

УДК. 528.024.187

**В.М. НОВОСАД**

Національний університет "Львівська політехніка"

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ НІВЕЛЮВАННЯ В ТУРБУЛЕНТНІЙ АТМОСФЕРІ, ШЛЯХОМ ВРАХУВАННЯ РЕФРАКЦІЇ ТА ЗМІНИ КУТА $i''$

© Новосад В.М., 2003

*Ограничение точности геометрического нивелирования обусловлено влиянием нивелирной рефракции и изменением угла  $i''$ . Показано, что при геометрическом нивелировании ошибки вызванные рефракцией носят систематический характер. После введения поправок за рефракцию тем или другим методом, остаточные рефракционные ошибки превращаются из систематических в случайные, а потому являются менее опасными, поскольку накопление их происходит пропорционально корню квадратному с длины нивелирного хода –  $\sqrt{L}$ , а не пропорционально длине –  $L$ . Приводятся рекомендации по выполнению нивелирных работ при нормальной и неустойчивой стратификации атмосферы.*

*Limitation of the geometrical leveling accuracy conditioned by leveling refraction influence and change of angle  $i''$ . Shown, that in the geometrical leveling the refraction errors have a systematic nature. After correction for refraction by some method, the residual refraction errors transform from systematic into casual, and that's is why are less dangerous. Them accumulation is proportion to root square from length of the leveling line –  $\sqrt{L}$ , and is not proportion to length –  $L$ . The recommendations on performance of the leveling works for normal and unsteady atmosphere stratification was given.*

### Постановка проблеми та її зв'язок з науковими завданнями

При оцінці точності геометричного нівелювання в погляді виникає різниця більше ніж в два рази, визначеному за відліками рейки та визначеному за перевищеннями. Вияснимо причину такої розбіжності. Була прийнята версія, що причиною цього є переважно рефракція та зміни кута  $i''$ . Встановимо справедливість такої версії, такої гіпотези.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз показав, що можна надійно твердити про підвищення точності нівелювання III класу в два рази при переході від існуючого методу нівелювання до нівелювання методом суміщення. Дійсно, розроблені методи визначення рефракції та зміни кута  $i''$  дають можливість виправити вимірюні (безпосередньо взяті) відліки рейок в експериментальних дослідженнях поправками за рефракцію  $r$  та за зміну кута  $i'' - \pm \frac{\Delta h_i}{2}$ .

### Формульовання цілей статті

Порівнюючи точність вимірюніх та виправлених відліків, а також перевищень, можна зробити висновки як про справедливість такої гіпотези, так і про можливість підвищення точності нівелювання.

Аналізуючи таблицю, бачимо, що після введення поправки за рефракцію, похиби відліків зменшилися у середньому в 1,8 раза, а введення поправок за зміну кута  $i''$ , ще більше підвищили

точність відліків. З двома поправками точність відліків підвищилась в 2,3 раза. Звернемо увагу на те, що в похибках погляду частина систематичних похибок, що припадає на рефракцію становить більше 70 %, а на неповне виконання головної умови нівеліра, непаралельності візорної осі та осі рівня (вплив кута  $i''$ ) припадає 28 %.

### Похибки погляду, обчислені за відліками рейок

Дати спостережень	Назва рейок	Похибки поглядів			Відношення похибок
		$m_{noz}$	$m'_{noz}$	$m''_{noz}$	
1	2	3	4	5	6
28.07	Задня ліва верх	0,68	0,15	0,16	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 2,25$
	Задня ліва низ	0,55	0,27	0,19	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Задня права верх	0,73	0,18	0,14	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 3,40$
	Задня права низ	0,63	0,27	0,15	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Передня ліва верх	0,65	0,21	0,23	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Передня ліва низ	0,45	0,31	0,15	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Передня права верх	0,80	0,32	0,12	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Передня права низ	0,38	0,42	0,34	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Середнє за день	0,61	0,27	0,18	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Задня ліва верх	0,30	0,23	0,32	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
30.07	Задня ліва низ	0,46	0,34	0,15	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Задня права верх	0,28	0,20	0,31	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,50$
	Задня права низ	0,53	0,46	0,27	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,24$
	Передня ліва верх	0,50	0,25	0,23	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,24$
	Передня ліва низ	0,35	0,16	0,10	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,81$
	Передня права верх	0,36	0,29	0,17	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,81$
	Передня права низ	0,36	0,17	0,14	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,81$
	Середнє за день	0,39	0,26	0,21	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,81$
	Задня ліва верх	0,55	0,28	0,38	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,57$
	Задня ліва низ	0,31	0,42	0,29	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,57$
31.07	Задня права верх	0,65	0,24	0,12	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,57$
	Задня права низ	0,50	0,47	0,31	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,17$
	Передня ліва верх	0,48	0,18	0,21	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,17$
	Передня ліва низ	0,21	0,27	0,14	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,83$
	Передня права верх	0,30	0,21	0,24	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,83$
	Передня права низ	0,51	0,17	0,23	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,83$
	Середнє за день	0,44	0,28	0,24	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,83$
	Задня ліва верх	0,64	0,19	0,31	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,86$
	Задня ліва низ	0,36	0,43	0,33	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,86$
	Задня права верх	0,70	0,16	0,23	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,86$
01.08	Задня права низ	0,57	0,16	0,22	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 1,08$
	Передня ліва верх	0,62	0,23	0,37	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,08$
	Передня ліва низ	0,29	0,49	0,31	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 2,00$
	Передня права верх	0,78	0,15	0,18	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 2,00$
	Передня права низ	0,33	0,49	0,22	$\frac{m'_{noz_{cp}}}{m''_{noz_{cp}}} = 2,00$
	Середнє за день	0,54	0,29	0,27	$\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 2,00$

