

УДК 528.3

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛЬНИХ РЕФЕРЕНЦНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ КООРДИНАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА КАДАСТРОВИХ РОБІТ

С. Савчук

Національний університет “Львівська політехніка”

Р. Гошовський

Львівський національний аграрний університет

Ключові слова: GNSS-інфраструктура, віртуальна референцна станція, координати

Постановка проблеми

Сьогодні визначення просторових координат об'єктів земної поверхні в режимі реального часу стає найпопулярнішою технологією. У багатьох країнах, крім одиничних референцних станцій GNSS, які працюють безперервно, широко використовуються мережі таких станцій, що забезпечують необхідними даними користувачів у режимі реального часу. Конфігурація мережі, кількість референцних станцій GNSS, засоби зв'язку, передавання, накопичення і обробки супутникових даних, тобто інфраструктура мережі референцних станцій GNSS, може бути різною залежно від обсягів робіт і розмірів території. Одним із видів використання інфраструктури є застосування технології віртуальних референцних станцій (VRS).

Технологія VRS може використовуватися як і у режимі реального часу, так і у режимі постобробки, та дає змогу отримувати дані про місцезнаходження об'єкта із сантиметровою точністю у єдиній системі координат на великих територіях, а також дає змогу розв'язати цілий комплекс проблемних питань у якісному забезпеченні геодезичних та земельно-кадастрових робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У геодезії настав час GNSS-інфраструктури – технології, яка полягає у використанні системи референцних станцій, що постійно працюють [1]. В цьому випадку для виконання робіт в режимі реального часу користувачеві не потрібно встановлювати власну базову станцію. Достатньо використовувати свій роверний GNSS-приймач, який за рахунок двостороннього зв'язку, що здійснюється за допомогою GSM/GPRS або інших методів передавання даних, зв'язується з діючою GNSS-мережею.

Методів побудови GNSS-інфраструктури відомо багато, основними є такі:

- встановлення однієї референцної станції;
- побудова мережі референцних станцій, що безперервно працюють;
- система VRS мережі референцних станцій, здатна покривати територію усєї області або навіть всієї країни.

Найсучаснішим видом такої інфраструктури є використання технології VRS, тобто віртуальної референцної станції. У геодезії використовують такі варіанти застосування технології VRS: використання системи VRS мережі референцних станцій у режимі реального часу для формування поправок на роверний приймач; використання даних віртуальної референцної станції у режимі постобробки [2].

Сучасна концепція віртуальної референцної станції оснований на наявності мережі референцних GNSS станцій, постійно сполучених через канали передавання даних з центром управління мережею [3, 4]. Центр управління постійно збирає інформацію з усіх приймачів, а потім створює постійно поновлювану базу даних корекції для вибраної території. Отже, створюється віртуальна референцна станція, розташовується всього у декількох метрах від точки спостереження роверного приймача, разом із “сирими” даними. Роверний приймач сприймає і використовує ці дані так само, як у тому разі, коли вони виходять від реальної референцної станції.

Це дало змогу значно поліпшити RTK позиціонування у межах всієї мережі референцних станцій та отримати точність визначення планових координат $\pm 1-2$ см на відстанях до 50 км, а то й більше, від найближчої реальної референцної станції у мережі.

У режимі статички (постобробки), під час обчислення просторових координат у камеральних умовах, вимірювання на місцевості рухомим супутниковим приймачем здійснюють без

додаткового устаткування (радіо або стільникових модемів). Під час сеансу спостережень користувачеві необхідно отримати мінімальну кількість інформації, а тривалість сеансу спостережень не залежить від відстані рухомого приймача до найближчої референцної станції. Після того, як завершені польові роботи, дані польових спостережень передаються на офісний комп'ютер. За допомогою відповідного програмного забезпечення створюються "сирі" дані віртуальної референцної станції, яка розміщена на відстані декількох десятків метрів до місця виконання робіт. Для формування спостережень віртуальної референцної станції необхідною умовою є розташування об'єкта робіт всередині мережі референцних станцій. Тим самим забезпечується можливість досягнення заданої точності, яка не залежить від тривалості часу вимірювань у польових умовах і від відстані до найближчої станції мережі.

