

палеотектонических реконструкций Антарктического полуострова // Бюллетень УАЦ. – К., 2002. – Вып. 4. – С. 11–24. 3. Кокс А., Харт Р. Тектоника плит / Пер. з англ. – М.: Мир, 1989. – 427 с. 4. Молчанов В.И., Параев В.В. Центробежно-инерционный механизм глобальной тектоники литосферных плит / Электронный научно-информационный журнал. – 2004. – №1(22). 5. Deitrich R., Dach R., et al, ITRF coordinates and plate velocities from repeated GPS campaigns in Antarctica – an analysis based on different individual solutions // Journal of Geodesy. – 2001. – Вып. 74. – С. 756–766.

УДК 528.3:551.5

В.О. Літинський, О.В. Кіселик
Національний університет “Львівська політехніка”

С.В. Літинський
Львівський національний університет імені Івана Франка

ВРАХУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФРАКЦІЇ В НІВЕЛІРНИХ ХОДАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИБЛАДІВ ЗАРЯДОВОГО ЗВ’ЯЗКУ

© Літинський В.О., Кіселик О.В., Літинський С.В., 2006

Запропоновано методику врахування диференціальної нівелірної рефракції під час прокладання ходів з великими перевищеннями. Показано, що не для усіх висот візирного променя коливання зображень адекватно відображають аномальну частину вертикальної рефракції.

Method of accounting of differential leveling refraction for lines with large elevations is presented in this paper. It is shown that images fluctuations could be used for adequate representing of abnormal part of vertical refraction not for every height of direction line.

Постановка проблеми. Найбільший вплив на точність прецезійного геометричного нівелювання у ходах зі значними перевищеннями має вертикальна рефракція.

Зв’язок із науковими та практичними завданнями. Вплив вертикальної рефракції у денний період, коли температура повітря із висотою падає, то навіть у так звані ранішню та вечірню видності вплив вертикальної рефракції під час нівелювання зменшуватиме вимірне перевищення. Вивчення закономірностей впливу рефракції на відліки рейок допоможе зменшити похибки у визначуванних перевищеннях. На нашу думку, сьогодні переважна більшість значних перевищень визначена геометричним нівелюванням з похибками. Ці похибки для однакових зовнішніх умов є прямо пропорційними до величин перевищень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення розглядуваної проблеми. Продовжуючи дослідження, започатковані у [4, 5], та аналізуючи [1, 2, 7, 8], бачимо, що проблематика з врахування впливу вертикальної рефракції і сьогодні є актуальною.

Невирішені частини загальної проблеми. Сьогодні діюча Інструкція з нівелювання [3] не має ніяких застережень щодо врахування впливу вертикальної рефракції, величина якої вже через 0,5 години після періоду нульових вертикальних температурних градієнтів сягає у сонячні дні 0,2–0,3 мм на одній станції для перевищень 1,5 – 2,0 м і плечей близько 50 м. Врахування впливу вертикальної рефракції, запропонованої в [1], способом візуальної фіксації дрижань зображень, дає значний ефект, але є складним під час вимірювань. Із опрацьованої літератури не дуже зрозуміло, чи дрижання зображень рейок однаково і адекватно відображають величину аномальної рефракції для різних еквівалентних висот візирного променя.

Постановка завдання. Використовуючи запропоновану у [4, 5] методику об'єктивної фіксації величин дрижань за допомогою ПЗЗ, потрібно знайти залежність величини поправки від еквівалентної висоти візирного променя для врахування її у відлік рейки з метою зменшення впливу вертикальної рефракції на визначуване перевищення у ході.

Виклад основного матеріалу. Для досліджень створено спеціальну спостережну станцію (рис. 1), на якій місця установа нівеліра з метою вилучення похибок за випирання чи просідання штатива, закріплювали дерев'яними кілками завдовжки 0,4 м. Місця установа рейок закріплювали такими самими кілками із вбитими у їхній торчак цвяхами зі сферичною головкою. Візирний промінь по усіх напрямках проходив над суцільним трав'яним покривом. Довжини плечей на кожній станції та еквівалентні висоти візирних променів показані на рисунку.

