

ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ

УДК 528.3

Бухальська Т.В., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Бухальський В.О.,** завідуючий відділу (ДП “Рівненський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою”, м. Рівне)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОПРАЦЮВАННЯ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ РІЗНИМИ ПРОГРАМНИМИ ПАКЕТАМИ

Проведений порівняльний аналіз обробки супутникових спостережень на пунктах геодезичної мережі з використанням програмного забезпечення від різних виробників.

Ключові слова: глобальні супутникові радіонавігаційні системи, перманентна станція.

Проведенный сравнительный анализ обработки спутниковых наблюдений на пунктах геодезической сети с использованием программного обеспечения от разных производителей.

Ключевые слова: глобальные спутниковые радионавигационные системы, перманентная станция.

The comparative analysis with satellite observations of geodetic network points using software from different manufacturers.

Keywords: global satellite radio navigation system, permanent station.

Революційну роль в розвитку геодезії, зокрема існуючих методів визначення місцеположення географічних об'єктів, мала поява глобальних супутникових радіонавігаційних систем координатно-часового забезпечення, типу GPS (США) та ГЛОНАСС (Росія), що згодом отримали узагальнену назву GNSS – Global Navigation Satellite System. За їх допомогою стало можливим з високою точністю і оперативністю визначити координати пунктів спостережень, в тому числі їхню висотну складову.

На сучасному етапі розвитку геодезичної науки багато уваги приділяється створенню державних високоточних геодезичних мереж та спеціальних геодезичних мереж для вивчення глобальних і локальних геодинамічних процесів. Побудова цих мереж потребує обробки довгих та наддовгих баз супутни-

кових спостережень порядку 50-1000 км. Обробка спостережень такого класу потребує певних знань та відповідного програмного забезпечення.

Міжнародна сервісна служба IGS (Міжнародна GNSS служба), а після неї і регіональні служби, наприклад EUREF (Європейська підкомісія з референцних систем), розробили для центрів опрацювання та аналізу GNSS-даних рекомендації стосовно проведення обчислювальних процесів.

Для виконання цих рекомендацій, а також для досягнення найвищої точності опрацювання GNSS-вимірів рекомендовано використовувати такі програмні пакети, як Bernese GPS Software (розробник Бернський астрономічний інститут, Швейцарія), GAMIT/GLOBK (розробник Мічиганський технологічний інститут, США), GIPSY/OASIS (розробник Каліфорнійський технологічний інститут, США.)

Виробниками GNSS-обладнання для визначення місцеположення географічних об'єктів за сигналами супутникових радіонавігаційних систем розроблені також прикладні пакети програмного забезпечення для опрацювання даних спостережень, виконаних приймачами цих же виробників. Такі пакети входять до комплекту обладнання. Вони дозволяють опрацьовувати матеріали спостережень, які виконані на базах довжиною до 50 км. Їх ще називають програмним забезпеченням для інженерних застосувань: (TGO від Trimble, LGO від Leica Geosystems, Topcon Tools від Topcon).

Серед методів вимірювань статичний метод є основним під час побудови СГМ і застосовується найчастіше. Для статичної технології всі приймачі за весь час спостережень розміщені на одних і тих самих пунктах. Час виконання спостережень залежить переважно від заданої точності та від віддалі між пунктами (довжин векторів). На практиці точність такої технології становить $5 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ на 1 км довжини вектора, що визначається. Таблиця 1 є орієнтовним вказівником щодо вибору довжин базових ліній і тривалості спостережень для середніх широт під час стандартного рівня іоносферної активності та під час використання двочастотного приймача.

У табл. 1 *GDOP* – геометричний фактор зниження точності, тобто оцінка геометрії супутникового «сузір'я».

