



ФУНДАМЕНТАЛЬНА ГЕОДЕЗИЧНА МЕРЕЖА ЯК ОСНОВА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Выполнен анализ результатов метрологической аттестации фундаментальной геодезической сети Яворовского научного геодезического полигона за 2005-2013 гг. Координаты пунктов геодезической сети определяются из обработки 3-5-суточных сессий GPS-наблюдений. Сделан вывод о внутренней точности геодезической сети как рабочего эталона на уровне $3 \cdot 10^{-7}$.

The analysis of results of metrological certification of fundamental geodetic network of Yavorow scientific geodetic chain within 2005-2013 was conducted. Positions of the geodetic network points were determined from processing of 3-5 daily sessions of GPS-observations. It was concluded about the internal precision of geodetic network as working standard at the level of $3 \cdot 10^{-7}$.

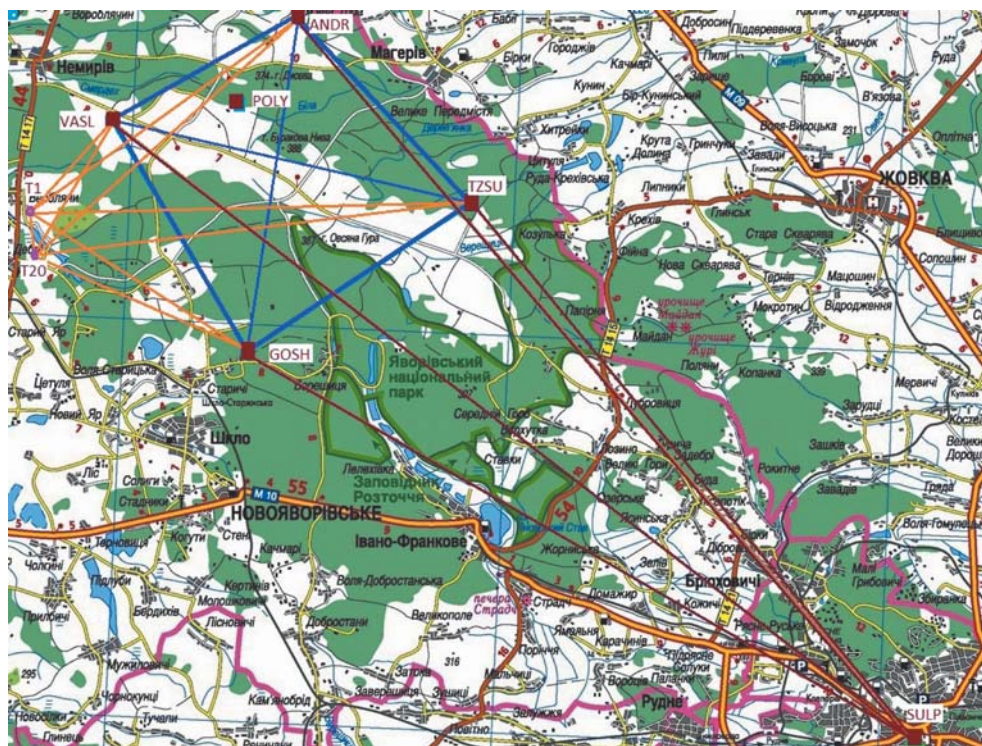
Постановка проблеми. Сучасні методи вимірювань і визначення параметрів, об'єднані пакетами програм з певними алгоритмами і сталими параметрами в них, називаються технологіями. Перевірку точності цих технологій варто розділити на кілька етапів: перевірка самих приладів; аналіз пакетів програм; оцінювання точності методу або технології визначення певних параметрів, наприклад, координат пунктів або обчислених через них вимірюваних величин: довжин ліній чи перевищень. Перевірку точності роботи приладів, які складаються з певних блоків, доцільно здійснювати тестуванням кожного з блоків окремо [1]. Скажімо, для приймачів GPS/GNSS такими блоками є антена, сенсор і контролер. Тестувати перші два радіоблоки варто на спеціальних екзаменаторах у заводських умовах. Але точність відновлення одиниці вимірювань у вимірюваних або визначених величинах необхідно встановлювати у польових умовах на робочих еталонах. Відомо, що робочими еталонами є еталонні геодезичні мережі та еталонні лінійні бази [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Метрологічна аттестация GPS/GNSS-приймачів потрібна для перевірки можливості збереження ними масштабу геодезичної мережі [7], точності утримання чи передачі орієнтації мережі у планових координатах і, особливо, у просторовій системі координат. Також важливо знати, чи досягається за GNSS-вимірами точність визначення перевищення між пунктами або висоти пункту відносно певної рівневої поверхні, де складником є величина, отримувана із GNSS-нівелювання.