У штрих-кодових рейках та цифровому нівелірі DiNi 22, якими виконували вимірювання, провели необхідні перевірки та дослідження. Досліджені нами різниці п'яток використовуваних рейок не перевищували точності відлічування рейок. Під час спостережень нівелір зі штативом захищали від потрапляння на нього прямих сонячних променів.

Для вилучення похибок поділок рейок під час порівняння однойменних перевищень відліки рейок із однойменних станцій I і Ia, II і IIa, III і IIIa, IV і IVa, V і Va відрізнялися не більше ніж на декілька сантиметрів. Під час вимірювань також звертали увагу на перпендикулярність площини шкали рейки до візирного променя, тому що згідно з нашими дослідженнями похибка відлічування рейки через невиконання цієї умови може сягати 0,4 мм.

Вимірювання виконували у такій послідовності. Установили нівелір на станції I та відрахували рейки, установлені у точках 1 і 2. Перейшли з нівеліром на станцію Ia, і знову відрахували ці самі рейки.

Далі переходимо з нівеліром на станцію IIa і відраховуємо рейки, установлені у точках 2 і 3. Переходимо на станцію II і відраховуємо ці самі рейки. Тоді нівелювання виконуємо зі станції III. Аналогічно виконуємо нівелювання на інших станціях. Закінчивши нівелювання на станції Va, проклали аналогічно до прямого зворотний хід. Така послідовність нівелювання дала змогу вилучити похибки температурних розширень рейок. Було прокладено два прямих і два зворотніх ходи.

Різниці між перевищеннями, визначеними чотири рази на кожній станції із короткими плечами, не перевищували 0,1 мм. Середні із отриманих перевищень на станціях із короткими плечами прийняли за істинні, такі що не спотворені рефракцією.

Перевищення, отримані із станцій з довгими плечами, спотворені впливом диференційної вертикальної рефракції. Величину впливу цієї рефракції, на нашу думку, можна обчислити як різницю між перевищеннями, визначеними на станціях з довгими плечами, і перевищеннями, визначеними з однойменних станцій з короткими плечами.

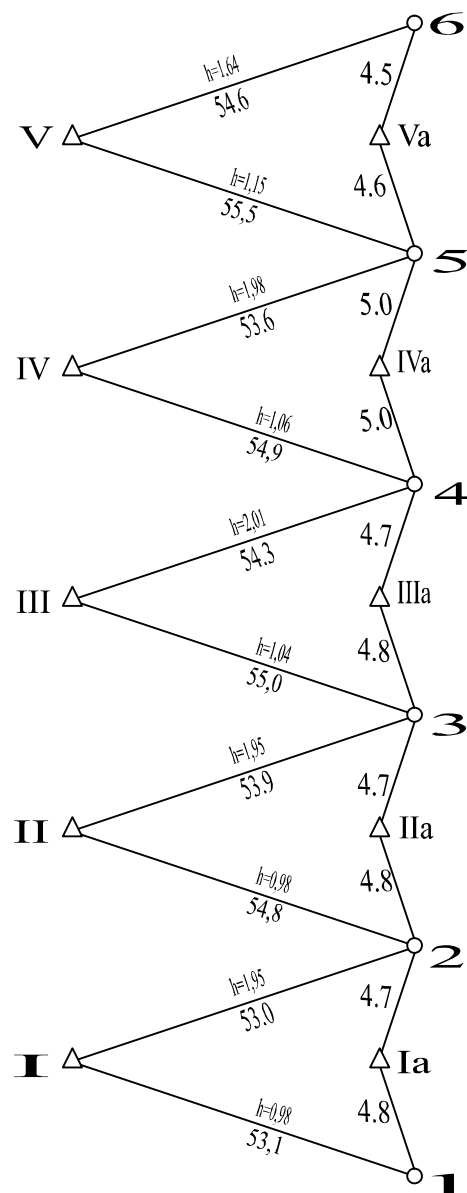


Схема спостережної станції

Результати досліджень подано у таблиці. У стовпчику 4 подано різниці між перевищеннями, отриманими із нівелювання зі станцій I, II, ... V, та істинними перевищеннями. Як бачимо, всі різниці мають знак мінус. Це означає, що визначувані із вимірювань перевищення менші від істинних.

