

# Результати експериментальних досліджень точності визначення координат та практичне застосування RTK-технології з використанням GPRS Internet з'єднання

Антоніна Задемленюк

Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м.Львів, вул.С.Бандери, 12, E-mail: rew@polynet.lviv.ua

*In articles results experimental work through technologies of precision positioning with use of method RTK are resulted. The opportunity of reception of a centimetric level of accuracy of positioning on distance up to 70 km from base GNSS-station is shown. Results of the analysis of the received coordinate determinations in a real-time mode are submitted in comparison with the data postprocessings.*

Ключові слова – GNSS, method RTK,

## I. Вступ

Супутникові методи визначення місця положення пунктів на поверхні Землі знаходять широке застосування в різних сферах діяльності людей, в тому числі в геодезичному виробництві.

Постійні дослідження в галузі супутникових технологій щодо кращої точності та надійності отриманих даних, а також в напрямку підвищення оперативності координатних визначень сприяли появі RTK режиму (від англ. Real Time Kinematic).

На сьогоднішній день він є одним із самих ефективних методів геодезичного GPS знімання. Так рівень точності RTK режиму за допомогою використання сучасного двочастотного обладнання складає одиниці сантиметрів. [1].

При реалізації RTK технології можна використовувати як окремодіючу базову (референцну) станцію, так і мережу таких станцій, а для цього їй необхідно забезпечити певні вимоги щодо інфраструктури [2]: встановлення обладнання та організація роботи на базовій станції, система передачі даних спостережень чи безпосередньо поправок у координати від базової станції до користувачів або, при роботі декількох базових станцій, у єдиний обчислювальний центр, отримання даних користувачем або безпосередньо від базової станції або від обчислювального центру. Всі ці процеси пов'язані між собою відповідним програмним забезпеченням (джерело даних – сервер – кластер – клієнт) та лініями зв'язку (Інтернет).

Для роботи в RTK – режимі необхідно мати один або декілька базових мультиспостережних GNSS приймачів, високоточні антени яких жорстко встановлюються на пунктах з відомими координатами (референсна RTK станція); програмне забезпечення на референсній станції, яке дозволяє організувати вивід RTK поправок в мережу Інтернет; рухомий (роверний) мультиспостережний GNSS приймач з контролером та відповідним програмним забезпеченням до нього для реєстрації вимірювальних даних та остаточного отримання координат.

Таким чином, супутникова система спостережень, яка базується на найсучаснішій RTK-технології

дозволяє реально отримувати об'єктивні дані про місцеположення об'єкта із сантиметровою точністю у єдиній системі координат і дозволить розв'язувати цілий комплекс проблемних питань у якісному забезпеченні земельно-кадастрових робіт.

На даний час технологія RTK набуває поширення на території нашої держави. Так, зокрема, теоретичними і практичними питаннями отримання та передачі диференціальних поправок в реальному часі займаються наукові центри Києва, Харкова, Львова, Чернігова [1,3, 4, 5, 6, 7], а в Закарпатській області створена перша в Україні мережа референсних станцій, яка на даний час знаходиться вже на стадії тестування і вводу у експлуатацію [8, 9].

Однією із головних проблем на шляху широкого впровадження сучасних GNSS-технологій в Україні, є порівняно висока вартість організації подібної інфраструктури та очевидність її практичної ефективності. У своїх експериментальних дослідженнях ми спробували практично довести ефективність роботи в режимі реального часу для землевлпорядних та кадастрових робіт.

## II. Проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження з відпрацювання технології визначення координат у режимі RTK ми умовно розділили на два етапи. На першому етапі нами використовувалися вже існуючі референсні станції, доступ до даних з яких (user-ID та пароль) ми отримали у координатора проекту EUREF-IP [10].

Для реалізації 1-го етапу нами були вибрані два пункти на території м.Львова (LVIV-1 та LVIV-2), на яких встановлювали рухомий двочастотний GNSS приймач Trimble R8. Один із пунктів знаходився на незабудованій території, а інший – в умовах тісної міської забудови.

За базові станції ми використовували такі референсні станції EPN: **BOGI** та **KRAW** (Польща), **GANP** (Словаччина), **BUDP** та **PENC** (Угорщина). Дані станції знаходяться на віддалі від 250 до 450 км. На жаль інших станцій, які б були розташовані на менших відстанях до території України, наразі немає.

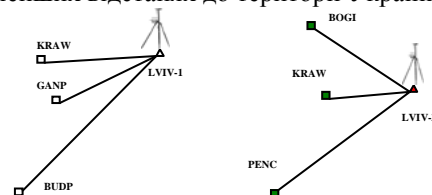


Рис.1 Схема розташування референсних станцій EPN

Для досліджень на цьому етапі нами було використано наступне обладнання: рухомий мультимастотний GNSS приймач Trimble R8 та польовий контролер TSC2 з програмним забезпеченням Trimble Survey Controller версії 12.42 [11]. На Рис. 2 зображено зазначену апаратуру.