Підтвердження єдності вимірів і відповідність одиниці виміру приладу еталонній встановлюється на робочих еталонах за величиною середньої

квадратичної похибки визначення параметрів, наприклад, координат пункту або складових вектора (ΔX , ΔY , ΔZ) між пунктами.

У даній статті аналізуються результати метрологічних атестацій фундаментальної геодезичної мережі Яворівського наукового геодезичного полігона, призначеного для контролю точності GNSS-приймачів і технологій (мал. 1).



Мал. 1. Схема фундаментальної геодезичної мережі

Виклад основного матеріалу. Для підтримання точності самих еталонних (фундаментальних) геодезичних мереж також необхідно періодично здійснювати їх метрологічну аттестацию. Досі дискутуються питання форми геодезичної мережі, методів координування її пунктів та методів контролю роботи GNSS-приймачів [7]. Звичайно, надійніше створювати геодезичні мережі геометрично правильної форми з однаковими відстанями від центрального пункту, але практично підібрати місцевість з відповідним рельєфом і можливістю збереження пунктів дуже складно. Але, на нашу думку, питання геометрії еталонної мережі можна вирішити аналітично, розрахувавши ваги для кожного з



пунктів мережі та виразивши їх через віддалі до пункту, на якому встановлюється тестований GNSS-приймач.

Фундаментальну геодезичну мережу як робочий еталон створено на Яворівському полігоні [6]. Крім чотирьох фундаментальних, вона включає ще два (початковий і кінцевий) пункти еталонного геодезичного базису, а також (як вихідний) перманентну GNSS-станцію мережі IGS – SULP.

Фундаментальна геодезична мережа є технічним засобом для метрологічного забезпечення єдності й необхідної точності вимірювань. Її використовують для вирішення завдань метрологічного забезпечення геодезичного виробництва та наукових досліджень, зокрема:

- забезпечення єдності вимірювань під час геодезичних робіт і досліджень;
- розроблення методів атестації та повірки GNSS-приймачів;
- аналізування і встановлення оптимальних норм точності вимірювань та допусків у ході контролю якості геодезичних вимірювань;
- дослідження точності сучасних технологій та засобів вимірювань, у т. ч. розроблення методики і дослідження точності GPS-нівелювання;
- дослідження величини змін координат пунктів, викликаних різними природними явищами, та похибок їх визначення за різні інтервали часу, за сесіями GNSS-спостережень різної тривалості;
- організації та виконання прецизійних геодезичних вимірювань.

Метрологічна атестація фундаментальної геодезичної мережі на Яворівському полігоні здійснюється з 2002 р. в ході опрацювання результатів GPS/GNSS-спостережень. Ці спостереження, як правило, виконуються добовими сесіями загальною тривалістю 3-5 діб. У 2005-2008 рр. атестації здійснювалися щорічно. Це дозволило оцінити швидкості зміни координат пунктів мережі й вивести середні значення координат пунктів на початкову епоху цього періоду 2005,4767. Оцінювання показало надійне визначення цих величин [3]. У 2010 та 2013 рр. проведено ще дві кампанії GNSS-спостережень.

У цих спостереженнях брали участь НУ "Львівська політехніка", Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, Національний науковий центр "Інститут метрології", державні підприємства "Київстандартметрологія" і "Львівстандартметрологія", Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Науково-виробнича фірма "Дока", Науково-виробничий центр "Антарес".

