



ДО ПИТАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ СПОСОБОМ "ВПЕРЕД-НАЗАД" З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОТОЧНОГО ЦИФРОВОГО НІВЕЛІРА LEICA DNA03

Проведены экспериментальные исследования надежности способа геометрического нивелирования "вперёд-назад" цифровым нивелиром Leica DNA03. Доказана нестабильность суммарного угла негоризонтальности визирного луча на протяжении дня. Отмечено, что этот способ не полностью исключает влияние вертикальной рефракции на процесс определения превышений.

The paper deals with experimental investigations on reliability of "forward-backward" method of geometrical levelling by Leica DNA03 digital level. It is proved the unstability of total angle of unhorizontality of sighting ray during daytime. It is observed, that the method do not entirely exclude the influence of vertical refraction on results of leveling.

Постановка проблеми. При виконанні геометричного нівелювання способом "із середини" електронним нівеліром з використанням односторонніх рейок виникає проблема контролю визначення перевищення на станції. Відсутність такого контролю спричинює накопичення похибок у нівелірному ході, тож виникає потреба в контролі стабільності встановлення променя візування в горизонтальне положення та впливу вертикальної рефракції.

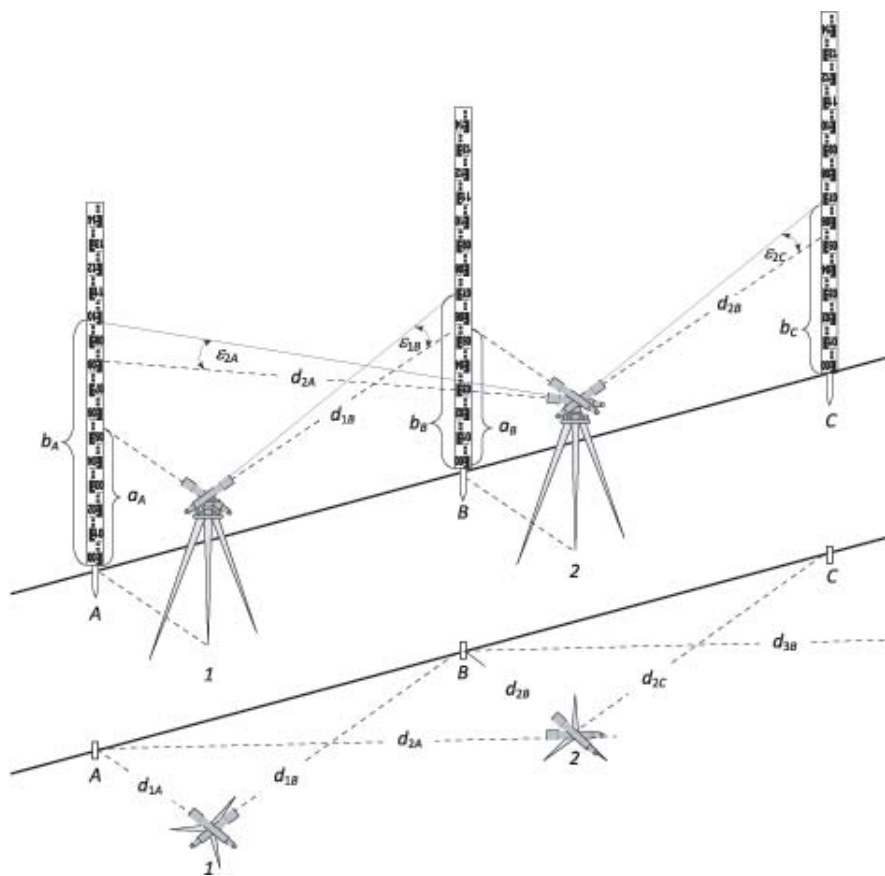
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геометричне нівелювання регламентується чинною інструкцією [2].

Застосування сучасних електронних нівелірів з кодовими рейками дає можливість підвищити точність цього виду знімання за рахунок виключення особливих похибок, зменшити похибки відліку та встановлення променя нівелювання в горизонтальне положення.

Високоточний електронний нівелір DNA03 фірми "Leica", згідно з паспортними даними, забезпечує точність роботи компенсатора зі встановлення променя візування в горизонтальне положення 0,3", точність виконання геометричного нівелювання електронним відлічуванням за штрихковою інварною рейкою – 0,3 мм на 1 км подвійного ходу. Відлік береться з дискретністю 0,01 мм.

