

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ МЕТОДОМ RTK З ВИКОРИСТАННЯМ GPRS INTERNET З'ЄДНАННЯ

С. Савчук, А. Задеhlenюк, А. Піскорівський
Національний університет "Львівська політехніка"

Постановка проблеми

Поява RTK (Real Time Kinematic) технології у розвитку систем точного супутникового позиціонування та спільне використання нових телекомунікаційних можливостей забезпечили широке впровадження її у різні галузі навігації, геодезії, кадастру тощо. Так, фактично стало можливим отримувати сантиметровий рівень координат безпосередньо під час виконання спостережень, тобто процес обробки звівся до мінімуму і тепер мало залежить від суб'єктивних факторів, а затрати часу при цьому становлять максимум декілька десятків секунд на одній точці [1]. При реалізації RTK технології може використовуватися як окрема базова (референсна) станція, так і ціла мережа таких станцій, а сама технологія передбачає певну інфраструктуру [2]: встановлення обладнання та організація роботи на базовій станції, система передавання даних спостережень чи безпосередньо поправок у координати від базової станції до користувачів або під час роботи 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). Оскільки сучасні можливості супутникових технологій є достатньо ефективними та універсальними, то потреби у тимчасових станціях-базах практично немає. Створюються станції, що працюють за принципами перманентних станцій EUREF (Reference Frame Subcommission for Europe) чи IGS (International GPS Geodynamics Service) і такі станції називають референсними станціями, оскільки їхні координати безперервно визначають та уточнюють.

Отже, супутникова система спостережень, яка ґрунтується на найсучаснішій RTK-технології, є централізованою і максимально автоматизованою, дає змогу реально отримувати об'єктивні дані про місцезнаходження об'єкта із сантиметровою точністю у єдиній системі координат і дасть змогу вирішувати цілий комплекс проблемних питань якісного забезпечення земельно-кадастрових робіт.

Головною перешкодою на шляху широкого впровадження сучасних GNSS-технологій в Україні, особливо тих, що пов'язані з режимом реального часу, є порівняно висока вартість організації подібної інфраструктури та очевидність її практичної ефективності. А оскільки вартість технології є відносним поняттям (можна згадати, наприклад, вартість GPS обладнання у середині 90-х років), то основним аргументом на користь її впровадження є все-таки її ефективність. Саме питанням ефективності використання GNSS- інфраструктури і надається першочергова увага.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми

Нині технологія RTK набуває поширення на території нашої держави. Так, зокрема, теоретичними і практичними питаннями отримання та передавання диференційних поправок в реальному часі займаються наукові центри Києва, Харкова, Львова, Чернігова [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Зусиллями кількох організацій у Закарпатській області створена перша в Україні мережа референсних станцій, яка сьогодні вже на стадії тестування і введення в експлуатацію [9, 10]. Аналогічна мережа створюється і на території Львівської області [11]. Практично це перші кроки з впровадження в Україні нової високоефективної технології супутникового позиціонування – технології RTK.

Більший досвід із створення та організації роботи інфраструктури режиму реального часу мають країни Європи. У цьому плані найбільші здобутки у Німеччині. Її пріоритетні досягнення стали фактично стандартами у плані функціонування DGNS та RTK технологій. На базі створеної мережі референцних станцій SAPOS [12, 13] були розроблені принципи передавання RTK-поправок (диференційних корекцій) радіоканалами зв'язку через трансляційні станції, формати передавання диференційних корекцій, що ґрунтувалися на принципі лінійної інтерполяції на площині (так званий формат FKP) [14], новий протокол передавання поточкових GNSS даних NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), що надає GNSS дані для різноманітних використань в Інтернеті на основі відомого протоколу HTTP (Hypertext Transfer Protocol) [15].

За останні роки істотних успіхів у цьому напрямі досягли країни Східної Європи. Наочним прикладом може бути Польща [16]. По всій території країни протягом 2005–2007 рр. була створена мережа референцних станцій ASG-EUPOS, котра складається із 94 референцних станцій, 11 із них двофункційні GPS + GLONASS, близько 30 закордонних станцій, а також двох обчислювальних центрів у Варшаві та Катовіцах, з яких здійснюється управління мережею. Створена система ASG-EUPOS дає змогу генерувати поправки на базі GNSS спостережень, виконаних по всій мережі. Програмне забезпечення центру управління формує в реальному часі потоки поправок для користувачів системи, а також дає можливість використовувати дані спостережень з референцних станцій для постобробки. Ця мережа забезпечує точність визначення координат під час спостережень в RTK-режимі: до 3 см у плані та близько 5 см у висоті [17].

Аналогічно побудовані та успішно працюють мережі референцних станцій у Литві, Латвії, Естонії, Румунії, Чехії, Словаччині, Угорщині та інших країнах Східної та Центральної Європи, котрі організаційно об'єднані єдиною структурою – EUPOS (European Position Determination System). Нині EUPOS займається переважно організаційними питаннями зі створення та функціонування мереж референцних станцій в країнах Східної Європи. Вимоги до створення таких мереж, а також необхідне для цього обладнання наведені в [18].