Оскільки технологія VRS у режимі постобробки дає змогу створювати віртуальну референцну станцію близько до об'єкта робіт, то виникає можливість використання одночастотних приймачів усередині мережі референцних станцій.

У технології з віртуальною референцною станцією застосовується складний фільтр моделі стану всієї мережі RTK для обчислення набору даних віртуальної референцної станції, розташованої поблизу до роверного приймача. Сьогодні більш ніж у 95% мереж RTK використовується технологія VRS для перетворення потоку виправлень на стандартні формати (RTCM 2.3, RTCM 3.0 або CMR) від сервера польовим користувачам. Всі основні виробники геодезичних приймачів підтримують ці формати. Крім сумісності з усіма типами сучасних мобільних геодезичних приймачів, технологія VRS має переваги в тому, що сервер, використовуючи останню модель всіх джерел помилок, може безупинно оптимізувати потік виправлень для кожного положення роверного приймача. Оскільки ці моделі помилок оновлюються щосекунди, кожен роверний приймач, що входить у систему, використовує переваги оптимальної моделі відразу ж після встановлення з'єднання із сервером. У випадку технології VRS мережевий розв'язок генерує "оптимальний" набір спостережень для віртуальної референцної станції поблизу роверного приймача. Залежно від відстані до наступної референцної станції роверний приймач може спостерігати супутниковий сигнал під іншим кутом підвищення і азимутом, ніж референцна станція. Роверний приймач також може мати

іншу висоту, ніж референцна станція. Тому необхідно виправляти дані під час генерування даних віртуальної референцної станції не тільки для геометричних зсувів, але і тропосферні різниці між референцною станцією і віртуальною референцною станцією.

Геометричну відстань, яка спостерігається роверним приймачем, виправляють за допомогою такої рівності [5]:

$$\rho_{Rover}^S = \rho_{Reference}^S + \Delta T^S + T_{Rover}^S - T_{Reference}^S,$$

де ρ^S – геометрична відстань від супутника S до референцної станції і роверного приймача відповідно; $\Delta\rho^S$ – геометрична різниця відстаней між референцною станцією і VRS до супутника S ; T – модельна тропосферна поправка для супутника S до референцної станції і VRS відповідно. Поправка T обчислюється за допомогою тропосферної моделі, яка використовується в технології VRS.

Постановка завдання

Основною метою нашої роботи було дослідження точності визначення координат пунктів одночастотним/двочастотним приймачами з використанням технології віртуальних референцних станцій у режимі постобробки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Експериментальні роботи з використанням технології віртуальних референцних станцій ми виконували поблизу смт. Славське (Сколівський район Львівської обл.). Для експерименту були використані пункти Державної геодезичної мережі (ДГМ) 3-го класу, які закладалися ще під час інвентаризації нафтопроводу "Дружба". Всього було закладено 8 пунктів (рис. 1). Супутникові спостереження на пунктах виконувалися одночастотним приймачем Leica SR20 і двочастотним приймачем Trimble R8 GNSS.

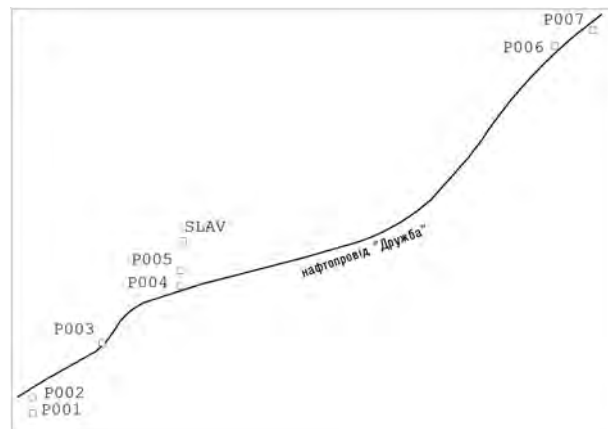


Рис. 1. Схема розташування пунктів ДГМ

Характеристика спостережень одночастотним приймачем Leica SR20 на пунктах наведена у табл. 1. На пункті SLAV виконано також статичні спостереження двочастотним приймачем Trimble R8 GNSS для отримання його контрольних координат. Спостереження велися швидкостатичним методом – FastStatic. Тривалість спостережень становила 2 год. Режим спостережень: інтервал реєстрації сигналів від GNSS-супутників – 5 с; мінімальний кут місця для супутників, що спостерігаються, 10° .