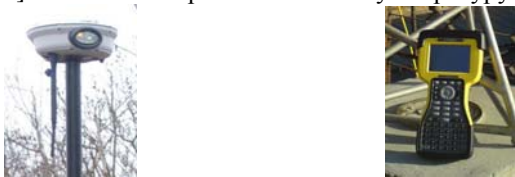


Рис.2. Мультимастотний GNSS приймач Trimble R8 (зліва) та контролер Trimble TSC2 (справа)

Для приймача та для контролера були введені певні налаштування, після чого ми приступили до вимірювання точок.

### Результати спостережень в RTK режимі на першому етапі досліджень.

Тривалість сесії RTK спостережень у загальному не перевищувала 1 год. Сам процес одного вимірювання координат складав біля 10 с. Дані вимірювань автоматично записувалися у контролер. Оскільки диференційні корекції передавалися відносно EUREF-реалізації ETRS89, то, відповідно, і отримувані нами координати теж були у цій системі.

У таблиці 1 приведено кількісні характеристики координат (лише змінну частину) отримані нами на пунктах (на прикладі станції GANP).

ТАБЛИЦЯ 1

РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В RTK РЕЖИМІ НА ПУНКТИ LVIV-1

Координати			Точність, м План./ вис.
<i>B</i> , ___"	<i>L</i> , ___"	<i>H</i> , м	
Поправки із базової станції GANP			
32,36341	39,86656	308,218	0,025 / 0,043
32,36333	39,86660	308,211	0,018 / 0,031
32,36332	39,86682	308,203	0,021 / 0,036
32,36334	39,86678	308,198	0,023 / 0,040
32,36477	39,86720	308,457	0,016 / 0,027
32,36466	39,86712	308,448	0,016 / 0,027

Другий етап наших досліджень полягав у тому, щоб задіяти у процес RTK-спостережень свою власну базову станцію і тим самим провести вимірювання на коротших відстаннях.

#### ОРГАНІЗАЦІЯ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ.

За базову станцію слугував пункт **NULP**, розміщений у головному корпусі НУ "Львівська політехніка", м. Львів. Антена цієї станції була розміщена недалеко від антени перманентної станції **SULP**, що дозволило достатньо надійно визначити її координати. Зазначимо, що координати фазового центру базової станції визначалися із тривалих (більше 10 днів) безперервних спостережень безпосередньо від перманентної станції **SULP**, після

чого були трансформовані у систему ETRS89. Саме ці координати вводилися як вихідні для нашої базової станції.

Базова GNSS-станція була обладнана мультимастотним приймачем **Trimble NetR5** (рис.3) та антеною **Zephyr GNSS Geodetic Model II** (рис.4).



Рис.3. Мультимастотний GNSS базовий GNSS приймач Trimble Net R5



Рис. 4. Антена Zephyr Geodetic Model II

Першим кроком наших експериментальних досліджень було проведення RTK-спостережень у межах м. Львова. Для цього було вибрано три пункти спостережень: один у безпосередній близькості до базової станції (**LP-1**), один у районі вул. Зелена (**ZELE**) на відстані 6.4 км і ще один у районі автостанції, що на вул. Стрийській (**ASTA**), на відстані 5.3 км (див. рис. 5. а).

Процес підготовки до спостережень і технологія їх проведення були цілком аналогічні до тих, що ми їх використовували на першому етапі наших досліджень. При цьому використовувалися рухомий мультимастотний GNSS приймач Trimble R8 та польовий контролер TSC2 з програмним забезпеченням Trimble Survey Controller версії 12.42.

Другим кроком наших досліджень на даному етапі було проведення RTK-спостережень поза межами м. Львова, а саме, у напрямі на м. Стрий. У цьому напрямі нами теж було вибрано три пункти: один у районі с.Красів (**KRAS**) на відстані 24 км від базової станції, другий у районі с. Більче (**BIL1**) на відстані 50 км і третій – у м.Стрий (**STR1**) (рис.5.б). Відстань третього пункту від базової станції складала 65 км.

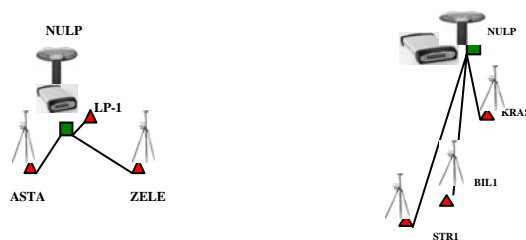


Рис.5. Схема проведених спостережень у межах м. Львова (а) та у напрямку на м.Стрий (б)

У таблиці 2 приведено кількісні характеристики координат (лише змінну частину), отримані нами на цих пунктах із приймачем Trimble R8 від базової станції **NULP** як з використанням режиму **RTK**, так і при його роботі у режимі **FastStatic** (жирний шрифт). Тривалість таких спостережень складала 0.5-1.5 годин в залежності від відстані до базової станції. Обробка статичних спостережень виконувалася за допомогою програмного забезпечення Trimble Business Center. Точність отриманих координат пунктів у цьому режимі оцінюється у декілька см.