Таблиця 1

Параметри спостережень у статичному режимі

Кількість супутників ($GDOP \leq 8$)	Орієнтовна довжина базових ліній	Орієнтовний час спостережень	
		вдень	вночі
4 і більше	15-20 км	1-2 години	1 година
4 і більше	більше за 30 км	2-3 години	2 години

На коротких лініях, за нормальних умов для роботи, час статичних GNSS-спостережень може бути значно зменшеним (до 5-10 хвилин). Звідси і термін "швидка статика". Для "швидкої статики" особливо необхідно, щоб іоносферні збурення були більш-менш ідентичними для двох точок встановлення

приймачів. Для всіх GNSS-вимірювань і, особливо, для "швидкої статики" потрібно намагатися мінімізувати довжини базисних ліній. Для надто короткого часу спостережень, поганого геометричного фактора (*GDOP*) або інтенсивних іоносферних збурень можлива така ситуація, коли програмне забезпечення під час пост-опрацювання розв'яже неоднозначність, але результати будуть спотворені й істотно відрізнятимуться від технічних характеристик приймачів. Під час вимірювання "швидкою статикою", як і при стандартній статистиці, працюють щонайменше два приймачі. Один встановлюють на відомому пункті, другий переміщується з точки на точку.

У табл. 2 подано рекомендовану тривалість спостережень і довжини базових ліній при виконанні спостережень методом швидкої статики.

Таблиця 2

Тривалість спостережень і довжини баз для "швидкої статики"

Кількість супутників (<i>GDOP</i> ≤ 8)	Орієнтовна довжина базових ліній, км	Орієнтовний час спостережень	
		вдень, хв	вночі, хв
4 і більше	до 5	5-10	5
4 і більше	5-10	10-20	5-10
5 і більше	10-15	більше за 20	5-20

Методика досліджень полягала в опрацюванні однакових сеансів спостережень в програмних засобах, що пропонуються різними розробниками.

Основною задачею даної статті є проведення порівняльного аналізу програмних пакетів для інженерних застосувань від різних виробників.

Для розв'язування поставленої задачі нами спочатку були проведені експериментальні GNSS-спостереження у режимі стандартної статики та швидкої статики.

Роботи виконувалися на території Рівненського району та міста Рівне. У Рівному було закладено базову станцію з назвою «BAZA». На території Рівненського району в радіусі 20 км були проведені спостереження на таких пунктах триангуляції, як Ставки, Вишневі Гори, Зоря, Нова Українка, Біла Криниця, Форт, Здовбиця, Глинки представлених на схемі експериментальної геодезичної мережі (рис. 1).

На пунктах цієї мережі спостереження проводились одночастотним приймачем Trimble 4600LS у 277 та 284 (4 та 11 жовтня) GPS день 2009 р. Тривалість спостережень становила біля 1 год. Висота антени GNSS-приймача мірялась до низу кріплення антени (ARP) і вводилася перед початком спостережень в контролер.

Для подальшого опрацювання даних вимірювань з експериментальної геодезичної мережі нами були попередньо отримані результати добових GNSS-спостережень з рівненської перманентної станції RIVN, яка приймалася нами за вихідну референцну станцію в районі робіт. Оскільки координати цієї пер-

манентної станції ще не були на той час визначені, то нашим завданням спочатку було її прив'язка до найближчих перманентних станцій EPN. Для цього нами були використані дані добових GNSS-спостережень з перманентних станцій SULP (Україна, Львів) та JOZ2 (Польща, Варшава).