На всіх пунктах мережі виконані RTK-спостереження супутниковим приймачем Trimble R8 GNSS. Це зроблено для того, щоб отримати контрольні координати пунктів, на яких не велися статичні спостереження двочастотним приймачем для порівняння з координатами, одержаними з використанням технології віртуальних референцних станцій. У табл. 2 наведено результати спостережень у RTK-режимі.

Оскільки наш район робіт розташований всередині мережі референцних станцій, то для генерування спостереження віртуальної референцної станції ми використали сервер мережі референцних станцій Закарпатської області (ZAKPOS) [6]. На головній сторінці сервера мережі вибрали пункт “RINEX Магазин”. Після цього вказали тип станції, в нашому випадку – “Віртуальна референцна станція (VRS)” (рис. 2).

Таблиця 1

Характеристика GNSS-спостережень

Назва пункту	Спостереження			Кількість супутників
	Дата	Початок	Тривалість	
Двочастотні спостереження				
SLAV	30.09.09	14:02:10	2 ^h 50 ^m 40 ^s	16
Одночастотні спостереження				
SLAV	30.09.09	14:11:11	2 ^h 10 ^m 20 ^s	7
P001	29.09.09	12:20:26	0 ^h 17 ^m 50 ^s	8
P002	29.09.09	09:55:36	0 ^h 45 ^m 55 ^s	8
P003	30.09.09	13:45:42	0 ^h 12 ^m 14 ^s	8
P004	25.09.09	15:16:36	0 ^h 40 ^m 30 ^s	6
P005	25.09.09	16:55:16	0 ^h 24 ^m 25 ^s	6
P006	01.10.09	13:43:54	0 ^h 13 ^m 22 ^s	8
P007	01.10.09	10:50:28	0 ^h 11 ^m 16 ^s	6

Таблиця 2

Результати RTK-спостережень

Назва пункту	Координати, м		
	X, м	Y, м	H, м
SLAV	...064,683	...851,134	622,469
P001	...975,863	...022,275	785,661
P002	...167,032	...017,835	796,289
P003	...825,409	...867,435	1015,700
P004	...523,774	...825,216	628,783
P005	...708,608	...819,536	628,028
P006	...440,360	...380,360	618,403
P007	...636,208	...845,697	635,909

