

Островський А.Л., Мороз О.І.
НУ “Львівська політехніка”, кафедра геодезії

ДО ПРОБЛЕМИ ОНОВЛЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ ВИСОТНОЇ ОСНОВИ УКРАЇНИ

© *Островський А.Л., Мороз О.І., 2000*

В класичній геодезії роздільно, незалежними методами, визначають планове та висотне положення точок фізичної поверхні Землі.

Так, державні планові координати точок найчастіше визначались методом триангуляції, в той час як державна висотна основа створювалась методом геометричного нівелювання.

Звернемо увагу на те, що альтернативою триангуляції за точністю були полігонометрія, пізніше трилатерація, а у геометричного нівелювання конкурентоспроможної за точністю альтернативи не було. Тільки з появою GPS-приймачів стали актуальними питання:

- 1) чи слід переходити від роздільного визначення просторових координат точок до сумісного;
- 2) про можливість заміни геометричного нівелювання на висотні визначення GPS-приймачами;

3) про доцільність збереження за геометричним нівелюванням “права” на державне визначення висот тощо.

Спробуємо проаналізувати ці питання.

Накопичення помилок в ході геометричного нівелювання, як відомо, можна описати формулою:

$$m_{h_{cp}}^2 = \mu^2 n + \lambda^2 n^2, \quad (1)$$

де $m_{h_{cp}}$ – гранична помилка визначення перевищення в ході геометричного нівелювання; μ – гранична випадкова помилка визначення перевищення на одній станції нівелювання; λ – така ж гранична, але систематична помилка; n – кількість станцій в ході.

Теоретично розраховані граничні значення μ і λ ¹, якщо нівелювання ведеться відповідно до чинної Інструкції за програмою I-го класу. Ці параметри виявились такими: $\mu = 0,280$ мм; $\lambda = 0,008$ мм. Наведені числові значення параметрів добре узгоджуються зі значеннями таких самих параметрів, які можна розрахувати за чинною Інструкцією і які отримані на основі багаторічного досвіду нівелювання: $\mu = 0,253$ мм; $\lambda = 0,008$ мм. Ці значення легко отримати, якщо перейти від μ і λ на кілометр ходу до таких самих параметрів на окремій станції, вважаючи, що середня кількість станцій на один кілометр ходу – 10. Отже, маємо надійний контроль теоретичних розрахунків.

Однак сьогодні з'явилася беззаперечна можливість значно підвищити точність нівелювання I-го класу внаслідок використання нових засобів та методів нівелювання, насамперед внаслідок переходу від рівневих нівелірів до нівелірів з компенсаторами, цифрових нівелірів, суперінварних рейок, можливостей точнішого компарування рейок, врахування атмосферних впливів. Теоретичні розрахунки показують, що сучасними методами та засобами можливо виконувати геометричне нівелювання I-го класу з параметрами μ та λ , що відповідно дорівнюють: $\mu = 0,155$ мм; $\lambda = 0,004$ мм. Таке нівелювання далі будемо називати *можливим нівелюванням I*. Саме таких або близьких до них числових значень параметрів повинна вимагати нова інструкція геометричного нівелювання, видання якої давно назріло.

Безумовно, в наш час є можливість вести нівелювання з випадковою помилкою 0,3 – 0,4 мм на 1 км. Це підтверджують не тільки теоретичні розрахунки, але й дані експериментальних досліджень фірм-виробників сучасних засобів геометричного нівелювання.

Перейдемо до розрахунків точності визначення висот методами GPS. Найвищу планову точність в реальному часі за паспортними даними дають GPS фірми Leica:

$$m_{S_{cp}} = 5 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм } S. \quad (2)$$

Тут $m_{S_{cp}}$ – гранична точність визначення горизонтального вектора, а база $S = 10$ км. За даними інших фірм другий член в правій частині формули (2) становить $0,2 \text{ мм} \times S$. Однак GPS-приймачі інтенсивно вдосконалюються. Тому будемо користуватися формулою (2) як такою, що відповідає останнім досягненням GPS-технологій.

Експериментальні дослідження результатів вимірювань, які виконуються GPS-приймачами, стверджують, що висотні визначення цим методом значно нижчі за точністю

¹ Ostrovsky A., Tretyak K., Chernyaga P. *Developmeht of geodesic monitoring on geodynamic test fields of atomic pover station of Ukraine // International conference: Geodesy and cartography at the beginning of the 21 st century. Poland, Warsawa, 1997. P.13.*

порівняно з плановими. В середньому помилки визначення перевищень вдвічі більші від помилок визначення горизонтальних векторів – $m_{\bar{s}_{sp}}$. Тому прийmemo:

$$m_{h_{sp}} = 2m_{\bar{s}_{sp}}. \quad (3)$$

На основі формули (1), враховуючи числові значення параметрів μ та λ для існуючого та можливого нівелювання I-го класу, обчислимо очікувані помилки для ходів, довжина яких 1, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 та 1000 км. Якщо довжина плеч нівелювання 50 м, такі ходи будуть відповідно мати 10, 100, 200, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 та 10000 станцій нівелювання.

На основі формул (2) і (3) також обчислені очікувані помилки визначення перевищень методами GPS при віддалях між точками нівелювання від одного до тисячі кілометрів.