ТАБЛИЦЯ 2  
РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РТК РЕЖИМІ У  
МЕЖАХ М.ЛЬВОВА

Координати			Точність, м План./ вис.
<i>B</i> , ___"	<i>L</i> , ___"	<i>H</i> , м	
<b>Пункт LP-1</b>			
08,38031	52,37284	370,907	0,004 / 0,007
08,38035	52,37294	370,906	0,003 / 0,005
08,38028	52,37294	370,905	0,003 / 0,005
08,38025	52,37295	370,912	0,003 / 0,004
<b>08,38003</b>	<b>52,37285</b>	<b>370,906</b>	
<b>Пункт ZELE</b>			
55,66016	00,63406	411,300	0,011 / 0,014
55,66001	00,63393	411,297	0,010 / 0,014
55,66007	00,63393	411,296	0,009 / 0,013
55,66015	00,63403	411,297	0,009 / 0,012
55,66017	00,63418	411,303	0,009 / 0,012
<b>55,66039</b>	<b>00,63401</b>	<b>411,331</b>	
<b>Пункт ASTA</b>			
17,04455	58,24010	373,984	0,009 / 0,011
17,04450	58,23996	373,987	0,009 / 0,011
17,04451	58,24013	373,985	0,010 / 0,013
<b>17,04472</b>	<b>58,24037</b>	<b>374,001</b>	

ТАБЛИЦЯ 3  
РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РТК РЕЖИМІ У У  
НАПРЯМКУ ЛЬВІВ-СТРИЙ

Координати			Точність, м План./ вис.
<i>B</i> , ___"	<i>L</i> , ___"	<i>H</i> , м	
<b>Пункт KRAS</b>			
02,65096	40,11955	370,477	0,007 / 0,011
02,65100	40,11965	370,470	0,006 / 0,010
02,65108	40,11983	370,468	0,009 / 0,013
02,65048	40,12005	370,448	0,023 / 0,028
02,65044	40,11964	370,453	0,015 / 0,018
<b>02,6509</b>	<b>40,1199</b>	<b>370,470</b>	
<b>Пункт BIL1</b>			
22,99588	35,76190	297,326	0,029 / 0,035
22,99591	35,76229	297,317	0,016 / 0,019
22,99593	35,76225	297,311	0,014 / 0,017
22,99602	35,76240	297,308	0,015 / 0,018
22,99592	35,76258	297,301	0,015 / 0,018
<b>22,9962</b>	<b>35,7631</b>	<b>297,301</b>	
<b>Пункт STR1</b>			
44,22537	23,83347	327,850	0,013 / 0,020
44,22549	23,83356	327,855	0,013 / 0,022
44,22556	23,83343	327,865	0,011 / 0,017
44,22578	23,83318	327,885	0,014 / 0,021
44,22583	23,83304	327,891	0,014 / 0,022
<b>44,2255</b>	<b>23,8335</b>	<b>327,871</b>	

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РТК ЗНИМАННЯ ТА  
ВИСНОВКИ.

У таблицях з результатами РТК-спостережень наведена лише незначна частина отриманих даних. Для визначення реальної точності усіх отриманих координат ми поступили таким чином. Вважаючи

координати пунктів, отримані із довготривалих статичних спостережень, «точними», ми різниці координат:

$$\Delta B = B^{RTK} - B^{STAT}$$

$$\Delta L = L^{RTK} - L^{STAT}$$

$$\text{та } \Delta H = H^{RTK} - H^{STAT}$$

перетворили у зміну топоцентричних просторових прямокутних горизонтальних координат  $\Delta n, \Delta e, \Delta u$  за допомогою наступних формул:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin L & \cos B \cos L \\ -\sin B \sin L & \cos L & \cos B \sin L \\ \cos B & 0 & \sin B \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} (M+N)\Delta B \\ (N+H)\cos B \Delta L \\ \Delta H \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{cases} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ -\sin L & \cos L & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

Тут  $B, L$  - геодезичні координати пункту спостереження;  $M, N$  - радіус кривини меридіану та першого вертикалу відповідно.

Підсумкові значення різниць координат наведені у табл.4.

