

УДК 528.32

## ЕТАЛОННИЙ ГЕОДЕЗИЧНИЙ БАЗИС: АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ І НОВА АТЕСТАЦІЯ

**І. Тревого, І. Цюпак**

Національний університет “Львівська політехніка”

**В. Герг**

Вища школа, Нойбрандербург

**Ключові слова:** еталонний геодезичний базис, метрологічна атестація, GPS-технологія.

### Постановка проблеми

Еталонні геодезичні бази є робочими еталонами для метрологічного контролю геодезичних приладів і передавання їм одиниці довжини [1, 6]. Зважаючи на велику кількість різноманітних модифікацій вимірювальних приладів, які випускають різні фірми, та їх використання впродовж багатьох років, важливим питанням є підтримання єдиної одиниці довжини.

Метрологічну атестацію довжин ліній та інтервалів геодезичного базису виконують приладами відповідного класу точності за спеціальними програмами або методиками спостережень і з певною періодичністю [2], що повинно забезпечувати контроль стабільності пунктів базису й одиниці довжини. Разом з цим метрологічну атестацію базису слід виконувати приладами, що основані на іншій технології вимірювань відстаней, наприклад, GPS. Це важливо ще й тому, що на остаточний результат віддалемірних вимірів істотно впливає зовнішнє середовище, особливо, рефракція у приземному шарі атмосфери. Вздовж вимірюваних ліній може змінюватися підстиляюча поверхня та висота променя над підстиляючою поверхнею, що призводить до зміни показника заломлення на шляху променя, і це явище не моделюється. Під час супутникових вимірів вплив тропосферної рефракції доволі добре моделюється за вимірами метеоданих у пункті спостереження, до того ж передбачено залишкові неточності моделі тропосфери зменшувати, визначаючи разом з координатами пункту параметри моделі, що можливо за достатньої тривалості сесії спостережень і масовості вимірів.

На еталонному геодезичному базисі Яворівського наукового геодезичного полігона, що діє з 2003 року, періодично виконується метрологічна атестація інтервалів між пунктами базису [4]. Крім високоточного лазерного віддалеміра ПЛД-1М та електронних тахеометрів (Trimble 5601 DR Standart і Leica TCR 1201+R400), для метрологічної атестації довжин ліній між пунктами геодезичного базису використовують двочастотні приймачі GPS Trimble 5700.

### Виклад основного матеріалу проблеми

#### 1. Аналіз результатів метрологічної атестації інтервалів базису за попередні роки

Результати метрологічної атестації за 2003–2009 рр. висвітлено в роботі [4]. Аналіз цих результатів виконаємо за такою схемою:

1) порівняння інтервалів базису, виміряних високоточним лазерним віддалеміром ПЛД-1М і елект-

ронними тахеометрами Trimble 5601 DR Standart і Leica TCR 1201+R400;

2) порівняння інтервалів, які виміряні електронними тахеометрами у різні роки;

3) порівняння інтервалів, виміряних лазерним віддалеміром ПЛД-1М і GPS-приймачами Trimble 5700;

4) порівняння інтервалів, виміряних електронними тахеометрами Trimble 5601 DR Standart, Leica TCR 1201+R400 та GPS-приймачами;

5) порівняння інтервалів, виміряних GPS-приймачами в різні роки.

Обчислимо середнє значення різниць усіх виміряних інтервалів базису та їхнє середнє квадратичне відхилення  $m$ , які характеризують випадковість похибок та їхнє усереднене значення.

У табл. 1 проаналізовано результати метрологічної атестації базису, виконані приладами для вимірювання відстаней: високоточним лазерним віддалеміром ПЛД-1М (точність до  $\pm 0,1$  мм після врахування впливу атмосфери) і атестованими сучасними електронними тахеометрами Trimble 5601 DR Standart (точність до  $\pm (0,8+1 \times 10^{-6} \cdot D)$  мм для відстаней до 50 метрів, а до  $\pm (1+1 \times 10^{-6} \cdot D)$  мм – до 2800 метрів [6] та Leica TCR 1201+R400 (точність до  $\pm (1+1,5 \times 10^{-6} \cdot D)$  мм для відстаней до 5000 метрів) [7].