Результати обчислень зведені в таблицю. Аналізуючи цю таблицю, звернемо увагу насамперед на те, що тільки при довжинах ходів існуючого нівелювання I-го класу $S < 100$ км точність геометричного нівелювання вища, порівняно з GPS-нівелюванням; при $S = 100$ км помилки визначення перевищень вирівнюються, а при $S > 100$ км точніше визначаються перевищення методом GPS. Навіть у випадку застосування можливого нівелювання I-го класу, яке офіційно не прийнято, тільки при $S < 400$ км, точність визначення перевищень методом геометричного нівелювання вища, ніж GPS-методом. Якщо $S = 400$ км, помилки практично однакові, а якщо $S > 400$ км, точніше визначаються перевищення методом GPS. Але це тільки показники точності. Враховуючи те, що сучасна геодезія зі статичної перетворюється в кінематичну, важливе значення у створенні висотної основи має одночасність вимірювань, тобто визначення висот в один фізичний момент. Зрозуміло, що тут беззаперечна перевага GPS-вимірів. Чотирьох комплектів GPS достатньо, щоб одночасно визначити перевищення між точками квадрата зі сторонами завдовжки 1000 км і навіть більше, тобто полігона, що відповідає території України і, разом з тим, отримати точність, якої не може досягнути навіть очікуване в недалекому майбутньому високоточне геометричне нівелювання.

Важливими є також економічні аспекти цієї проблеми. Безумовно, менше затрат вимагає створення однієї точки, яка одночасно виконує роль планової і висотної основи, ніж створення двох знаків, один з яких зберігає планові, а інший – висотні координати. Це стосується також і державної геодезичної мережі.

Резюмуючи вищесказане, зробимо висновки.

1. Державну високоточну висотну мережу необхідно створювати методами GPS, а не методами геометричного нівелювання.
2. Усі перманентні пункти GPS та пункти нульового порядку точності повинні одночасно виконувати роль носіїв просторових координат XYZ.
3. Геометричне нівелювання I класу, що проводиться відповідно до чинної Інструкції, має перевагу в точності порівняно з GPS-методами тільки для ходів довжиною до 100 км.
4. Перевага GPS-вимірів пояснюється значно меншим впливом систематичних помилок, ніж в ходах геометричного нівелювання при багаторазових передачах перевищень.
5. Існує реальна можливість виконувати геометричне нівелювання з точністю, вдвічі вищою, порівняно з існуючим нівелюванням I-го класу, якщо застосовувати новітні засоби та методи нівелювання. Гранична похибка одного кілометра ходу такого нівелювання становитиме 0,3–0,4 мм. Таке високоточне геометричне нівелювання має точнісні переваги перед GPS-нівелюванням при довжинах ходів до 400 км.

Граничні помилки визначення перевищень методами існуючого і можливого нівелювання І-го класу та методами GPS залежно від віддалей між точками, що нівелюються

Кількість станцій в ході – n (довжини ходів, км)	І кл. (існуючий)			І кл. (можливий)			GPS - нівелювання		
	$\mu = 0.280_{мм}$ $\mu\sqrt{n}$ (мм)	$\lambda = 0,008_{мм}$ $\lambda \cdot n$ (мм)	$m_{h_{гп}}$ (мм)	$\mu = 0.155_{мм}$ $\mu\sqrt{n}$ (мм)	$\lambda = 0,004_{мм}$ $\lambda \cdot n$ (мм)	$m_{h_{гп}}$ (мм)	$a = 5_{мм}$ (мм)	$\lambda = 0,1_{мм}$ $\lambda \cdot L$ (мм)	$m_{h_{гп}}$ (мм)
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 ст. (1 км)	0.88	0.08	0.88	0.49	0.04	0.49	5.00	0.01	10.00
100 ст. (10 км)	2.80	0.80	2.91	1.55	0.40	1.60	5.00	0.10	10.20
200 ст. (20 км)	3.96	1.60	4.27	2.19	0.80	2.33	5.00	0.20	10.40
500 ст. (50 км)	6.26	4.00	7.43	3.46	2.00	4.00	5.00	0.50	11.00
1000 ст. (100 км)	8.85	8.00	11.93	4.90	4.00	6.32	5.00	1.00	12.00
2000 ст. (200 км)	12.52	16.00	20.32	6.93	8.00	10.58	5.00	2.00	14.00
3000 ст. (300 км)	15.34	24.00	28.48	8.49	12.00	14.70	5.00	3.00	16.00
4000 ст. (400 км)	17.71	32.00	36.57	9.80	16.00	18.76	5.00	4.00	18.00
5000 ст. (500 км)	19.80	40.00	44.60	10.96	20.00	22.80	5.00	5.00	20.00
10000 ст. (1000 км)	28.00	80.00	84.76	15.50	40.00	42.90	5.00	10.00	30.00

6. При довжинах ходів до 50–100 км перевага навіть існуючого геометричного нівелювання – безперечна. При розв'язуванні регіональних і особливо локальних задач геодинаміки, при спостереженнях на геодинамічних полігонах, при спостереженнях за стійкістю інженерних споруд, при розв'язанні задач міського будівництва та багатьох інших задач інженерної геодезії перевагу слід віддавати геометричному нівелюванню.

7. Для розв'язання перерахованих та інших інженерних задач, остаточною метою яких є безаварійна робота важливих виробничих об'єктів, існує нагальна необхідність подальшого підвищення точності геометричного нівелювання, оскільки для більшості території України характерні малі вертикальні переміщення (1–5 мм на рік).

Враховуючи вищенаведене, вважаємо, що створення нової інструкції геометричного нівелювання – першочергове завдання геодезичної науки та виробництва.