ТАБЛИЦЯ 4  
ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ІЗ РТК-  
СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Назва пункту	Відстань до базової станції, км	Різниця, м		
		$\Delta n$	$\Delta e$	$\Delta u$
LP-1	0.015	-0,011	0,023	-0,054
ASTA	5.3	-0,016	-0,014	-0,016
ZELE	6.4	-0,016	0,010	-0,031
KRAS	24.3	-0,021	-0,029	0,044
BIL1	49.9	0,011	-0,013	0,037
STR1	64.8	-0,067	-0,019	-0,116
LVIV-1	283	-0,063	-0,141	-0,233
LVIV-1	292	-0,447	-0,347	-0,526
LVIV-2	298	-0,470	-0,333	0,700
LVIV-2	360	-0,457	-0,213	-0,601
LVIV-2	416	-0,799	-0,190	-0,109
LVIV-1	449	-0,120	-0,038	-0,545

Як видно із табл.6 різниці топоцентричних прямокутних координат на пунктах спостережень знаходяться в інтервалі:

$$\begin{cases} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{cases} \div \begin{cases} 6-80 \text{ см} \\ 4-35 \text{ см} \\ 10-70 \text{ см} \end{cases}, \text{ коли базові станції знаходяться}$$

за сотні км від пунктів спостереження, і

$$\begin{cases} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{cases} \div \begin{cases} 1.1 - 6.7 \text{ см} \\ 1.0 - 2.9 \text{ см} \\ 1.6 - 11.6 \text{ см} \end{cases}, \quad \text{коли базові станції}$$

знаходяться до 65 км від пунктів спостереження,

При створенні профілю Інтернет-з'єднання нами використовувались послуги таких мобільних операторів GPRS-послуг: Київстар, Life, МТС та Beeline [29]. Суттєвих переваг якогось конкретного оператора ми не відзначили, оскільки одночасно ми не могли працювати із всіма ними. Кожен оператор надавав можливість Інтернет-з'єднання, проте варто зазначити, що великий час на отримання фіксованого розв'язку (деколи до 3 хв.) був пов'язаний тільки з якістю каналу GSM/GPRS зв'язку. В більшості випадків час ініціалізації не перевищував 10 с навіть при короткочасному зникненні GSM/GPRS каналу зв'язку. Вартість GPRS-послуг за спостереження на одному пункті у середньому становила 2 - 4 гривні.

### Висновок

Отже, для відпрацювання RTK технології можна використовувати закордонні референсні станції на достатньо значних відстанях. Навіть при таких відстанях ми вважаємо отримані результати задовільними. При відстанях до 70 км. від базової станції точність отриманих координат за допомогою мультиспостережуваних GNSS приймачів залишається достатньо високою.

### Література:

[1] Савчук С.Г., Задеменюк А.В. Про нові технології створення координатної основи для кадастрових робіт // Зб. матер. наук.-практ. конф. "Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та лісовпорядкуванні". – Ужгород, 2008. – С.16-18.  
 [2] Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008, №1-2.  
 [3] Горб А., Нежалский Р., Федоренко Р., Нестерович А. Экспериментальная оценка точности RTK-измерений //Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – Львів: Вид-

во НУ"Львівська політехніка".- 2008. - В.І (15).- С.118-124.  
 [4] Горб А., Нежалский Р., Федоренко Р. Анализ точности GPS измерений в сети базовых станций //Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – Львів: Вид-во НУ"Львівська політехніка".- 2006. -С.97-102.  
 [5] Шелковенков Д., Желанов О., Жаліло О., Шокало В., Кондратюк В., Литвин М., Флерко С., Черевко В. Результаты экспериментальных исследований реализации DGPS/RTK режима спутникового позиционирования с использованием NTRIP-технологии //Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – Львів: Вид-во НУ"Львівська політехніка".- 2008. - В.І (15).- С.125-132.  
 [6] Терещук О., Савчук С. Проект мережі активних перманентних GPS-станцій Північного регіону України// Зб. наук. праць міжнар. конф. "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід". – Чернігів: Чернігівські береги. –2007. -С.16-23.  
 [7] Задеменюк А. Про сучасний стан координатного забезпечення та перспективи його вдосконалення для задач кадастру // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2008. - № 70. - С. 14-21.  
 [8] Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. Creation of ZAKPOS active Network Reference Stations for Transcarpatian Region of Ukraine // International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. - Berlin, 11-14 November 2008.EUPOS Presentations.  
 [9] Калинич І.В., Савчук С.Г., Третяк К.Р. Проектування супутникової системи координатного забезпечення задач земельного кадастру на прикладі Закарпатського регіону// Зб. наук. праць міжнар. конф. "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід". – Чернігів: Чернігівські береги. –2007. -С.87-91.  
 [10] User Registration for Ntrip Broadcasters// <http://igs.bkg.bund.de/>.  
 [11] NetR5 GNSS Infrastructure Receiver User Guide// [www.trimble.com](http://www.trimble.com).