У табл. 1 наведено різниці координат пунктів фундаментальної геодезичної мережі, визначені за результатами добових GNSS-спостережень 2013 р. Максимальна різниця в 4,2 мм зафіксована для координати Z пункту ANDR, що є задовільним результатом.

Таблиця 1. Різниці координат пунктів

Пункт	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔZ , мм
GOSH	0,0	0,0	-0,8
ANDR	-1,2	0,1	4,2
TZSU	-0,5	-0,5	3,3
VASL	-2,0	-0,4	2,8
T1	-1,4	-1,5	0,1
T20	-1,5	-2,0	-0,7

Як приклад характеристики якості фундаментальної геодезичної мережі та стабільності її пунктів за дев'ять років (2005-2013) наведемо довжини L_i векторів між пунктами з їх середніми значеннями L_0 , відхиленнями від середнього значення, а також середню квадратичну похибку (табл. 2-4).

Таблиця 2. Довжина вектора між пунктами GOSH і ANDR

Рік	GOSH – ANDR	$L_i - L_0$, мм
2005	14623,1605	-2,9
2006	14623,1623	-1,1
2007	14623,1625	-0,9
2008	14623,1658	2,4
2010	14623,1645	1,1
2013	14623,1649	1,5
L_0	14623,1634	СКП=2,0

Таблиця 3. Довжина вектора між пунктами GOSH і VASL

Рік	GOSH – VASL	$L_i - L_0$, мм
2005	14243,8596	-0,5
2006	14243,8599	-0,2
2007	14243,8608	0,7
2008	14243,8597	-0,4
2010	14243,8583	-1,8
2013	14243,8623	2,2
L_0	14243,8601	СКП=1,4

Таблиця 4. Довжина вектора між пунктами GOSH і TZSU

Рік	GOSH – TZSU	$L_i - L_0$, мм
2005	11764,6517	-3,3
2006	11764,6546	-0,4
2007	11764,6533	-1,7
2008	11764,6572	2,2
2010	11764,6584	3,4
2013	11764,6547	-0,3
L_0	11764,6550	СКП=2,5

Зазначимо, що порівняння відносних масштабів векторів між пунктами фундаментальної геодезичної мережі, обчислених за період 2005-2013 рр., свідчить про внутрішню жорсткість мережі на рівні $(1-3) \cdot 10^{-7}$, а це десятки частки міліметра.

Висновки. З аналізу отриманих результатів напрошуються такі висновки:

- 1) аналіз результатів оброблення багаторічних GPS/GNSS-спостережень геодезичної мережі свідчить, що точність визначення просторових координат пунктів вища за 1 см;
- 2) стабільність пунктів фундаментальної геодезичної мережі тримається протягом 12-ти років;
- 3) внутрішня жорсткість (точність) геодезичної мережі як робочого еталона становить $(1-3) \cdot 10^{-7}$;
- 4) еталонна фундаментальна геодезична мережа Яворівського НГП відповідає робочому еталону 1-го розряду і може використовуватися для метрологічної атестації GNSS-приймачів різних моделей.

Література

1. Горб, А. Анализ проблемы точности и надежности GPS-измерений в сетях опорных станций / А. Горб, А. Про-



копов, Г. Сидоренко, И. Тревого // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Нац. ун-т "Львівська політехніка". – 2005. – Вип. II. – С. 26-33.

2. Друзюк, В. Сучасні геодезичні прилади і технології: науково-технічне метрологічне забезпечення / В. Друзюк, А. Мазур, І. Тревого, І. Цюпак // Метрологія та прилади. – 2010. – № 3. – С. 19-26.

3. Тревого, І. Аналіз зміни координат пунктів Яворівського наукового геодезичного полігона / І. Тревого, І. Цюпак, С. Савчук [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Нац. ун-т "Львівська політехніка". – 2009. – Вип. I. – С. 46-50.