Постановка завдання

Метою нашої роботи було виконання експериментальних досліджень точності координат, отриманих методом RTK з використанням GPRS Internet з'єднання.

Виклад основного матеріалу

Як відомо, сьогодні рівень точності визначення координат у RTK режимі за умови використання сучасної GNSS інфраструктури повинен становити одиниці сантиметрів на доволі значні відстані.

Під сучасною GNSS інфраструктурою розуміють такий комплекс апаратно-програмних засобів, який містить один або декілька базових мультиспостережних GNSS приймачів, високоточні антени яких жорстко встановлюються на пунктах з відомими координатами (референцна RTK станція); програмне забезпечення на референційній станції, яке дає змогу організувати виведення 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.

Якщо на мережі референцних станцій може використовуватися практично будь-який двочастотний GPS чи GPS+GLONASS приймач, але для цього потрібно мати спеціалізоване мережеве програмне забезпечення, то для організації сучасної одиначної референційної станції, що у наших економічних умовах є прийнятнішим, вибір відповідного приймача є доволі обмеженим. Можливими є лише такі варіанти приймачів: GNSS приймач TRIMBLE *NetR5 / NetR8* або GNSS приймач SOKKIA *GSR2700 RSX* або GNSS приймач LEICA *GRX1200 GG Pro* або Topcon *GPS/GLONASS/GALILEO* приймач Net-G3. Вартість одного комплексу становить близько 35 тис. доларів і може коливатися у межах декількох тисяч залежно від технічних можливостей

забезпечення режиму RTK, про що ще буде йтися. Оскільки надалі ми будемо розглядати варіант лише одиначної станції, то, відповідно, потрібно розглядати варіанти лише тих приймачів, які самі можуть забезпечити виведення RTK поправок в мережу Інтернет без застосування додаткового програмного забезпечення.

Існує достатня кількість різних типів рухомих (роверних) приймачів від різних фірм-виробників. Головною особливістю таких приймачів, як правило, двочастотних та з можливістю приймати GPS+GLONASS сигнали, повинен бути вбудований GSM модем з антеною у комплекті з контролером з програмним забезпеченням на базі кишенькових РС. Орієнтовна вартість такого комплексу (приймач+контролер) становить 20–25 тис. доларів.

Як вже було зазначено, спеціально для реалізації RTK режиму у Німеччині була розроблена технологія **NTRIP** (від англ. **N**etworked **T**ransport of **R**TCM via **I**nternet **P**rotocol) [15], що містить три основні компоненти – систему збирання та накопичення даних – NtripServer, програмного маршрутизатора мережі Інтернет – NtripCaster і програмної приймальної частини – NtripClient. NTRIP є спеціальним TCP-протоколом передавання даних за допомогою мережі Інтернет із забезпеченням надійного та багатокористувачевого доступу до поправок і даних спостережень референціальних станцій.

Для повноцінного забезпечення функціонування у режимі реального часу одиначної референційної (базової) станції необхідно встановити такий приймач, щоб він містив мінімум дві компоненти технології NTRIP – NtripServer та NtripCaster, а користувач з рухомих приймачем мав можливість реалізації третьої компоненти – NtripClienta.

Із зазначеного вище обладнання для практичного використання нами було вибрано апаратуру від фірми Trimble, яка найповніше відповідає поставленим вимогам.

Власне використання каналів GSM/GPRS операторів мобільного зв'язку під час супутникових вимірювань в методі RTK дає змогу зреалізувати технологію NTRIP: NtripServer – NtripCaster – NtripClient передавання сигналу “базова станція – користувач” й істотно збільшити відстань від рухомого приймача до референційної станції під час вимірювань. Час, необхідний для одного вимірювання на рухомій станції, вдалося скоротити до 10 с і менше [19, 20, 21, 22, 23].

Виконання експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження з відпрацювання технології визначення координат у режимі RTK ми умовно розділили на два етапи. На першому етапі використовувалися вже наявні референційні станції, доступ до даних з яких (user-ID та пароль) ми отримали у координатора проекту EUREF-IP [24].

Пілот-проект EUREF-IP був розроблений у період з 2002 до 2007 рр. у межах EUREF і основна його діяльність була спрямована на створення відповідної інфраструктури для отримання і використання даних EPN (EUREF Permanent Network) станцій у реальному часі [25]. Сьогодні поширення диференціальних поправок у реальному часі стало невід'ємною частиною на європейському континенті: 98 EPN-станцій із 200 діючих використовують Ntrip-технологію і режим RTK. Ці дані у реальному часі, переважно у форматі RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), регулярно передаються від таких станцій, використовуючи принцип Інтернет-радіо [26]. Переважна більшість цих станцій працює за принципом одиначної референційної станції (Single Base).

