

УДК 528.3:551.5

В.О. Літинський<sup>1</sup>, О.В. Кіселик<sup>1</sup>, С.С. Перій<sup>1</sup>, С.В. Літинський<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет "Львівська політехніка"<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НІВЕЛІРНОЇ РЕФРАКЦІЇ У НІЧНИЙ ПЕРІОД ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ ЗАРЯДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

© Літинський В.О., Кіселик О.В., Перій С.С., Літинський С.В., 2007

*Подано результати досліджень нівелірної рефракції в нічний період. Запропонована методика визначення величин коливань зображень з використанням ПЗЗ та уточнено залежності для урахування рефракції в нічний період.*

*Research results of leveling refraction in night period are presented. Method of computing value of images fluctuation by means of CCD is given along with more precise formulas for accounting of refraction in night period.*

**Постановка проблеми.** Виявлення цілодобових залежностей між величинами коливань зображень і вертикальною рефракцією, особливо на різних висотах візорного променя та для різних підстильних поверхонь, з метою можливості урахування впливу атмосфери на результати геометричного нівелювання для виконання спостережень у будь-який період доби.

**Зв'язок із науковими та практичними завданнями.** Вплив вертикальної рефракції у нічний період, коли вертикальний градієнт температури повітря залежно від погоди (сонячна, похмурна, дощова) денного періоду значно змінюється, ще мало досліджений. Вивчення впливу вертикальної рефракції на відліки рейок у досліджуваній період допоможе знайти значення їхніх похибок. Установлення закономірностей між вертикальною рефракцією та коливаннями зображень рейок дасть змогу підвищити точність визначення перевищень та автоматизувати їхнє урахування, використовуючи прилади зарядового зв'язку (ПЗЗ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання розглядуваної проблеми.** Продовжуючи дослідження, започатковані у [4, 5], та аналізуючи [1, 2, 3, 6], бачимо, що проблематика з урахування впливу нівелірної рефракції у досліджуваній період мало досліджена.

**Нерозв'язані частини загальної проблеми.** Сьогодні вивчення впливу вертикальної рефракції у нічний період, а особливо за коливаннями зображень, коли вертикальний градієнт температури змінює свій знак, досліджено недостатньо. Урахування впливу вертикальної рефракції запропонованим в [1] способом візуальної фіксації дрижань зображень є складним. Особливо, як видно із опрацьованої літератури, маловивченим є питання визначення поправок у відліки рейок в нічний період, використовуючи дрижання зображень.

**Постановка завдання.** Використовуючи методику об'єктивної фіксації величин дрижань зображень за допомогою ПЗЗ [4, 5], знайти залежність між дрижаннями зображень та величинами поправок у відліки рейок, їхній знак, а також залежність між дрижаннями та еквівалентною висотою візорного променя.

**Виклад основного матеріалу.** Для досліджень поставленої проблеми створено спостережну станцію, рис. 1. Місце установлення нівеліра А закріплювали дерев'яними кілками довжиною 0.4 м. Місця установлення рейок 1 і 2 закріплювали такими самими кілками із вбитими у їхній торчак цвяхами зі сферичною головкою. Візорний промінь зі станції А на точку 1 проходив спочатку над трав'яним, а далі над асфальтним покриттями, а на точку 2 – над суцільним трав'яним покритвом. Довжини плеч на спостережній станції та еквівалентні висоти візорних променів показано на рис. 1.

Під час спостережень нівелір зі штативом захищали від вітру, дощу та потрапляння прямих сонячних променів.

Погода під час спостережень 13–14.08. 2005 р. подана у таблиці. Рейки під час спостережень у темну пору доби освітлювали. Вимірювання зі станції *A* виконували з 19<sup>h</sup> 15<sup>m</sup>, приблизно через кожні 30 хвилин, окрім 23<sup>h</sup> 00<sup>m</sup>, 23<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> і 00<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> годин через сильні опади дощу, до 09<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>. Результати досліджень подано у таблиці.

