності візирного променя, кривини Землі та вертикальної рефракції за зведеною залежністю (7), (див. рис. 1, 2):

$$\varepsilon''_{AB}^{сеп.} = i'' + R'' - r''_{сеп.} = 0.5(\varepsilon_{1B} + \varepsilon_{2A}) = \left(\frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} \right) \frac{\rho''}{S_{AB}}. \quad (7)$$

Величину середньоінтегрального коефіцієнта вертикальної рефракції, за стабільності кута негоризонтальності візирного променя i можна знайти за залежністю:

$$\overline{k}_{AB} = \left(\frac{a_A + a_B - b_A - b_B}{2} \right) \frac{R_3}{S_{AB}^2} + i'' \frac{R_3}{\rho'' S_{AB}} + 1. \quad (8)$$

Для обчислення перевищень з урахуванням коефіцієнта рефракції знаходимо еквівалентні висоти візирних променів

$$h_{екв.1B} = \frac{2a_A + b_B}{3}, \quad \text{та} \quad h_{екв.2A} = \frac{2a_B + b_A}{3}. \quad (9)$$

За значенням \overline{k} , обчисленим за формулою (8), знаходимо часткові коефіцієнти рефракції за формулою

$$k_{1B} = \frac{\overline{k}_{AB} \times (h_{екв.1B} + h_{екв.2A})}{2h_{екв.1B}} \quad \text{і} \quad k_{2A} = \frac{\overline{k}_{AB} \times (h_{екв.1B} + h_{екв.2A})}{2h_{екв.2A}}. \quad (10)$$

За формулою (4) обчислюють перевищення з урахуванням кута i та вертикальної рефракції.

Спрощення самого процесу нівелювання полягає у виборі лінії нівелювання (плеча). Як відзначалось вище, на вибір плеч на похилих ділянках, для нівелювання способом “з середини”, затрачається багато часу.

У запропонованому способі контролюють, згідно з чинною інструкцією [1], висоту променя над земною поверхнею і довжину плеча нівелювання, рівність плеч спостереження досягається методикою спостереження і обумовлюється підбором самої лінії нівелювання. Аналогічно нівелюють наступну лінію (див. рис. 2).

Виконуючи, в запропонованому способі, вимірювання перевищень в прямому і зворотному напрямках можна відмовитись від прокладання оберненого нівелірного ходу у деяких випадках, наприклад, під час спостережень за деформаціями по надійно закріплених перехідних точках, що значно зекономить час виконання нівелювання.

Спосіб нівелювання “вперед, назад” пропонується виконувати так.

1. Встановлюють нівелір в положення 1 на віддалі 2–3м від задньої точки A та приводять його в робоче положення. Вибирають по лінії нівелювання точку B відповідно до допусків – висоти візирного променя над земною поверхнею та довжини плеча для певного класу нівелювання і закріплюють її.

2. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці B (довге плече) і відлічують її, відповідно до програми спостережень, а потім – на A (коротке плече) і відповідно відлічують її.

3. Встановлюють нівелір в положення 2, біля точки B , дотримуючись рівності довгих і коротких плеч по секції нівелювання $AB-BA$, аналогічно до положення 1.

4. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці B (коротке плече) і відлічують її, а потім на рейку, що встановлена на точці A (довге плече) і також відлічують її.

5. Обчислюють сумарний середній кут $\varepsilon_{AB}^{сеп.}$ (7) та оцінюють його значення (стабільність та величину відносно попередньої станції) і приймають рішення відносно повтору нівелювання лінії AB або продовження нівелювання ходу (перехід нівелювання на наступну лінію BC).

6. Обчислюють остаточне середнє значення перевищення $h_{AB}^{сеп.}$ вздовж лінії AB з результатів вимірювань “вперед”, “назад” за формулою (4).

7. Продовжують нівелювання ходу. Нівелюють наступну лінію BC , для цього вибирають по лінії нівелювання наступну точку C , відповідно до [1] і переписують або виконують нові відлічування рейки встановленої на точці B (коротке плече).

8. Спрямовують трубу нівеліра на рейку, що встановлена на наступній точці C (довге плече) і відлічують її.

Продовжують нівелювання, повторюючи вищеописані дії.

Висновки

Запропонований спосіб геометричного нівелювання дозволяє вимірювати пряме і зворотне перевищення, що підвищує точність геометричного нівелювання за рахунок вилучення з результатів вимірювань негоризонтальності візирної осі нівеліра, значної частини впливу вертикальної рефракції, дозволяє контролювати результати вимірювань перевищень, величину та сталість кута негоризонтальності візирного променя під час нівелювання на станції, а також прискорити процес нівелювання за рахунок зменшення витрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч і висоти візирного променя.