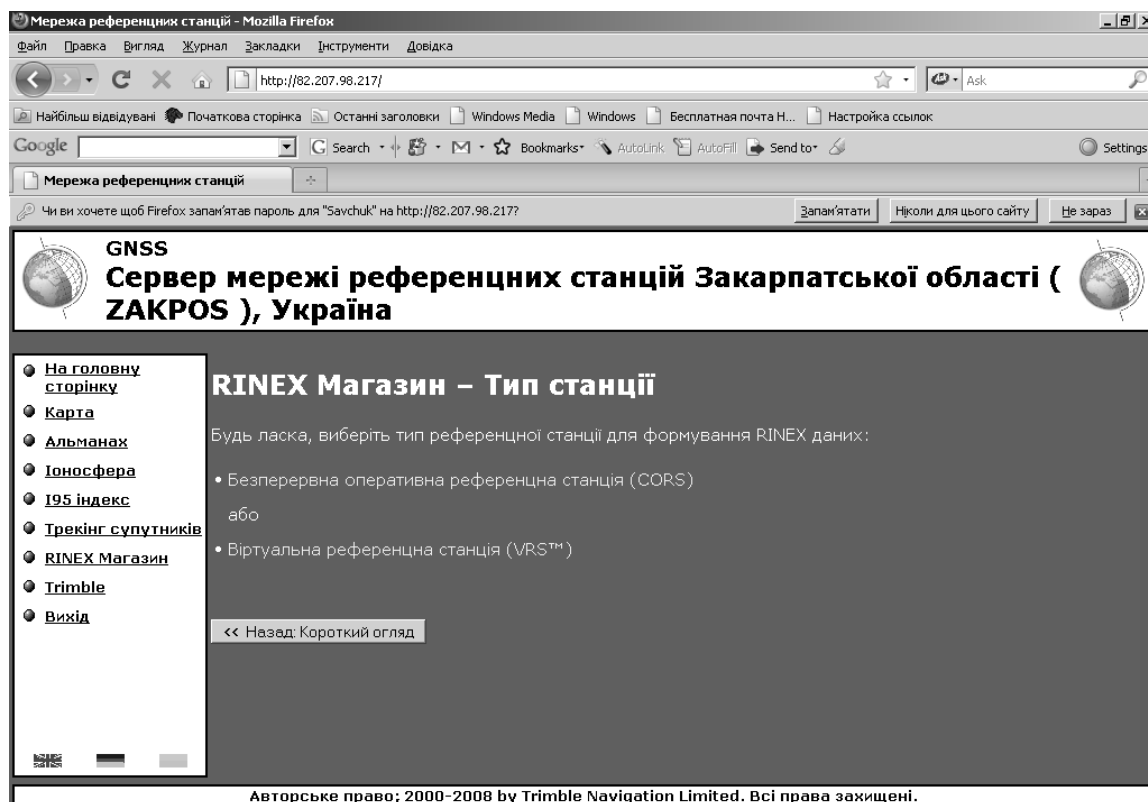


Рис. 2. Вибір типу станції

Вказували координати місця, для якого потрібно згенерувати віртуальні спостереження, а також дату, початок, тривалість та інтервал віртуальних спостережень. Після цього на сервері мережі відбувалося формування спостережень віртуальної референцної станції VirA. Після завершення формування віртуальних спостережень можна завантажити сформовані файли на комп'ютер для подальшого опрацювання. Результатом генерування даних віртуальної референцної станції є два файли (власне “спостережень” та навігаційний), змодельовані із найближчих до району робіт референцних станцій.

Опрацювання результатів супутникових спостережень одночастотним і двочастотним приймачами поділяється на такі етапи:

- перший етап: опрацювання результатів статичних спостережень двочастотним приймачем для отримання контрольних координат пункту SLAV;

- другий етап: визначення координат віртуальної референцної станції;

- третій етап: визначення координат пунктів із опрацювання результатів супутникових спостережень одночастотним і двочастотним приймачами разом із даними віртуальної референцної станції.

Для опрацювання результатів супутникових спостережень одночастотним і двочастотним приймачами на всіх етапах використовувався програмний пакет “Trimble Geomatics Office” (TGO).

На першому етапі ми визначали контрольні координати пункту SLAV із розв'язку проекту, що складається з чотирьох пунктів: SULP, MUKA, MIZG та SLAV. Для цього використовували супутникові спостереження двочастотним приймачем. Базовими станціями під час обробки слугують референцні станції SULP, MUKA, MIZG (рис. 3), координати яких відомі з високою точністю. На етапі урівнювання

фіксувались координати цих референцних станцій. Контрольні координати пункту SLAV із опрацювання спостережень двочастотним приймачем наведені у табл. 3.

На другому етапі визначались координати віртуальної референцної станції. Для цього був опрацьований проект із чотирьох пунктів: SULP, MUKA, MIZG та VirA. Спостереженнями віртуальної референцної станції слугували змодельовані віртуальні спостереження за допомогою сервера мережі референцних станцій Закарпатської області. На етапі урівнювання мережі фіксувались координати стаціонарних референцних станцій: SULP, MUKA, MIZG. Результатом опрацювання цього проекту є зрівноважені координати віртуальної референцної станції VirA. Розташування віртуальної референцної станції VirA щодо району робіт зображено на рис. 4.

Координати віртуальної референцної станції VirA наведені у табл. 4.