У стовпчику 4 подано різниці між перевищеннями, виміряними  $h_{\text{вим}}$  зі станції *A*, та істинними перевищеннями  $h_{\text{іст}}$ . Як бачимо, більшість різниць мають знак мінус. Це значить, що визначувані із вимірювань перевищення менші від істинних. Істинні перевищення отримано чотириразовим нівелюванням короткими променями зі станцій *B* і *C* у періоди нульових вертикальних градієнтів температури. Нівелювання зі станцій *B* і *C* виконували два рази до початку і два рази після закінчення вимірювань зі станції *A*, а також, для контролю, і на наступний день. Середня квадратична похибка перевищення  $h_{1-2} = 2142.06$  мм, отриманого зі станцій *B* і *C*, обчислена за внутрішньою збіжністю результатів, дорівнює  $m_{h_{1-2}} = 0.02$  мм.

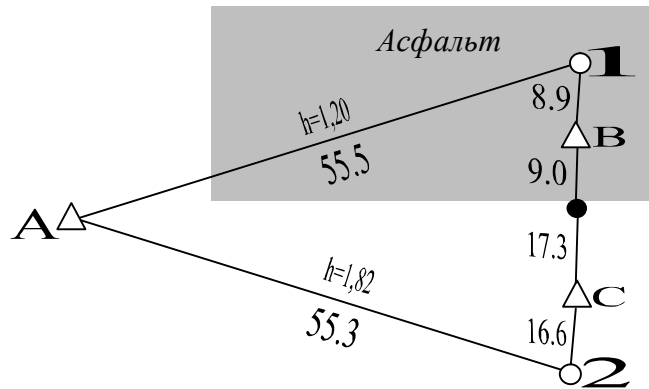


Рис. 1. Схема спостережної станції



Рис. 2. Хід вертикальної рефракції, побудований за відліками рейок

На рис. 2 зображено нічний хід вертикальної рефракції, побудований за відліками рейок, а також їхню поліноміальну апроксимацію. Апроксимація виконувалася поліномами шостого степеня.

Для знаходження виправлених відліків (їхні значення – 0530.85 і 2672.83) рейок за вплив вертикальної рефракції обчислювали розмах –  $\sigma$  дрижань зображень кожної рейки згідно з методикою, поданою у [4, 5], і віднімали значення впливу рефракції, обчислене за (1), від кожного відліку на обидві рейки (див. таблицю – стовпчик 5). У 6-му стовпчику таблиці виконано аналогічні обчислення з виправленням відліків за (2).

## Результати спостережень

Час спостережень	Температура повітря	Погода	Різниця перевищень, мм					
			$h_{\text{вим}} - h_{\text{іст}}$	$\Delta = h_{\text{випр}} - h_{\text{іст}}$				
				За формулою (1)	За формулою (2)	За формулою (3)	За формулою (4)	За формулою (5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
19 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	21.0 <sup>o</sup> C	Сонце	-0,16	0,07	-0,02	-0,05	-0,05	-0,05
19 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>			-0,06	0,11	0,04	0,03	0,03	0,04
19 50			-0,26	-0,11	-0,17	-0,18	-0,17	-0,16
20 20	20.5	Хмарно	-0,26	0,23	0,04	-0,04	-0,06	-0,06
20 30	20.0		-0,16	-0,09	-0,12	-0,11	-0,09	-0,08
21 00	19.9		-0,06	-0,07	-0,07	-0,05	-0,02	-0,01
21 28	19.2		-0,06	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	-0,01
21 53	18.2		-0,06	0,03	-0,01	0,00	0,01	0,03
22 30	17.9		-0,06	-0,15	-0,11	-0,07	-0,03	-0,01
0 20	15.5	Після дощу	-0,06	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01
1 00	15.1	Ніч	-0,06	0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,01
1 30	14.5		0,04	0,22	0,15	0,12	0,12	0,12
2 00	15.1		0,04	0,10	0,07	0,08	0,09	0,10
2 35	14.3		-0,26	-0,17	-0,21	-0,20	-0,19	-0,17
3 10	13.7		-0,06	-0,06	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03
3 35	13.9		-0,06	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00
4 10	13.5		0,04	0,21	0,14	0,12	0,11	0,11
4 30			0,14	0,15	0,15	0,16	0,18	0,19
5 10	13.9		-0,06	0,20	0,10	0,05	0,03	0,03
5 40	13.7		-0,06	0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
6 10	14.0	Розвиднілося	-0,06	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00
6 50	13.3	Хмарно	-0,16	-0,13	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13
7 25	13.6		-0,16	-0,21	-0,19	-0,16	-0,13	-0,12
7 55	13.7		0,04	0,03	0,03	0,05	0,08	0,09
8 30	14.0		-0,06	0,10	0,04	0,02	0,02	0,02
9 00	14.3	Сонце	0,04	0,10	0,07	0,09	0,12	0,14
9 30	14.7	Сонце	-0,16	-0,30	-0,24	-0,17	-0,11	-0,07
Нев'язка в ході із 27 станцій (L=2,99 км)			<b>-2,02</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,02</b>
Середня квадратична похибка перевищення			0,12	0,14	0,11	0,096	0,091	0,089