У праці [3] пропонується спосіб геометричного нівелювання "вперед-назад", який дає змогу контролювати процес визначення перевищення на кожній лінії. Цього досягають

контролем стабільності встановлення візирного променя в горизонтальне положення [1]. Суть способу полягає у виконанні подвійних вимірювань перевищень способом "вперед" з кінцевих станцій лінії нівелювання (в прямому і зворотному напрямках) (див. мал. 1).



Мал. 1. Нівелювання способом "вперед-назад"

Виконуючи подвійні вимірювання перевищення в прямому і зворотному напрямках, на одній лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч ($d_{1B}=d_{2A}$), перевищення по лінії AB отримують за формулою



$$h_{AB} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2} - (k_{1B} - k_{2A}) \frac{d_{AB}^2}{4R_3}, \quad (1)$$

де a_A, a_B – відліки за ближніми рейками, встановленими у точках A і B ; b_A, b_B – відліки за дальніми рейками; $d_{1B} = d_{2A} = d_{AB}$ – горизонтальна відстань між нівеліром, встановленим відповідно в положенні 1 та 2, і дальньою рейкою; k_{1B}, k_{2A} – коефіцієнти вертикальної рефракції на лініях нівелювання.

Середнє перевищення обчислюють за спрощеною формулою

$$h_{\text{ср.}} = \frac{a_A - b_B - a_B + b_A}{2} = \frac{h_{\text{вп.}}^{\text{вим.}} - h_{\text{наз.}}^{\text{вим.}}}{2}, \quad (2)$$

де $h_{\text{вп.}}^{\text{вим.}} = a_A - b_B$; $h_{\text{наз.}}^{\text{вим.}} = a_B - b_A$.

Для контролю нівелювання пропонується обчислювати сумарний кут ε'' , який містить кутові величини за негоризонтальність візирного променя, кривину Землі та вертикальну рефракцію, за такою залежністю:

$$\varepsilon'' = \left(\frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} \right) \frac{\rho''}{d_{AB}}, \quad (3)$$

де $\rho'' = 206\,265$.

Результат нівелювання контролюють, аналізуючи стабільність кута ε'' . Практично, виходячи з ідеї самого способу, на кожній лінії нівелювання виконують перевірку головної умови на горизонтальність візирного променя нівеліра.

Щоб визначити сам кут негоризонтальності візирного променя i'' , необхідно враховувати кривину Землі і вертикальну рефракцію:

$$\bar{i}'' = \left(\frac{b_A + b_B - a_A - a_B}{2} - \frac{d_{AB}^2}{2R_3} + \frac{(k_{1B} + k_{2A})d_{AB}^2}{4R_3} \right) \frac{\rho''}{d_{AB}}. \quad (4)$$

Невирішена частина загальної проблеми. Одна з основних вимог геометричного нівелювання [2] полягає в тому, що для досягнення високої точності визначення перевищень застосовують спосіб "із середини", який, однак, не повністю виключає вплив негоризонтальності променя нівелювання та частково компенсує вплив вертикальної рефракції. Крім того, цей класичний спосіб нівелювання має такий недолік: впродовж роботи не контролюється горизонтальність положення візирного променя на станції. Зміна його положення за час між спостереженнями на задню і передню рейки входить у похибку визначення перевищення.

Постановка завдання: дослідити точність і надійність способу нівелювання "вперед-назад" з використанням високоточного цифрового нівеліра Leica DNA03 та надати рекомендації щодо його подальшого застосування.

Виклад основного матеріалу дослідження. На території експериментального полігона Львівської

національної аграрної академії проведено нівелювання з використанням комплексу кодових двометрових інварних рейок.

Вимірювання здійснено 13 вересня 2011 р. за сонячної погоди. Згідно з програмою досліджень, нівелювання способом "вперед-назад" виконувалось з двох станцій (див. мал. 1). Плечі між станціями вимірювання 1 і 2 та рейками, що були встановлені та утримувались у вертикальному положенні за допомогою спеціальних тримачів на костілях у точках A і B , становили: $d_{AB} = 49,8$ м.

Перевищення вздовж лінії AB , визначене з нівелювання короткими плечами (≈ 6 м), складало: $h_{\text{вп.}}^{\text{теор.}} = -0,71429$ м. Загалом виконано 102 вимірювання перевищень методом "вперед" по лініях AB, BA що відповідає 2,5 км нівелірного ходу, прокладеного за методикою "вперед-назад".

Найнижча точка візування на рейку була 0,60 м, а найвища – 1,93 м. Еквівалентні висоти проходження променя візування над асфальтом склали: $h_{\text{екв. AB}} = 1,46$ м і $h_{\text{екв. BA}} = 1,13$ м.