Рис. 3. Схема розташування пункту SLAV та референцних станцій

Таблиця 3

Результати опрацювання двочастотних спостережень

Пункт	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i> , м	δB , м	δL , м	δH , м
SLAV	...°...’57,21795”	...°...’30,66194”	658,421	0,002	0,002	0,003

Таблиця 4

Координати віртуальної референцної станції

Пункт	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i> , м	δB , м	δL , м	δH , м
VirA	...°...’00,01207”	...°...’00,02175”	669,944	0,005	0,003	0,008

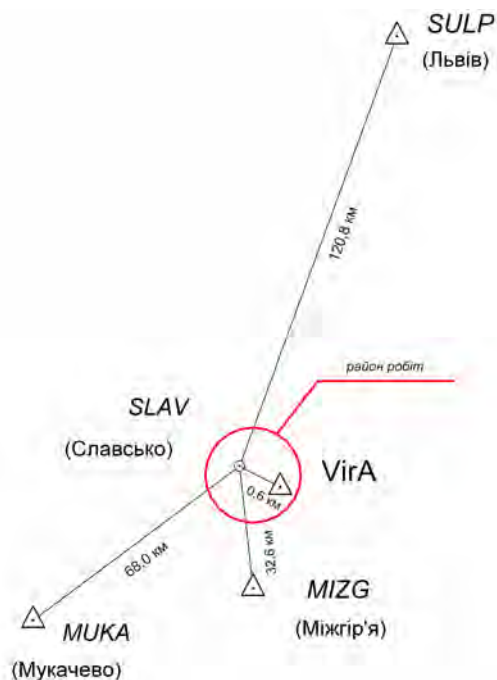


Рис. 4. Розташування віртуальної референційної станції VirA

На третьому етапі був створений проект з даними віртуальної референційної станції VirA та даними, які отримані із спостереження одночастотним і двочастотним приймачами на пунктах геодезичної мережі у TGO. Опрацьовували цей проект у стандартному режимі, фіксуючи координати станції VirA. Результати опрацювання цих спостережень наведені у табл. 5. Зазначимо, що наведена у таблиці точність є суто внутрішньою точністю з обчислень проекту.

У табл. 6 наведено результати порівняння координат, одержані із двогодинних спостережень двочастотним приймачем Trimble R8 GNSS (контрольні координати), з координатами, отриманими із використанням технології VRS на пункті SLAV.

Для порівняння координат на інших пунктах, де не виконувалися двогодинні статичні спостереження, використовувались координати цих пунктів, отримані із RTK-знімачів. Результати порівняння наведені у табл. 7.

Таблиця 5

Координати пунктів, отриманих із використанням технології VRS

Пункт	B	$\delta B, \text{ м}$	L	$\delta L, \text{ м}$	H	$\delta H, \text{ м}$
Координати, отримані із розв'язку спостережень двочастотним приймачем від даних віртуальної референційної станції						
SLAV	...°... '57,2183"	0,002	...°... '30,6609"	0,002	658,440	0,003
Координати, отримані із розв'язку спостережень одночастотним приймачем від даних віртуальної референційної станції						
SLAV	...°... '57,2198"	0,002	...°... '30,6612"	0,001	658,448	0,011
P001	...°... '49,5458"	0,072	...°... '01,1028"	0,022	821,686	0,027
P002	...°... '55,7317"	0,004	...°... '00,8922"	0,002	832,590	0,008
P003	...°... '17,0798"	0,043	...°... '42,4918"	0,074	1051,790	0,085
P004	...°... '39,7088"	0,008	...°... '29,4091"	0,005	664,844	0,014
P005	...°... '45,6941"	0,004	...°... '29,1246"	0,003	664,125	0,010
P006	...°... '14,1780"	0,041	...°... '12,6869"	0,054	653,819	0,061
P007	...°... '20,5239"	0,081	...°... '35,5138"	0,087	671,252	0,049

Таблиця 6

Порівняння координат пункту SLAV

Пункт	B	$\delta B, \text{ м}$	L	$\delta L, \text{ м}$	H	$\delta H, \text{ м}$
Контрольні координати						
SLAV	...°... '57,2179"	0,002	...°... '30,6619"	0,002	658,421 м	0,003
Координати, отримані із розв'язку спостережень двочастотним приймачем від даних віртуальної референційної станції						
SLAV	...°... '57,2183"	0,003	...°... '30,6609"	0,002	658,440 м	0,004
Різниця координат						
$\Delta, \text{ ''}$	0,0004"		-0,0010"			
$\Delta, \text{ м}$	0,011		-0,031		0,019	
Координати, отримані із розв'язку спостережень одночастотним приймачем від даних віртуальної референційної станції						
SLAV	...°... '57,2198"	0,002	...°... '30,6612"	0,001	658,448 м	0,011
Різниця координат						
$\Delta, \text{ ''}$	-0,0018"		0,0007"			
$\Delta, \text{ м}$	-0,055		0,022		-0,027	