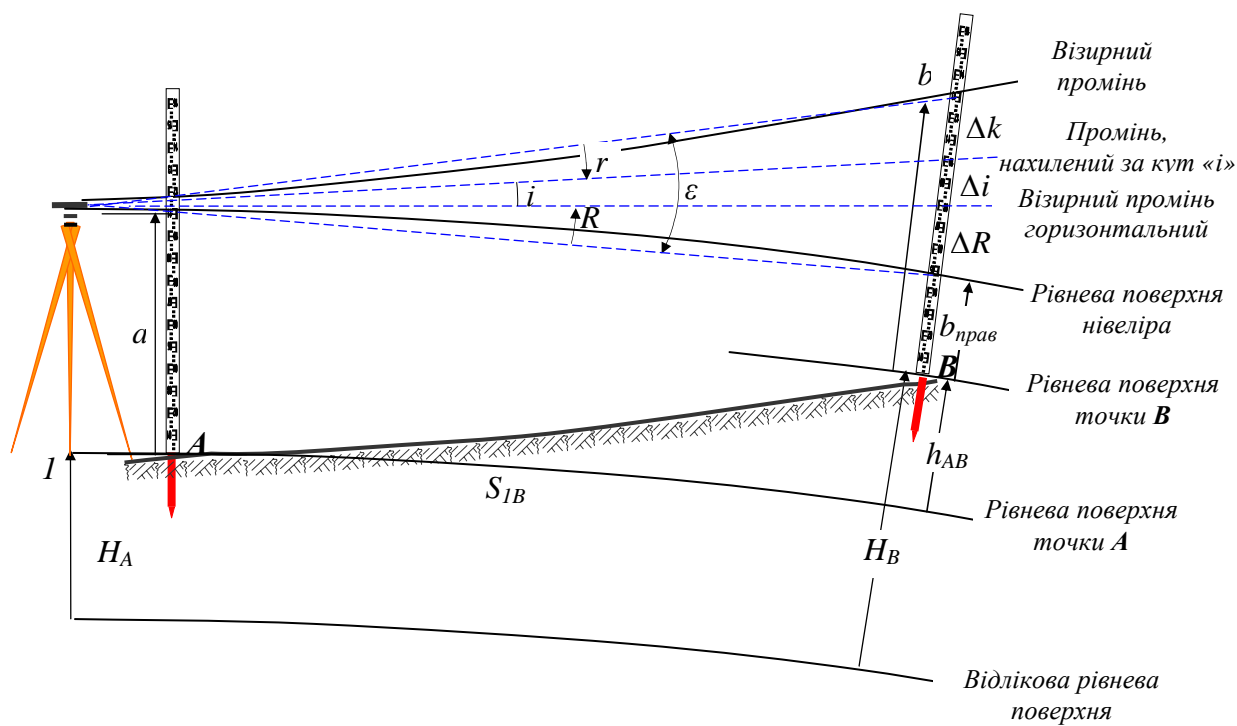


Рис. 1. Нівелювання "вперед"