4. Тревого, І.С. Вдосконалення еталонної геодезичної мережі наукового геодезичного полігона / І.С. Тревого, І.М. Цюпак, В.М. Друзюк, В.У. Волошин // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології: зб. наук. пр. XV Міжнар. симпоз. [Алушта (Крим), 13-18 верес. 2010 р.]. – Л., 2010. – С. 34-36.

5. Тревого, І. Забезпечення метрологічної атестації сучасної геодезичної техніки на науковому геодезичному полігоні / І. Тревого, І. Цюпак, В. Купко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид.-во

Львівської політехніки. – 2011. – Вип. II. – С. 49-51.

6. Тревого, І.С. Сучасні вимоги до метрологічного забезпечення еталонної фундаментальної геодезичної мережі для перевірки GNSS-приймачів / І.С. Тревого, І.М. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид.-во Львівської політехніки. – 2013. – Вип. I. – С. 40-42.

7. Шануров, Г.А. О геометрической структуре метрологического полигона для аттестации геодезических приемников ГНСС/ Г.А. Шануров // Геопрофи. – 2008. – № 1. – С. 62-64.

8. Trevocho, I.S. Metrological provide of geodetic networks for testing GNSS receiver / Trevocho I.S., Tretyak K.R., Tsyupak I.M. // Geophysical Research Abstracts. – Vol. 15. – EGU2013-5136, 2013. – Geodetic Congress the EGU General Assembly 2013. – 08-12 April 2013. – Vienna. – <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-5136.pdf>

9. Trevocho, I.S. Prospects of metrological provision linear geodetic of measurements on the geodetic test field / I.S. Trevocho, I.M. Tsyupak // Reports on Geodesy. – 2013. – Vol. 94. – No. 1. – Warsaw University of Technology. – Pp. 56-63.

Надійшла 12.02.14

* * *

УДК 528.06+528.1

В. А. Рябчій, В. В. Рябчій

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНІХ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ РІВНОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ОДНІЇ ВЕЛИЧИНИ

Проанализированы известные средние и свойства их отклонений, которые определены по результатам равнооточных измерений одной величины. Описываются классификация этих средних на три группы, а также принципы установления неравенств и зависимостей между ними.

Known averages and their deviations determined according to results of equally accurate measurements of one value were analyzed. Classification of these averages into three groups as well as finding of inequalities and relations between them were described.

Постановка проблеми. Питання обчислення простої арифметичної середньої та особливостей відхилень від неї результатів вимірювань описане в багатьох підручниках і навчальних посібниках [2, 3, 5-7, 10, 12 та ін.].

У джерелі [8], крім простої та загальної арифметичної середніх, наводяться ще такі їх різновиди: геометрична \bar{x}_g і гармонічна \bar{x}_h , які обчислюють за формулами

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}; \quad (1)$$

$$\bar{x}_h = \frac{n}{x_1^{-1} + x_2^{-1} + \dots + x_n^{-1}}. \quad (2)$$

Але, які властивості мають ці середні та їх відхилення, автор не наводить.

У праці [4] вказується, що, крім цих, є також інші середні, а саме квадратична \bar{x}_s і степенева \bar{x}_{ck} :

$$\bar{x}_s = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}; \quad (3)$$

$$\bar{x}_{ck} = \sqrt[k]{\frac{1}{n} \sum x^k}. \quad (4)$$

Аналіз досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми. М. Г. Відуєв і Г. С. Кондра в книзі [4] присвятили середнім цілий параграф. Дуже ретельно проаналізовано середні та описано різницю між тими середніми, які використовуються в статистиці й геодезії. Крім формул середніх (1-4), наведено цікаву нерівність

$$\bar{x}_h \leq \bar{x}_g \leq \bar{x}_a \leq \bar{x}_s, \quad (5)$$

де \bar{x}_a – проста арифметична середина.

При цьому, що важливо, наводиться приклад використання гармонічної середньої в електротехніці (фізиці).

У джерелі [9] розглядаються формули нерівностей

© В. А. Рябчій, В. В. Рябчій, 2014