Таблиця 1

#### Різниця довжин інтервалів лінійного базису між значеннями, виміряними електронними тахеометрами і віддалеміром ПЛД-1М, мм

Інтервали	Trimble 5601DR		Leica TCR (2009)
	2006	2007	
	віддалеміра ПЛД-1М (2003)		
1-2	-0,4	0,0	0,4
2-3	0,5	0,1	-0,8
3-4	0,0	-0,2	-0,2
4-5	-0,6	-0,3	0,2
5-6	-0,2	-0,3	-0,1
6-7	0,4	0,2	0,4
7-8	-0,6	-0,3	-0,2
8-9	0,8	0,1	0,7
9-10	-0,1	-0,2	-1,1
10-11	-0,7	0,1	0,2
11-12	1,0	0,2	0,9
12-13	-0,7	-0,4	-0,5
13-14	-0,2	-0,3	-1,4
14-15	-0,9	-0,6	-0,9
15-16	0,3	0,2	2,2
16-17			-1,4
17-19			0,9
19-20			-0,7
Середн.	-0,09	-0,11	-0,01
$m$	0,57	0,27	0,91

Зазначимо, що за номінальної точності 0,1 мм лазерного віддалеміра ПЛД-1М відстані між пунктами базису у 2003 р. виміряні з середніми квадратичними похибками  $\pm(0,2-0,5)$  мм. Звідси можна оцінити можливі різниці між вимірами інтервалів двома різними приладами, як  $\sqrt{0,5^2 + 1^2} = \pm 1,1$  мм. У 2006 р. мінімальне відхилення досягає -0,9 мм, а максимальне – +1,0 мм, у 2007 р. відповідно – -0,6 і +0,2 мм. Як бачимо, отримані різниці не виходять за межі похибок вимірів. У 2009 р. для трьох інтервалів різниці виміряних довжин перевищують оцінену похибку вимірів за абсолютною величиною, особливо для інтервалу (15–16), де різниця досягає -2,2 мм. Зазначимо, що отримані різниці викликані сумою похибок: центрування (до  $\pm 0,2$  мм), вимірювання і залишковими похибками атмосферного впливу (не моделюється зміна показника заломлення світла вздовж променя). Але все ж таки ця різниця, ймовірно, більша за оцінку максимальної похибки, тому необхідні додаткові дослідження.

Порівняння інтервалів геодезичного базису, виміряних електронними тахеометрами, наводимо у табл. 2.

Різниці, подані у табл. 2, між значеннями інтервалів, виміряними електронними тахеометрами, не повинні перевищувати похибки, оціненої як  $\sim 1 \cdot \sqrt{2} = \pm 1,4$  мм. У межах цієї похибки лежать різниці довжин усіх інтервалів, крім (15–16), де відхилення довжини інтервалу, виміряного у 2009 р., порівняно з 2006 р. становить -1,9 мм, а з 2007 р. – -2,0 мм. Відтак доцільно перевірити ці результати ще й іншою технологією вимірювань, наприклад, GPS, що буде здійснено нижче.

Таблиця 2

**Різниці довжин інтервалів лінійного базису між значеннями, виміряними електронними тахеометрами у різні роки, мм**

Інтервали	Тахеометр Trimble 5601DR		
	2006 Leica TCR (2009)	2007	2007 Trimble 5601DR (2006)
1-2	-0,8	-0,4	0,4
2-3	1,3	0,9	-0,4
3-4	0,2	0,0	-0,2
4-5	-0,8	-0,5	0,3
5-6	0,1	-0,2	-0,1
6-7	0,0	-0,2	-0,2
7-8	-0,4	-0,1	0,3
8-9	0,1	-0,6	-0,7
9-10	1,0	0,9	-0,1
10-11	-0,9	-0,1	0,8
11-12	0,1	-0,7	-0,8
12-13	-0,2	0,1	0,3
13-14	1,2	1,1	-0,1
14-15	0,0	0,3	0,3
15-16	-1,9	-2,0	-0,1
Середн.	-0,08	-0,10	-0,02
<i>m</i>	0,82	0,74	0,41

З 2002 р. на Яворівському науковому геодезичному полігоні (НГП) виконуються GPS-спостереження еталонної геодезичної мережі [3], а з 2006 р. цей метод застосовується для метрологічної атестації лінійного геодезичного базису [4]. У табл. 3 наведено результати аналізу виміряних інтервалів базису техно-

логією GPS у 2006 р. і 2009 р. з результатами метрологічної атестації лазерним віддалеміром ПЛД-1М і сучасними електронними тахеометрами.