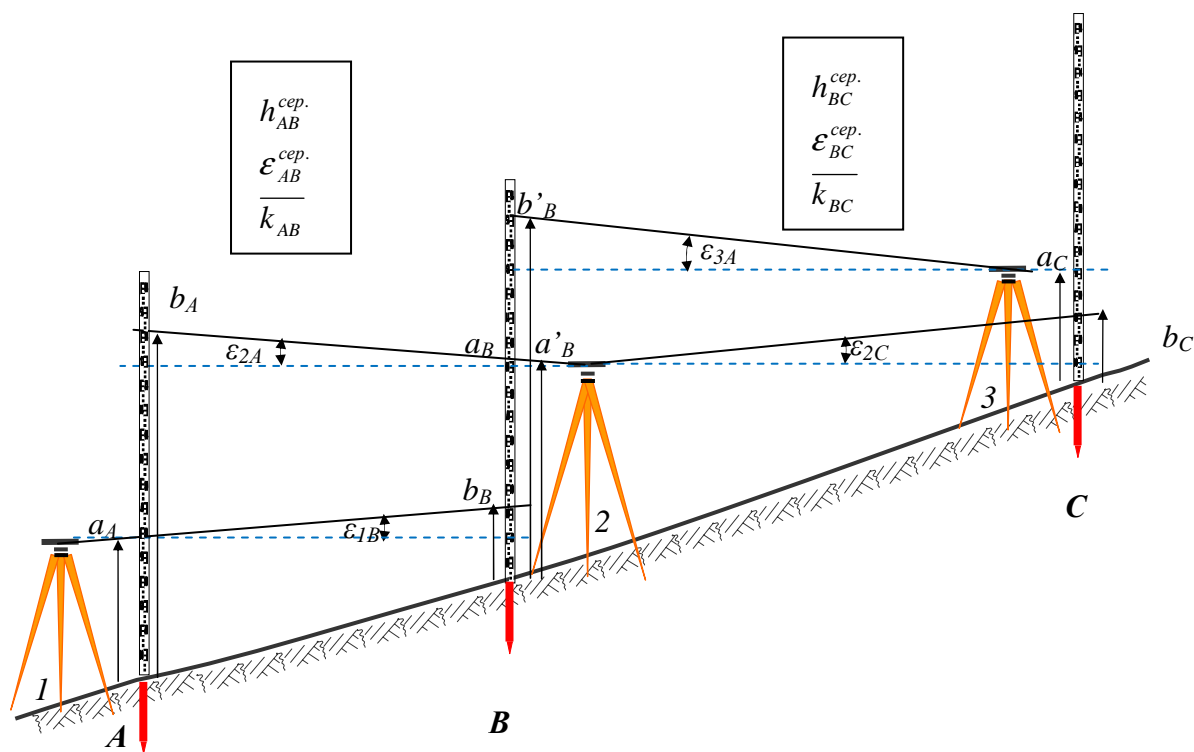


Рис. 2. Спосіб нівелювання "вперед, назад"

Література

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990. – 175 с.
2. Геодезичний енциклопедичний словник / За ред. В. Літинського. – Львів: Євросвіт, 2001. – 668 с.
3. Павлів П.В. Проблемы высокоточного нивелирования. – Львов: Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 1980. – 124 с.
4. Алексеев А.В., Кабанов М.В., Куштин И.Ф. Оптическая рефракция в земной атмосфере (горизонтальные трассы). – Новосибирск: Наука, 1982. – 234 с.
5. Островский А.Л., Джуман Б.М., Заблоцкий Ф.Д., Кравцов Н.И. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. – М.: Недра, 1990. – 235с.
6. Джуман Б.М., Павлів П.В., Стащишин И.И. Метод определения нивелирной рефракции // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1979. – Вып. 30. – С.66–69.
7. Джуман Б.М., Павлів П.В., Стащишин И.И. Метод определения нивелирной рефракции // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1979. – Вып. 30. – С.66–69.
8. Терещук О.І., Перій С.С. До питання впливу вертикальної рефракції в геометричному нівелюванні // Зб. наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф. “Геодезичний моніторинг, геодинаміка і рефрактометрія на межі ХХІ століття”. – Вид. Львівськ. астрономо-геодезичн. тов. Держ. ун-т “Львівська політехніка”. – Львів, 1998. – С.99–101.
9. Літинський В.О., Кіселик О.В., Літинський С.В. Врахування нівелірної рефракції з використанням приладів з зарядовим зв’язком. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів, 2005. – Вип.ІІ. – С.71–75.
10. Перій С.С. До визначення вертикальної рефракції при геометричному нівелюванні // Зб. наук. пр. Західн. Геодезичн. Тов. УТГК. Вид-во. Нац. ун-ту ”Львівська політехніка”. – Львів, 2006, Вип. І(11). – С.146–150.
11. Літинський В.О., Кіселик О.В., Перій С.С., Літинський С.В. Дослідження впливу нівелірної рефракції у нічний період за допомогою приладів зарядового зв’язку // Укр. міжвід. наук.-техн. збірн. “Геодезія, картографія і аерофотознімання”. – Львів, 2007. – Вип. 69. – С.94–97.

Спосіб геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції та негоризонтальності візирного променя

В. Ващенко, С. Перій, В. Літинський

Запропоновано прокладати високоточні нівелірні ходи за методикою “вперед, назад”. Ця методика дозволяє враховувати зміну кута i на станції та вплив вертикальної рефракції, яку визначають із двосторонніх вимірювань, прискорити процес вибору перехідних точок, а також, у деяких випадках, відмовитися від прокладання зворотного ходу.

Способ геометрического нивелирования с учетом вертикальной рефракции и негоризонтальности визирного луча

В. Ващенко, В. Литынский, С. Перий

Предложено прокладывать высокоточные нивелирные ходы по методике “вперед, назад”. Эта методика позволяет учитывать изменение угла i на станции и влияние вертикальной рефракции, которую определяют из двусторонних измерений, ускорить процесс выбора переходных точек, а также в некоторых случаях, отказаться от прокладки обратного хода.

Method of geometric levelling with respect to vertical refraction and non-horizontal sighting ray

V. Vashchenko, S. Periy, V. Litynskyu

It was proposed to make leveling traverses of high accuracy by method “forward-backward”. This method allows to take into account change of angle i on station and influence of vertical refraction, defined with bidirectional measurements, accelerate the process of traverse points selection, as well as, in certain cases, decline reverse traversing.