Найменші похибки за рефракцію на V станції, тому що перевищення на цій станції близько 1 м, а на решта станцій – близько 2 м. Крім того, різниця еквівалентних висот візорних променів на цій станції є найменшою і відлік на верхню рейку дорівнює 0,8 м, а на решта станцій – 0,4–0,5 м, що, на нашу думку, має більший, ніж величина перевищення, вплив на значення рефракції. У стовпчику 5 подано різниці між перевищеннями, обчисленими за виправленими відліками, і істинними перевищеннями.

Для знаходження виправлених відліків рейок за вплив вертикальної рефракції обчислювали розмах (σ) дрижань зображень кожної рейки згідно з методикою, поданою у [4, 5], і віднімали 0.5σ від кожного відліку. У 6-му і 7-му стовпчиках таблиці виконані аналогічні обчислення з виправленням відліків 0.55σ і 0.60σ . У стовпчику 8 до уваги брали перевищення, обчислені за відліками рейок, виправленими так: менші відліки на станції зменшували на 0.6σ , а більші – на 0.5σ .

Результати порівнянь виміряних та виправлених перевищень

Номер станції	Час спостережень	Температура повітря	Різниці перевищень, мм				
			$h_{\text{вим}} - h_{\text{іст}}$	0.50σ	0.55σ	0.60σ	0.5σ 0.6σ
Перший хід							
1	13 ¹⁰	23,6 ⁰ C	-1,40	-0,70	-0,63	-0,55	-0,30
2	13 ¹³		-2,25	-1,31	-1,23	-1,13	-0,90
3	13 ¹⁶		-0,80	-0,23	-0,18	-0,11	+0,04
4	13 ¹⁷		-0,60	-0,20	-0,16	-0,12	+0,06
5	13 ²¹		-0,30	+0,07	+0,10	+0,13	+0,29
Сума поправок у ході (L=0,54 км)			-5,35	-2,37	-2,10	-1,78	-0,81
Другий хід							
1	13 ³⁸	22,6 ⁰ C	-0,90	-0,32	-0,27	-0,21	-0,06
2	13 ³⁴		-1,55	-0,82	-0,75	-0,67	-0,44
3	13 ³⁰		-0,90	-0,39	-0,34	-0,29	-0,12
4	13 ²⁷		-0,80	-0,56	-0,53	-0,51	-0,35
5	13 ²⁴		-0,30	-0,10	-0,17	+0,01	+0,16
Сума поправок у ході (L=0,54 км)			-4,45	-2,19	-2,06	-1,67	-0,81
Третій хід							
1	13 ⁴³	23,6 ⁰ C	-0,60	+0,12	+0,19	+0,20	+0,29
2	13 ⁴⁷		-1,65	-0,87	-0,79	-0,72	-0,49
3	13 ⁵⁰		-0,80	-0,37	-0,33	-0,29	-0,05
4	13 ⁵⁴		-0,70	-0,48	-0,46	-0,44	-0,26
5	13 ⁵⁸		-0,40	-0,14	-0,12	-0,09	+0,08
Сума поправок у ході (L=0,54 км)			-4,15	-1,74	-1,51	-1,34	-0,43
Четвертий хід							
1	14 ¹⁵	24,0 ⁰ C	-0,60	-0,27	-0,24	-0,21	-0,01
2	14 ¹²		-1,75	-0,99	-0,91	-0,83	-0,69
3	14 ¹⁰		-0,90	-0,15	-0,08	-0,01	+0,19
4	14 ⁰⁵		-0,20	-0,32	-0,33	-0,34	-0,24
5	14 ⁰⁰		-0,10	+0,07	+0,08	+0,01	+0,27
Сума поправок у ході (L=0,54)			-3,55	-1,68	-1,48	-1,38	-0,48
Сума поправок у 4-х ходах. Довжина такого ходу L=2,17 км			-17,50	-7,96	-7,15	-6,17	-2,53