Результати вимірювання інтервалів базису у 2006 р. GPS-методом порівняно із вимірами лазерним віддалеміром ПЛД-1М (табл. 3) дали відхилення до 0,3 мм за абсолютною величиною. Також у межах допустимих випадкових похибок різниці виміряних інтервалів з результатами вимірів електронним тахеометром Trimble 5601 DR Standart за 2006 і 2007 р. Це свідчить, що за період з 2003 до 2007 р. пункти еталонного геодезичного базису не змінили свого відносного місцеположення, а також і про те, що відстані, отримані GPS-методом за певної методики спостережень, за точністю відповідають лазерному віддалеміру ПЛД-1М і електронному тахеометру Trimble 5601 DR Standart.

У 2009 р. методом GPS ще раз виконано спостереження на пунктах еталонного геодезичного базису і, цього ж року, виміряно відстані між пунктами цього базису електронним тахеометром Leica TCR 1201+ R400. Порівнюючи отримані результати вимірів інтервалів базису різними методами і різними приладами (табл. 3), можемо зазначити, що різниці між ними є випадковими, а величини різниць у межах допуску і відповідають тим, що отримані у попередні роки високоточними віддалемірними приладами.

Отже, технологію GPS можна застосовувати для метрологічної атестації еталонних геодезичних базисів нарівні з високоточними віддалемірними приладами.

Але виміри 2009 р. порівняно з результатами метрологічної атестації еталонного геодезичного базису за попередні роки показали деякі "синхронні" зміни для окремих інтервалів. В усіх випадках, крім одного (інтервал (15-16)), вони вкладаються у межі максимальних випадкових похибок. Єдине, що насторожує, – їх однобічність. Виокремимо у табл. 4 результати аналізу цих інтервалів, а саме: (2-3), (9-10) і (15-16).

Аналізуючи різниці інтервалу (2-3) з сусідніми, доходимо висновку, що зменшення інтервалу (2-3) відповідає удвічі меншій зміні у бік збільшення інтервалу (1-2), тобто пункт 2, ймовірно, міг змінити місцеположення на 0,1–0,2 мм, а це відповідає значенню похибки центрування приладів.

Таблиця 4

**Різниці довжин інтервалів лінійного базису між значеннями, виміряними у 2006–2007 рр. і 2009 р., мм**

Інтервали	Тахеометр Leica TCR 1201 (2009)				
	2003	2006	2007	2006	2009
	ПЛД1М	Trimble 5601DR	GPS Trimble 5700		
1-2	0,4	0,8	0,4	0,3	0,0
<b>2-3</b>	<b>-0,8</b>	<b>-1,3</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,2</b>
3-4	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,4
8-9	0,7	-0,1	0,6	0,7	0,3
<b>9-10</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,1</b>	<b>-0,4</b>
10-11	0,2	0,9	0,1	0,2	0,4
14-15	-0,9	0,0	0,3	-0,6	-0,2
<b>15-16</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,9</b>
16-17	-1,4	-	-	-1,7	-0,6

Таблиця 3

**Результати аналізу метрологічної атестації лінійного базису віддалеміром ПЛД-1М, електронними тахеометрами та GPS-приймачами (різниця у мм)**