Результати перевірки нівелювання способом "вперед-назад"

Станція	Час вимірювання, год	h "вперед-назад", м	Δh , м	$\Sigma h/2$, м	e''	$h_{\text{ср.}}$, м	$\Delta h_{\text{ср.}}$, м
A	7:37	-0,71374	0,00056	0,00042	-1,76	0,71416	0,000132
B	7:48	0,71459	0,00029				
⋮	⋮	⋮	⋮				
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A	19:01	-0,71373	0,00057	0,00057	-2,37	0,71430	-0,000003
B	19:07	0,71487	0,00057				
Середнє		0,71416	0,00045	0,00045	-1,857	0,71416	0,00014
$m=$		0,00051	0,00028	0,00018	0,766	0,00016	0,00016

Під час вимірювання у відліки по рейках автоматично вводились поправки за кривину Землі. Виміряні перевищення методом "вперед" порівнювалися з теоретичними та обчислювались істинна помилка вимірювань:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{\text{вп.}} &= h_{\text{вп.}}^{\text{вим.}} - h_{\text{вп.}}^{\text{теор.}} \\ \Delta h_{\text{наз.}} &= h_{\text{наз.}}^{\text{вим.}} + h_{\text{наз.}}^{\text{теор.}} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Увівши у відліки поправки за кривину Землі, знайдемо сумарний кут ε'' із осереднених кутових величин \bar{i}'' – кута негоризонтальності візирного променя та \bar{r}'' – кута вертикальної рефракції:

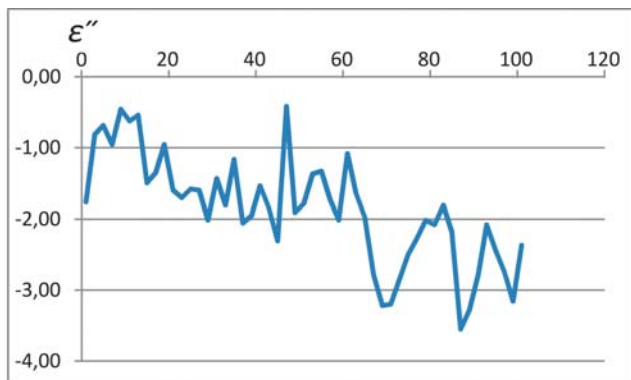
$$\varepsilon'' = \bar{i}'' - \bar{r}'' = - \left(\frac{\Sigma h}{2} \right) \frac{\rho''}{d_{AB}}, \quad (6)$$

де

$$\Sigma h = (h_{\text{вп.}}^{\text{вим.}} + h_{\text{наз.}}^{\text{вим.}}).$$

Як видно з мал. 2, сумарний кут ε'' стабільний за період спостережень і зазнає великих змін лише через вертикальну рефракцію. Компенсатор нівеліра гарантує встановлення променя візування в горизонтальне положення з точністю 0,3".

Порівнявши перевищення, визначені способами "вперед" і "вперед-назад" (див. дані таблиці) за весь період експериментальних спостережень,

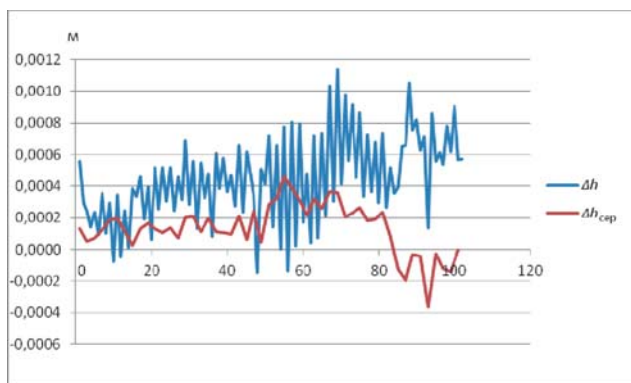


Мал. 2. Зміна значень сумарного кута ε'' за період спостережень

можемо зробити висновок, що отримані другим способом результати в три рази точніші: середня квадратична похибка визначення перевищення способом "вперед" склала 0,51 мм, а "вперед-назад" – 0,16 мм.