Аналізуючи отримані результати, бачимо, що найкращі результати отримані, якщо поправки у відліки рейок враховувати так, як у 8-му стовпчику, але це не підтверджується для V станції. Звідси можна зробити такий висновок, що для візирних променів, не нижчих за 0,8 м, найефективнішими є поправки, обчислені за $0,6\sigma$. Для решта станцій, там, де промені проходять на висоті 0,4–0,5 м, поправки у відліки рейок обчислюють з коефіцієнтом $0,6\sigma$, а у відліки, більші за 0,8 м, – з коефіцієнтом $0,5\sigma$. Але навіть поправки $0,6\sigma$ у малі відліки не повністю вирішують проблему. Як зрозуміло з таблиці, переважна більшість різниць між виправленими і істинними перевищеннями має знак мінус.

Виконані дослідження також підтверджують вимоги Інструкції [3], що відліки у нівелюванні I класу не можуть бути менші за 0,8 м. З результатів, наведених у таблиці, можна зробити висновок, що у нівелірному ході, подібному до досліджуваного, який складався б із 5-ти станцій і був би завдовжки 0,54 км, похибка за рефракцією дорівнювала б $3,55\text{--}5,35$ мм, а у ході завдовжки близько 1 км – $7,1\text{--}10,7$ мм, що могло б перевищувати нев'язку навіть для нівелірного ходу III класу. Згідно з Інструкцією [3], нев'язка для такого ходу завдовжки 1 км не має перевищувати: I кл – 2 мм; II кл – 5 мм; III кл – 10 мм; IV кл – 20 мм. З уведеними ж поправками у відліки рейок (стовпчик 8) ці похибки менші від допустимої нев'язки для ходу I класу. На жаль, зауважити у прокладуваних ходах похибки через вплив вертикальної рефракції важко, тому що порівнюються лівий і правий, прямий і зворотний ходи, які приблизно однаково спотворені впливом рефракції. Власне через це похибкам, викликаним рефракцією, і сьогодні не надають великого значення у багатьох країнах.

Висновки. З отриманих результатів досліджень можна також зробити припущення, що для низьких променів, принаймні для відліків рейки, менших за 0,5 м, коливання зображень не завжди повністю характеризують величину аномальної частини вертикальної рефракції, але і запропонована методика дає змогу майже у сім разів зменшити вплив диференційної вертикальної рефракції навіть для променів заввишки 0,4–0,5 м.

1. Джуман Б.М., Павлів П.В., Стацишин І.І. Метод определения нивелирной рефракции // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1979. – Вып. 30. – С.66 – 69. 2. Изотов А.А., Пеллинен Л.П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования // Тр. ЦНИИГАиК. – 1955. – №102. – 175 с. 3. Інструкція по нивелюванню I, II, III, IV класов. – М.: Недра, 1990. 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. Островський А.Л., Островська О.А., Новосад В.М., Кіселик О.В. Порівнювальні дослідження точності автоматизованого визначення та врахування аномальної вертикальної рефракції сантиметром, відеотеодолітом, цифровим нівеліром // Геодинаміка: Зб. наук. пр. – Львів, 2004. – №1 (4). – С. 17–23. 7. Островський А.Л. Виведення формули визначення аномальної вертикальної рефракції на основі теорії турбулентності атмосфери // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – Вип. 64. – С. 59–72. 8. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. – М.: Наука, 1967. – 548 с. 9. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Кіселик О.В., Островська О.А. Спосіб визначення вертикальної рефракції // Деклараційний патент на винахід №20031211202, 2004. 10. Flach P., Maas H. Vision-based techniques for refraction analysis in applications of terrestrial geodesy. – IAPRS, Onuma. – Vol. XXXII. – Part.5 – 3W12, hh. 195–201. 11. Witte B., Deuben D. Возможности применения цифровой камеры для определения вертикальной рефракции // Геодезия и аэрофотосъемка. Изв. вузов. – 2001. – №2. – С. 130–139.