Інтервали	GPS Trimble 5700								
	2006	2009	2006			2009			
	ПЛД1М (2003)	ПЛД-1М (2003)	Trimble 5601DR (2006)	Trimble 5601DR (2007)	Leica TCR (2009)	Trimble 5601DR (2006)	Trimble 5601DR (2007)	Leica TCR (2009)	GPS (2006)
1-2	0,1	0,4	0,5	0,1	-0,3	0,8	0,4	0,0	0,3
2-3	-0,2	-0,6	-0,7	-0,3	0,6	-1,1	-0,7	0,2	-0,4
3-4	-0,2	-0,6	-0,2	0,0	0,0	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4
4-5	0,0	0,5	0,6	0,3	-0,2	1,1	0,8	0,3	0,5
5-6	0,0	-0,4	0,2	0,3	0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,4
6-7	0,0	1,3	-0,4	-0,2	-0,4	0,9	1,1	0,9	1,3
7-8	0,0	-0,5	0,6	0,3	0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,5
8-9	0,0	1,0	-0,8	-0,1	-0,7	0,2	0,9	0,3	1,0
9-10	0,0	-1,5	0,1	0,2	1,1	-1,4	-1,3	-0,4	-1,5
10-11	0,0	0,6	0,7	-0,1	-0,2	1,3	0,5	0,4	0,6
11-12	0,0	0,2	-1,0	-0,2	-0,9	-0,8	0,0	-0,7	0,2
12-13	0,0	-0,8	0,7	0,4	0,5	-0,1	-0,4	-0,3	-0,8
13-14	0,0	-0,7	0,2	0,3	1,4	-0,5	-0,4	0,7	-0,7
14-15	-0,3	-0,7	0,6	0,3	0,6	0,2	-0,1	0,2	-0,4
15-16	0,2	1,3	-0,1	0,0	-2,0	1,0	1,1	-0,9	1,1
16-17	0,3	-0,8			1,7			0,6	-1,1
17-19	-0,1	-0,1			-1,0			-1,0	0,0
19-20	0,2	-0,1			0,9			0,6	-0,3
Середн.	0,00	-0,08	0,07	0,09	0,08	0,06	0,08	-0,01	-0,08
<i>m</i>	0,14	0,78	0,56	0,24	0,90	0,81	0,68	0,54	0,75

Якщо ж порівняти вимірне зменшення інтервалу (9-10) із сусідніми інтервалами, то за вимірами різних приладів виявлена зміна положення або пункту 9, або пункту 10. Її значення близько 0,1–0,3 мм, що не перевищує точності вимірювань.

Результати аналізу вимірювань на інтервалі (15-16) свідчать про видовження цього інтервалу і одночасне зменшення інтервалу (16-17), тобто про ймовірну зміну місцеположення пункту 16 на величину приблизно 0,4–0,5 мм, зважаючи на похибки вимірів і центрування приладів. Одночасно зазначимо, що відхилення цього інтервалу, вимірюного у цьому ж 2009 р. методом GPS, становить тільки 0,9 мм з тахеометром Leica TCR 1201 і максимально 1,1 мм з вимірами, зробленими іншими приладами в інші роки, а така величина вкладається у похибки вимірів.

Виконаний аналіз свідчить про відповідність точності еталонного геодезичного базису Яворівського НГП лінійному базису 1-го розряду.

**2. Результати метрологічної атестації інтервалів базису у 2010 р.**

У липні 2010 р. виконано спостереження двочастотними приймачами GPS Trimble 5700 на пунктах геодезичного базису. Тривалість сесій спостережень на пунктах Т1 і Т20 – добові, на інших пунктах, відстань яких від Т1 понад 0,5 км, сесії тривали 3 год, за менших відстаней – не більше за 0,5 год. Опрацьовували GPS-виміри програмою Trimble

Geomatics Office (TGO). Отримані результати порівняно з вимірами 2009 р. наводимо у табл. 5.

Результати аналізу довжин інтервалів геодезичного базису, одержані за GPS-спостереженнями у 2010 р., порівняно з вимірами, виконаними у попередні роки, наведемо у табл. 6.

Таблиця 5

**Виміряні довжини інтервалів лінійного геодезичного базису в 2009–2010 роки, м**

Інтервали	Leica TCR1201 (2009)	GPS Trimble5700 (2009)	GPS Trimble5700 (2010)
1-2	4,9824	4,9824	4,9819
2-3	5,5456	5,5458	5,5475
5-6	0,9983	0,9980	0,9965
6-7	0,9943	0,9952	0,9954
7-8	0,9958	0,9955	0,9968
8-9	1,0035	1,0038	1,0041
11-12	0,9993	0,9986	0,9999
13-14	1,0071	1,0078	1,0093
14-15	104,6318	104,6320	104,6325
15-16	110,3310	110,3301	110,3284
16-17	349,3746	349,3752	349,3746
17-19	540,7759	540,7749	540,7741
19-20	1129,7665	1129,7671	1129,7681