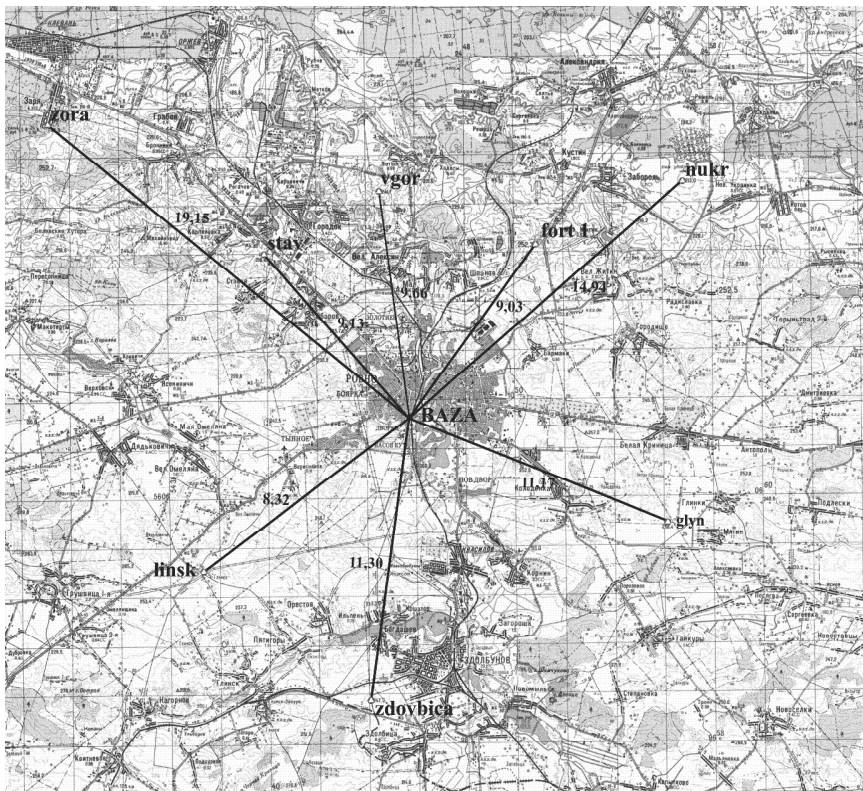


Рис. 1. Схема експериментальної геодезичної мережі

Серед додаткової інформації, що вимагається для опрацювання GNSS-спостережень, фігурують ефемериди супутників та вихідні координати вибраних перманентних станцій.

Всі отримані раніше дані та результати спостережень необхідно перевірити і проаналізувати перед тим, як перейти до загального опрацювання. Щоб уникнути помилки при введенні висоти антени безпосередньо у файл з даними спостережень чи у програму під час опрацювання, необхідно правильно встановити тип антени та висоту фазового центру. Адже той тип антени, що вказаний фірмою-виробником, часто не збігається з тією класифікацією, яка введена різними міжнародними структурами, наприклад IGS

(International GNSS Service) чи NGS (National Geodetic Survey). Більшість програмних засобів використовують таблиці значень фазових центрів антени саме останніх. І оскільки вони регулярно оновлюються, то їх потрібно відстежувати і враховувати при обробці. Зважаючи на сьогоднішній стан у питанні класифікації та визначення фазових центрів антен, необхідно чітко дотримуватися принципу: введення відповідника типу антени за NGS та вимірної до нижньої основи антени (Bottom of antenna mount) висоти.

Для того, щоб визначити координати базової станції (BAZA), розташованої у районі проведення експериментальних робіт (околиця м. Рівне), нам необхідно використати координати перманентної станції RIVN. Ці координати ми отримаємо із опрацювання даних перманентних станцій SULP та JOZ2.

У разі використання координат перманентних станцій треба пам'ятати, що вони визначаються щотижнево у системі ITRF2005 (з 2007 р.) і приводяться на епоху того тижня. Так, наприклад, на сайті EPN ми можемо отримати файли щотижневих розв'язків у вигляді eugwww7.snх (www – номер GPS-тижня, впродовж якого відбувалися спостереження на перманентних станціях [4]). Якщо координати базової станції, що використовуються як вихідні під час GPS-спостережень, теж визначалися стосовно перманентних станцій (іншого варіанта немає), то вони теж будуть обчислені на епоху того GPS-тижня, коли їх виконували.

Координати станції RIVN визначалися відносно станції SULP (координати станції фіксувалися як відомі), а отримані координати станції JOZ2 вважалися контрольними. Визначення було проведено з раніше підготовлених даних у програмному пакеті **Trimble Total Control**. Схема розташування перманентних станцій зображена на рис. 2.

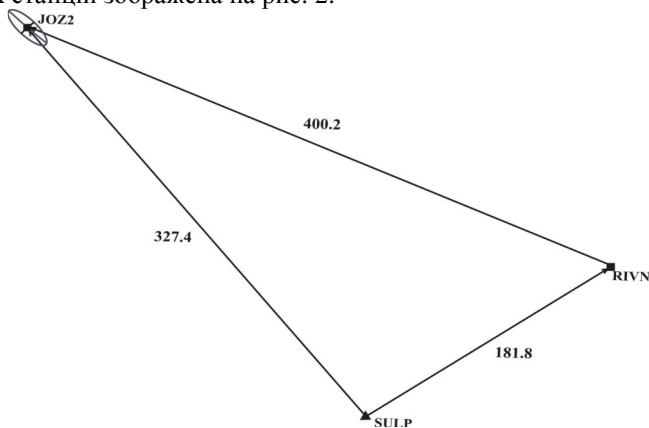


Рис. 2. Схема розташування перманентних станцій

В результаті обчислень ми отримали урівняні координати з розрахованою оцінкою їх точності у системі ITRF2005 на епоху 2009.770.