Величина $\Delta h_{\text{сер}}$ залежить від різниці між абсолютними похибками $\Delta h_{\text{вп}}$ і $\Delta h_{\text{наз}}$:

$$\Delta h_{\text{сер}} = \frac{\Delta h_{\text{вп}} - \Delta h_{\text{наз}}}{2} = h_{\text{вп}}^{\text{сер}} - h_{\text{вп}}^{\text{теор}}. \quad (7)$$



Мал. 3. Порівняння абсолютних похибок перевищень, визначених методами "вперед" (Δh) і "вперед-назад" – $\Delta h_{\text{сер}}$

Оскільки значення плеч під час вимірювання прямого та зворотного перевищення однакові, то

$$\Delta h_{\text{сер}} = (k_{1B} - k_{2A}) \frac{d_{AB}^2}{4R_3} = \Delta k \frac{d_{AB}^2}{4R_3}. \quad (8)$$

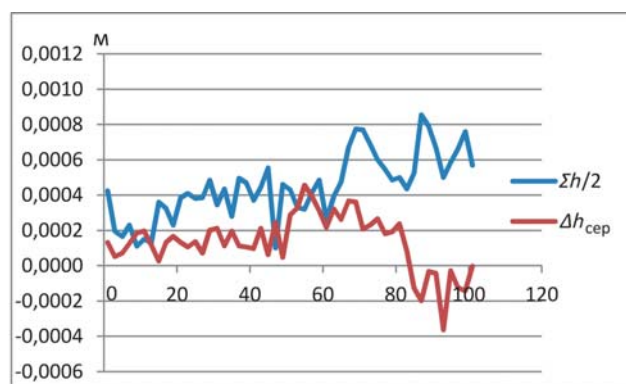
Із залежності (8) видно, що на абсолютну похибку визначення перевищення способом "вперед-назад" впливає різниця значень рефракцій під час прямого і зворотного вимірювань. При рівних значеннях рефракцій похибка дорівнює нулю (див. мал. 3):

$$\frac{\Sigma h}{2} = \bar{k} \frac{d_{AB}^2}{2R_3} - \bar{i}'' \frac{d_{AB}}{\rho''}, \quad (9)$$

де \bar{k} – середнє значення коефіцієнта вертикальної рефракції при прямому і зворотному методах спостереження; \bar{i}'' – середнє значення кута негоризонтальності візирного променя.

зонтальності візирного променя.

Порівняємо значення $\Sigma h/2$ і $\Delta h_{\text{сер}}$. До першої величини входять лінійні значення поправок за вертикальну рефракцію – $\bar{k} \frac{d_{AB}^2}{2R_3}$ і за кут негоризонтальності візирного променя – $\bar{i}'' \frac{d_{AB}}{\rho''}$. За стабільного значення кута негоризонтальності або його рівності нулю величина $\Sigma h/2$ відповідатиме середній лінійній величині поправки за вертикальну рефракцію (мал. 4).



Мал. 4. Порівняння абсолютних похибок перевищень, визначених методом "вперед-назад" ($\Delta h_{\text{сер}}$) та середньої лінійної величини поправки за вертикальну рефракцію ($\Sigma h/2$)

Систематичні накопичення похибок для ходу в 2,5 км склала 6 мм. Це вказує на їх систематичний характер як похибок недокомпенсації вертикальної рефракції, нагріву рейок, температурного впливу асфальту на костилі та інших.

Середнє значення похибок за весь період спостережень $\varepsilon''_{\text{сер}}$ становило -1,86", а середнє квадратичне відхилення від середнього значення – 0,77".

Висновки. 1. Спосіб геометричного нівелювання "вперед-назад" дає можливість визначати сумарний кут ε'' негоризонтальності променя візування і вертикальної рефракції.

2. Кут ε'' за період спостережень виявився величиною нестабільною: його середнє квадратичне відхилення від середнього значення склало 0,77", тоді як компенсатор нівеліра гарантує нормативне встановлення променя візування в горизонтальне положення з точністю 0,3".

3. Визначення кута негоризонтальності візирного променя i'' бажано виконувати в лабораторних умовах методом колімації, щоб виключити атмосферний вплив на проходження променя.

4. На точність визначення перевищень методом "вперед-назад" впливає зміна величини рефракції під час прямого і зворотного вимірювань. При рівності значень рефракцій помилка дорівнює нулю.

5. Зв'язок між абсолютними похибками визначення перевищень $\Delta h_{\text{сер}}$ способом "вперед-назад" і середньою величиною вертикальної рефракції $\Sigma h/2$ слабкий. Коефіцієнт кореляції – 0,27.