Таблиця 6

**Різниця довжин інтервалів геодезичного базису між значеннями, виміряними у 2003–2009 рр. і 2010 р., мм**

Інтервали	GPS Trimble 5700 (2010)					
	ПЛД1М (2003)	GPS Trimble 5700 (2006)	Trimble 5601DR (2006)	Trimble 5601DR (2007)	Leica TCR (2009)	GPS Trimble 5700 (2009)
1-2	-0,1	-0,2	0,3	-0,1	-0,5	-0,5
2-3	1,1	1,3	0,6	1,0	1,9	1,7
5-6	-1,9	-1,9	-1,7	-1,6	-1,8	-1,5
6-7	1,5	1,5	1,1	1,3	1,1	0,2
7-8	0,8	0,8	1,4	1,1	1,0	1,3
8-9	1,3	1,3	0,5	1,2	0,6	0,3
11-12	1,5	1,5	0,5	1,3	0,6	1,3
13-14	0,8	0,8	1,0	1,1	2,2	1,5
14-15	-0,2	0,1	0,7	0,4	0,7	0,5
15-16	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	-2,6	-1,7
16-17	-1,4	-1,7			0,0	-0,6
17-19	-0,9	-0,8			-1,8	-0,8
19-20	0,9	0,7			1,6	1,0
Середн.	0,23	0,22	0,37	0,51	0,23	0,21
<i>m</i>	1,23	1,31	0,87	1,11	2,12	1,24

#### Висновки

На підставі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

- на Яворівському науковому геодезичному полігоні функціонує еталонний лінійний геодезичний базис для метрологічної атестації сучасних і традиційних геодезичних приладів та проведення досліджень;
- розроблено метод оперативного контролю інтервалів базису на основі GPS-спостережень, який забезпечує точність близько 1 мм;
- підтверджена стійкість трубчастих центрів базису впродовж тривалого часу;
- точність еталонного геодезичного базису Яворівського НГП відповідає лінійному базису I-го розряду.

#### Література

1. ГОСТ 8.503-84 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения длин в диапазоне 24–75000 м.
2. РТМ 68-8.12-85. Общие технические требования к образцовым базисам для контроля геодезических дальномеров. – Утвержден ГУГК 13.03.1985 г. – М.: ЦНИИГАиК, 1985.
3. Тревого І. Науковий геодезичний полігон для метрологічної атестації геодезичних приладів та технологій / І. Тревого, С. Савчук, О. Денисов та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – 2005. – С. 33–43.
4. Тревого І. Еталонний геодезичний базис оригінальної конструкції / І. Тревого, О. Денисов, І. Цюпак,

В. Герер, В. Тимчук // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – Ліга-Прес, 2010. – Вип.1(19). – С. 43–49.

5. Тревого І.С. Стан і проблеми метрологічного забезпечення лінійних вимірювань в Україні / І.С. Тревого, В.С. Купко, О.Л. Костріков, І.М. Цюпак // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції “Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні”. – м. Ужгород, 28–30 жовтня 2010 р. – Ужгород, 2010. – С. 6–11.
6. Геодезическое оборудование. // [http://www.geomir.ru/page\\_14.html](http://www.geomir.ru/page_14.html).
7. Геодезические приборы и инструменты ведущих мировых производителей // <http://www.ugt.ur.ru/geo/download/price.pdf>.

#### Еталонний геодезичний базис: аналіз результатів і нова атестація

І. Тревого, І. Цюпак, В. Герер

Проаналізовано метрологічну атестацію еталонного геодезичного базису на Яворівському науковому геодезичному полігоні, яка провадиться з 2003 р. різними приладами та технологіями: високоточним лазерним віддалеміром ПЛД-1М, сучасними електронними тахеометрами Trimble 5601 DR Standart і Leica TCR 1201+R400, а також двочастотними приймачами GPS Trimble 5700.

#### Эталонный геодезический базис: анализ результатов и новая аттестация

И. Тревого, И. Цюпак, В. Хегер

Выполнен анализ метрологической аттестации эталонного геодезического базиса, который находится на Яворовском научном геодезическом полигоне. Аттестация проводится с 2003 г. разными приборами и технологиями: высокоточным лазерным дальномером ПЛД-1М, современными электронными тахеометрами Trimble 5601 DR Standart и Leica TCR 1201+R400, а также двухчастотными приёмниками GPS Trimble 5700.

#### The standard geodesic basis: analysis of results and a new certification

I. Trevocho, I. Tsyupak, V. Heger

The analysis of the metrological certification of the reference geodesic basis, which is on the scientific Yavoriv geodesic polygon. Certification is carried out since 2003 by various devices and technologies: high-precision laser rangefinder PLD-1M, modern electronic total stations Trimble 5601 DR Standart and Leica TCR 1201 + R400, as well as dual-frequency receivers GPS Trimble 5700.