Щоб з'ясувати більш реальну точність визначення координат станції **RIVN** ми провели наступні дії у програмному пакеті **Trimble Total Control**. Від зафіксованих координат станції **RIVN**, які ми отримали із проведених обчислень, визначаємо координати перманентної станції **JOZ2**. Після цього порівнюємо їх із координатами, що були отримані із щотижневих комбінованих розв'язків EPN [4]. У табл. 3 представлені різниці координат перманентної станції **JOZ2**.

Таблиця 3

Різниці координат станції **JOZ2**

Пункт	ΔX , см	ΔY , см	ΔZ , см
JOZ2	1.43	-1.46	1.89

Як видно із табл.3, розбіжність в координатах контрольної станції не перевищує 2 см. Цей розв'язок було отримано в результаті добового спостереження на перманентній станції **RIVN** та обчислень у програмному пакеті **Trimble Total Control**. Зазначимо лише, що довжини базових ліній були від 180 км (**SULP-RIVN**) до 400 км (**RIVN-JOZ2**).

З отриманих координат станції **RIVN** ми визначили координати базової станції **BAZA**, які потім використовували як вихідні для спостережень на пунктах експериментальної геодезичної мережі. Ці всі обчислення були проведені у програмному пакеті **Trimble Total Control**, а їх результати у подальшому приймалися за контрольні.

Результати визначення координат пунктів геодезичної мережі з використанням програмного пакету **TGO** приведені в табл. 4.

Таблиця 4

Обчислені координати геодезичної мережі з використанням **TGO**

Пункт	Широта	σ	Довгота	σ	Висота	σ	Фіксовані
BAZA	50°36'30,18613"	0,000m	26°13'52,51428"	0,000m	218,710m	0,000m	•
fort 1	: ° : '30,29737"	0,001m	: ° : '14,12175"	0,001m	282,668m	0,003m	
stav	: ° : '16,48673"	0,002m	: ° : '53,51817"	0,002m	249,122m	0,004m	
vgor	: ° : '40,28141"	0,002m	: ° : '50,37643"	0,001m	271,708m	0,004m	
zora	: ° : '06,41787"	0,003m	: ° : '22,58368"	0,002m	279,252m	0,006m	
glyn	: ° : '24,37866"	0,002m	: ° : '44,64537"	0,001m	288,960m	0,003m	
linsk	: ° : '30,21925"	0,002m	: ° : '33,67929"	0,002m	262,320m	0,005m	
nukr	: ° : '54,38936"	0,001m	: ° : '16,81434"	0,001m	243,744m	0,003m	
zdovbica	: ° : '28,06716"	0,002m	: ° : '33,99464"	0,001m	278,038m	0,003m	

Опрацювання даних спостережень з використанням програмного пакету **LGO**. Результати визначення координат пунктів геодезичної мережі приведені в табл. 5.

Таблиця 5

Обчислені координати геодезичної мережі
з використанням LGO

Пункт		Широта	Довгота	Висота (м)
BAZA	Контрольні	50°36' 30.18613"	26°13' 52.51429"	218.7105
stav	Обчислені	: ° : ' 16.48673"	: ° : ' 53.51809"	249.1267
zora	Обчислені	: ° : ' 06.41792"	: ° : ' 22.58372"	279.2552
vgor	Обчислені	: ° : ' 40.28151"	: ° : ' 50.37650"	271.7167
fort 1	Обчислені	: ° : ' 30.29741"	: ° : ' 14.12177"	282.6776
nukr	Обчислені	: ° : ' 54.38944"	: ° : ' 16.81441"	243.7491
glyn	Обчислені	: ° : ' 24.37865"	: ° : ' 44.64541"	288.9721
zdovbica	Обчислені	: ° : ' 28.06717"	: ° : ' 33.99474"	278.0542
linsk	Обчислені	: ° : ' 30.21932"	: ° : ' 33.67926"	262.3289

Результати визначення координат пунктів геодезичної мережі з використанням програмного пакету Topcon Tools приведені в табл. 6.