### Похибки погляду, обчислені за відліками рейок (продовження)

1	2	3	4	5	6
Загальне середнє		0,50	0,28	0,22	$\frac{m_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 1,78$ $\frac{m'_{noz}}{m''_{noz}} = 1,28$ $\frac{m''_{noz_{cp}}}{m_{noz_{cp}}} = 2,27$

Отже, якщо виключити або мінімізувати вплив рефракції та зміну кута  $i''$  на результати вимірювань, то тим самим можна підвищити точність відліків не менше ніж у два рази.

Дуже важливим і показовим є те, що після введення поправок результати оцінки точності погляду за перевищеннями і за відліками практично є однаковими. Важливим є те, що розроблений метод змінює характер дії похилок, зумовлених рефракцією. Ці похибки до введення поправок носили систематичний характер, а після введення – набули випадкового характеру. Точність підвищилась в 1,8 раза. Тому перехід до такої методики нівелювання має беззаперечну доцільність. На жаль, розроблений метод врахування рефракції придатний при виконанні безперервних циклів спостережень на одній станції нівелювання і не може бути застосованим під час нівелювання. Однак існує, так званий, флюктуаційний метод врахування рефракції в турбулентній атмосфері. Точність методу оцінюється середньою квадратичною похибкою врахування рефракції  $m_r = 0,05$  мм. Границя потроєна похибка буде гран.  $M_r = 0,15$  мм. Турбулентний метод базується на законі пливучості елементарних частинок в атмосфері. Доведено [1], що в термічно-турбулентній атмосфері миттєве положення штриха рейки відповідає моментам часу, коли приземні прошарки атмосфери миттєво мають нормальній розподіл, а аномальна рефракція в ці моменти відсутня. У цьому методі аномальну рефракцію пропонується виключати наведенням бісектора нівеліра не на середнє положення штриха, що коливається, а на максимальні верхні видимі положення штриха. Тоді аномальна рефракція буде виключена, як систематична похибка, тобто почне діяти як випадкова похибка, що дорівнює випадковій помилці цього методу врахування рефракції.

### Висновки

Враховуючи усе вищепередоване, можна рекомендувати:

- 1) проводити нівелювання при нормальній та нестійкій стратифікації атмосфери;
- 2) виключити проведення високоточних нівелірних робіт при інверсійній стратифікації атмосфери;
- 3) виконувати нівелювання при коливаннях зображень штрихів з амплітудою не більше 1,5мм (30 поділок оптичного мікрометра Н-05). Щоб виміряти амплітуду коливань, необхідно навести бісектор на середнє положення штриха, що коливається, взяти відлік. Потім навести бісектор на максимально верхнє положення. Повторити відлік. Різниця відліків дасть амплітуду коливань;
- 4) нівелювання проводити за звичайною або модернізованою програмою, але при коливаннях зображень штрихів рейок наводити кутовий бісектор нівеліра не на середні, а на максимально верхні видимі положення штрихів, що коливаються. Цим ліквідується аномальна рефракція;
- 5) така методика нівелювання має дві суттєві переваги перед прийнятою:
  - розширяється період доби, в який можна здійснювати спостереження;
  - гарантується підвищення точності нівелювання не менше ніж в 1,5 раза.

1. Островский А.Л., Джуман Б.М., Заблоцкий Ф.Д., Кравцов Н.И. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. – М.: Недра, 1990. – 235 с. 2. Ostrovskij A. Regularities of fluctuations and determination of vertical gradients of temperature and anomalous refraction of the light beam in thermally atmosphere. *Politechnica Warzawska. Reports of geodesy № (2) 25, 1997. S. 21–29.*
3. Новосад В. М. Підвищення точності нівелювання реконструкцією нівеліра з метою вивчення геодинамічних процесів // Геодинаміка гірських систем Європи. Матеріали міжнародного симпозіуму. – Яремче, 1994. – С. 41–42.