У цьому стовпчику подано різниці між істинними перевищеннями і перевищеннями, отриманими за відліками, які виправлені за вплив рефракції за запропонованою в [3] і уточненою нами стосовно коефіцієнта формулою (3).

У восьмому – подано аналогічні різниці, де відліки були виправлені за запропонованою нами, на підставі формул для тригонометричного нівелювання у нічний період [2], формулою (4).

У дев'ятому, як і у сьомому стовпчику, отримані аналогічні різниці, де відліки були виправлені за формулою (8). Формула (8) одержана на підставі (3) підбором оптимальних параметрів, які дали змогу отримати мінімум суми середньої квадратичної похибки перевищення та модуля нев'язок. Цей підбір виконували методом мінімізації Ньютона з відповідними діапазонами вхідних параметрів.

$$r_{1,2} = 0.5 \times s \quad (1)$$

$$r_{1,2} = 0.3 \times s \quad (2)$$

$$r_{1,2} = 0.03 \times s \frac{S^{\frac{1}{2}}}{h_{\text{екв}}^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$$r_{1,2} = 0.03 \times s \frac{S^{\frac{1}{2}}}{h_{\text{екв}}^2} \quad (4)$$

$$r_{1,2} = 0.045 \times s \frac{S^{\frac{1}{2}}}{h_{\text{екв}}^5} \quad (5)$$

Для обчислень за (3), (4) та (5) визначали еквівалентну висоту візирного променя за запропонованою нами формулою

$$h_{\text{екв}} = \frac{2i + a}{3}, \quad (6)$$

де  $i$  – висота нівеліра,  $a$  – відлік рейки.

Внизу таблиці подано суму різниць у ході (тобто нев'язку), якби хід складався із 27 (стільки ж є вимірювань) аналогічних станцій та середню квадратичну похибку вимірюного перевищення – у четвертому стовпчику. У наступних стовпчиках – аналогічно для перевищень обчислених за виправленими, за поданою вище методикою, відліками.

Як бачимо, урахування поправок з коефіцієнтом 0.5 (стовпчик 5) змінює не тільки знак поправок, а і зменшує нев'язку у ході приблизно у чотири рази.

Якщо ж враховувати поправки так, як описано у шостому стовпчику, то результат залишається приблизно таким, як для п'ятого стовпчика.

Найкращий, на нашу думку, результат отримано із застосуванням формул, запропонованих нами – стовпчик 8 та 9.

**Висновки.** З отриманих результатів досліджень можна також зробити припущення, що для нічних спостережень урахування рефракції за коливаннями зображень з коефіцієнтом  $0.5\sigma$ , дає змогу майже у чотири рази зменшити вплив диференційної вертикальної рефракції. Але найкращий результат, де нев'язка дорівнює точності вимірювань, отримано за (4) і (5).

1. Джуман Б.М., Павлів П.В., Стацішин І.І. Метод определения нивелирной рефракции // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1979. – Вып. 30. – С.66 – 69. 2. Перий С.С. Определение вертикальной рефракции методами рефракционных соотношений. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1989. – Вып. 50. – С.83–87. 3. Джуман Б.М. Зависимость амплитуды колебаний изображений от высоты визирного луча // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1983, – Вып. 38. – С.16–21. 4. Літинський В.О., Кіселик О.В., Літинський С.В. Визначення параметрів коливань зображень візирних цілей // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів, 2005. – С.133–137. 5. 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. II. – С.71–75. 6. Островский А.Л., Кравцов Н.И., Перий С.С. Определение частных углов рефракции по дрожаниям центра лазерного пятна и угловым колебаниям цели // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1987, – Вып. 45. – С.69–77.