Таблиця 6

Обчислені координати геодезичної мережі
з використанням Topcon Tools

Вихідні пункти			
Пункт	Широта	Довгота	Висота (м)
BAZA	50°36'30,18613	26°13'52,51429	218,710
Урівняні пункти			
Пункт	Широта	Довгота	Висота (м)
fort 1	: ° : '30,29736	: ° : '14,12174	282,663
glyn	: ° : '24,37864	: ° : '44,64534	288,959
linsk	: ° : '30,21929	: ° : '33,67928	262,320
nukr	: ° : '54,38938	: ° : '16,81433	243,747
stav	: ° : '16,48674	: ° : '53,51808	249,127
vgor	: ° : '40,28139	: ° : '50,37648	271,703
zdovbica	: ° : '28,06723	: ° : '33,99477	278,045
zora	: ° : '06,41791	: ° : '22,58383	279,245

Отримані результати обчислень з програмних пакетів TGO від Trimble, LGO від Leica Geosystems, Topcon Tools від Topcon. (див. табл. 4-6) нами порівнювалися з відповідними даними, отриманими в програмному пакеті Trimble Total Control, які ми прийняли за контрольні. Різниці відповідних геодезичних координат наведені в табл. 7.

Різниці геодезичних координат пунктів експериментальної геодезичної мережі між різними програмними пакетами

Пункти	Різниця широт, "			Різниця довгот, "			Різниця висот, м		
	TGO	LGO	Topcon	TGO	LGO	Topcon	TGO	LGO	Topcon
<u>fort_1</u>	-0,00136	0,00132	0,00137	0,00120	0,00118	0,00121	-0,02640	-0,0360	-0,0214
<u>glyn</u>	0,00080	-0,00079	-0,00078	0,00212	0,00208	0,00215	0,04120	0,0291	0,0422
<u>linsk</u>	0,00046	-0,00053	-0,00050	-0,00133	-0,00130	-0,00132	0,01770	0,0088	0,0177
<u>nukr</u>	-0,00038	0,00030	0,00036	0,00022	0,00015	0,00023	0,00950	0,0044	0,0065
<u>stav</u>	0,00465	-0,00465	-0,00466	-0,02676	-0,02668	-0,02667	0,08850	0,0838	0,0835
<u>vgor</u>	-0,00162	0,00152	0,00164	-0,00043	-0,00050	-0,00048	-0,02530	-0,0340	-0,0203
<u>zdovbica</u>	0,00159	-0,00160	-0,00166	0,00010	0,00000	-0,00003	0,04900	0,0326	0,0420
<u>zora</u>	-0,00193	0,00188	0,00189	-0,00408	-0,00412	-0,00423	-0,09850	-0,1017	-0,0915

Порівнюючи отримані результати можна сказати, що розбіжності у обчисленнях досить не значні. Це свідчить про те, що точність визначення координат пунктів експериментальної геодезичної мережі з використанням програмного GNSS-забезпечення інженерного класу приблизно однакова і складає для TGO за різницею широт від -0,00193" до 0,00465", за різницею довгот від -0,00267" до 0,00212", за різницею висот від -0,098 м до 0,088 м, для LGO за різницею широт від -0,00465" до 0,00188", за різницею довгот від -0,00266" до 0,00208", за різницею висот від -0,004 м до 0,084 м, для Topcon Tools за різницею широт від -0,00466" до 0,00189", за різницею довгот від -0,00266" до 0,00215", за різницею висот від -0,091 м до 0,083 м. Відносно кращий результат узгодження з контрольними даними показав програмний пакет LGO від Leica Geosystems.

1. Trimble Geomatics Office. Руководство пользователя. Network Adjustment. Ver.1.50. Вариант А. – 2001. – С. 3-45. 2. Руководство пользователя программного обеспечения Leica Geo Office. Версия 6.0. 3. Topcon Tools. Руководство оператора. Редакция "G". – 2006. 4. <http://www.epncb.oma.be/>

Рецензент: к.т.н., доцент Янчук Р.М. (НУВГП)