Література

1. Ващенко, В.І. Спосіб геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції та негоризонтальності візирного променя [Текст] / В.І. Ващенко, С.С. Перій, В.О. Літинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2009. – Вип. 1. – С. 116-121.
2. Інструкція по нівелюванню I, II, III, IV класов [Текст]. – М.: Недра, 1990. – 175 с.
3. Патент. Україна, UA 41429 U? МКП(2009), G01C 5/00. Спосіб геометричного нівелювання "вперед-назад" /

С.С. Перій; заявник і патентотримувач Львів. нац. аграр. ун-т. – № 41429; зареєстр. в Держ. реєстрі патентів України на корисні моделі. – Бюл. № 10. – 25.05.2009. – 6 с.

4. Перій, С.С. Апробація способу геометричного нівелювання "вперед-назад" [Текст] / С. Перій, В. Ващенко, І. Рій // "Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва": зб. наук. пр. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2010. – Вип. 1. – С. 91-94.

5. Перій, С.С. Експериментальні дослідження точності геометричного нівелювання способом "вперед-назад" [Текст] / С.С. Перій // Геодез., картогр. і аерофотознім.: міжвід. наук.-техн. зб. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2010. – Вип. 73. – С. 45-52.

Надійшла 14.03.12

* * *

УДК 528.3

О. В. Ланьо, С. Г. Савчук

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ RTK-ВИМІРЮВАНЬ У МЕРЕЖІ РЕФЕРЕНЦНИХ СТАНЦІЙ

На основе экспериментальных исследований в GNSS-сети UA-EUPOS/ZAKPOS проанализировано фактическое качество координатных решений по технологии RTK при различных расстояниях между роверным приемником и референционной станцией. Выявлено, что прямой зависимости качества и скорости фиксированных решений от увеличения расстояний до 100 км между базовой станцией и ровером не наблюдается.

On the basis of experimental research in GNSS network UA-EUPOS/ZAKPOS it is analyzed the actual quality of the coordinate solutions by RTK technology for different distances between a rover and a reference station. It has been revealed that the direct dependence between the quality and speed of fixed solutions when increasing distances between a base station and a rover up to 100 km is not observed.

Постановка проблеми. За останні роки в Україні кількість постійно діючих референціальних GNSS-станцій значно зросла. Більшість з них обладнано сучасними двочастотними мультисистемними приймачами та антенами найкращих світових виробників, таких як Trimble, Leica Geosystems, Topcon [5-7] та інших. Багато операторів на базі власних референціальних GNSS-станцій та за допомогою спеціального програмного забезпечення побудували й використовують так звані мережі активних GNSS-станцій, які на відміну від окремих GNSS-станцій мають значно ширшу функціональність як з технічного, так і з організаційного боку щодо використання технології RTK.

Технологія RTK (*Real Time Kinematic* – дослівно: "кінематика у реальному часі") – це сукупність методів отримання точних координат (сантиметровий рівень) за допомогою GNSS. При використанні сучасної технології RTK рухомий GNSS-приймач (ровер) отримує скореговану інформацію в реальному часі від однієї референціальної (базової) GNSS-станції або від мережі GNSS-станцій за допомогою GSM/GPRS-зв'язку. На сьогодні маємо суттєве покращення якості покриття мобільного Інтернету всіх стандартів. Основною перевагою технології RTK є можливість кінцевого оброблен-

ня супутникових сигналів у реальному часі та в єдиній системі координат.

Майже на всій території України можливе застосування сучасної вимірювальної GNSS-технології RTK – технології отримання сантиметрової точності координат у режимі реального часу, наприклад, від мережі активних референціальних станцій української частини Європейської системи позиціонування / Закарпатська система позиціонування (UA-EUPOS/ZAKPOS) [2,9].

Мережа UA-EUPOS/ZAKPOS з обчислювальним центром у м. Мукачеве (Закарпатська область) пропонує користувачам послуги щодо технології RTK з 2008 р. Сервери мережі UA-EUPOS/ZAKPOS обробляють дані від 13-ти GNSS-станцій, які розташовані на території Західної України, та від 12-ти GNSS-станцій своїх партнерів у Польщі, Словаччині, Угорщині, Румунії та Молдові. Мережа покриває територію восьми західних областей України.

Детальну інформацію про GNSS-мережу UA-EUPOS/ZAKPOS та її партнерів можна знайти на відповідних інформаційних сайтах [9,11-14].

Одною з технічних проблем, яка залишається на сьогодні ще не вирішеною при використанні технології RTK, є розроблення дієвого механізму аналізу якості отриманих результатів у контексті густоти розташування активних референціальних GNSS-станцій як ключового показника, що впливає на результат.

© О. В. Ланьо, С. Г. Савчук, 2012