Таблиця 7

**Порівняння координат,
отриманих із використанням
технології VRS та із RTK-знімачь**

Назва	Різниця координат	
	Δx , м	Δy , м
SLAV	-0,027	0,028
P001	0,045	-0,038
P002	-0,021	-0,026
P003	0,040	-0,043
P004	-0,013	-0,011
P005	0,016	0,008
P006	-0,054	0,038
P007	0,065	0,043

Як показує табл. 6, координати пункту SLAV, одержані із використанням технології VRS, розходяться із контрольними координатами у широті – 0,055 м, довготі – 0,022 та по висоті – 0,027 м. При цьому відстань від пункту SLAV до віртуальної референцної станції VirA становила 600 м, а спостереження одночастотним приймачем тривали близько 2 год. Такий результат порівняння координат свідчить про доволі високу точність їх визначення за допомогою технології віртуальних референцних станцій.

Порівнюючи координати досліджуваних пунктів, отримані із обробки спостережень одночастотним приймачем разом із віртуальними спостереженнями, і координат пунктів, одержаних із RTK-знімачь, можна зробити такий висновок:

- максимальні розходження відзначаються на тих пунктах, де тривалість контрольних спостережень була у межах 20 хв: до 6,5 см на пункті P007;
- мінімальні розходження спостерігаються на пунктах, де тривалість контрольних спостережень була більшою за 25 хв – до 3 см.

Висновки

1. Результати експерименту свідчать, що використання технології віртуальної референцної станції забезпечує точне і швидке визначення координат пунктів навіть для одночастотних супутникових приймачів.

2. Зважаючи на можливість створення віртуальної референцної станції поблизу району робіт, цілком достатнім є використання одночастотних приймачів без встановлення додаткової базової станції поблизу нього.

3. Аналіз отриманих результатів свідчить про необхідність подальшого ведення досліджень щодо процесу використання технології віртуальних референцних станцій для координатного забезпечення геодезичних і кадастрових робіт.

Література

1. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. Collins J. GPS Theory and Practice. Fifth, revised edition / Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. Collins J. Springer-Verlag. Wien, New York, 2001.
2. HÄKLI P. Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland // FIG Working Week 2004, Athens, Greece. – P. 1–16.
3. Старостин А. Концепция сети постоянно действующих станций Virtual Reference Station (VRS) компании Trimble и технология ее поэтапного создания // Геопрофи. – 2008. – № 6. – С. 32–34.
4. Rizos C. Network RTK research and implementation – A geodetic perspective // Journal of Global Positioning Systems. – 2002. – № 1 (2). – P. 144–150.
5. Wanninger L. Virtual reference stations for centimeter-level kinematic positioning // Proc of the 15th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation. 2002. – USA. – P. 1400–1407.
6. Сервер мережі референцних станцій Закарпатської області (ZAKPOS) / <http://zakpos.mine.nu>.

Використання технології віртуальних референцних станцій для координатного забезпечення геодезичних та кадастрових робіт
С. Савчук, Р. Гошовський

Описано експериментальні дослідження точності визначення координат пунктів одночастотним/двочастотним приймачами з використанням технології віртуальних референцних станцій у режимі постобробки.

Использование технологии виртуальных референцных станций для координатного обеспечения геодезических и кадастровых работ
С. Савчук, Р. Гошовский

Описаны экспериментальные исследования точности определения координат пунктов одночастотным/двухчастотным приемниками с использованием технологии виртуальных референцных станций в режиме постобработки.

Using technology of virtual reference stations for the coordinate assurance geodetic and cadastral works
S. Savchuk, R. Hoshovsky

Experimental researches of accuracy of determination coordinates of single-frequency/ double-frequency by receivers with use of technology virtual reference stations in a postprocessing mode are resulted.