Для реалізації першого етапу 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 розміщений на незабудованій території, а інший – в умовах тісної міської забудови. Як базові станції ми використовували такі референційні станції EPN: **BOGI** та **KRAW** (Польща), **GANP** (Словаччина), **BUDP** та **PENC** (Угорщина). Такий вибір був зумовлений порівняно “близькою” віддаллю до них. Ці віддалі становили від 250 до 450 км. На жаль, інших станцій, які б були розташовані на менших відстанях до території України, нині немає.

Характеристики референціальних станцій EPN, що задіяні у проекті EUREF-IP, наведені у табл. 1, а схематичне зображення їхнього розташування відносно рухомого приймача – на рис. 1.

Характеристики референцних станцій проекту EUREF-IP

Референцна станція	Система GNSS	Приймач	Антена	Формат поправки	Середня віддаль, км
BOGI	GPS+ GLONASS	JPS Legacy	ASH700936C_M SNOW	RTCM 2.1	360
BUDP	GPS+ GLONASS	Trimble NetR5	TRM55971.00 TZGD	RTCM 3.0	449
GANP	GPS+ GLONASS	Trimble NetR5	TRM55971.00 NONE	RTCM 3.0	283
KRAW	GPS	Ashtech UZ-12	ASH701945C_M SNOW	RTCM 2.2	295
PENC	GPS+ GLONASS	Leica GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	RTCM 3.0	416

Для досліджень на цьому етапі нами було використано таке обладнання: рухомий мульти-частотний GNSS приймач Trimble R8 та польовий контролер TSC2 з програмним забезпеченням Trimble Survey Controller версії 12.42 [28]. На рис. 2 зображено зазначену апаратуру.

Деякі характерні особливості GNSS приймача Trimble R8:

- технологія Trimble R-track для відстежування нових цивільних сигналів на частотах L2 (L2C) і L5;
- вимірювання фаз несучих частот GNSS з дуже низьким рівнем шумів і з точністю менше ніж 1 мм у смузі частот 1 Гц;
- 72 канали:
 - GPS сигнали: L1 – C/A код L2C, повний цикл фази несучої L1/L2/L5,
 - GLONASS сигнали: L1 – C/A код, L1 – P код, L2 – P код;
- час ініціалізації < 10 с., надійність ініціалізації > 99,9 %;
- використана технологія Bluetooth® забезпечує бездротовий зв'язок приймача і контролера;
- влаштований GSM/GPRS модем з антеною.

Польовий контролер TSC2 – це фактично міні-комп'ютер із такими загальними характеристиками: операційна система Windows Mobile 5.0; процесор Intel PXA 270 XScale; 128 Мб оперативної пам'яті; бездротові канали зв'язку Bluetooth та Wi-Fi, акумуляторна батарея на 30 год роботи; міні-динаміки для голосових повідомлень про хід знімання та можливі порушення технологічних процедур; I/O порти (живлення, RS-232 serial 9-pin, USB-client, USB-host).

Підготовка апаратури до спостережень

Під час підготовки рухомого приймача Trimble R8 до RTK-спостережень через контролер TSC2 (Опція – Конфігурація) необхідно ввести такі налаштування.

У підопції <Тип знімання> – **RTK** налаштовуємо опції приймача – ровера: 1) формат поправок – **RTCM RTK**; кут відсікання – **10°** (автоматично за замовчуванням); маска PDOP – **6.0** (автоматично за замовчуванням); 2) антена: тип – **R8 Model2/SPS88x Internal** (автоматично за замовчуванням); параметри антени (висота, серійний номер, точка виміру висоти на антені); 3) варіанти відслідковування: задіяти технологію Trimble R-track (так/ні); використання сигналів GLONASS (так/ні).

Після налаштування опцій ровера переходимо до налаштування варіанта з'єднання з базовою (референцною) станцією. Для цього вибираємо <Радио ровера> і вводимо таке: тип – **Інтернет соєдинення** через контролер, у якому попередньо необхідно створити тип **Профіля соєдинення**; потім із списку профілів з'єднання вибираємо той, який ми створили для цього проекту, у нашому випадку – **ip-kyivstar**. Під час створення цього профілю з'єднання ми використали такі опції: 1) мережеве підімкнення – **Trimble GPRS**; Bluetooth-модем – **R8: Trimble**; PIN модема: PIN-код SIM-карти для мобільного телефону; APN – точка доступу до передавання потокових даних конкретного мобільного оператора; 2) використання **NTRIP** – ім'я користувача, пароль, IP-адреса, IP-порт (ці дані отримуються від центру управління базової (референцної) станції); 3) тип під'єднання – **GPRS**. Після цього зберігаємо це налаштування під вибраним іменем.

Для безпосередніх вимірювань необхідно перейти на контролері до опції *Сьемка* та вибрати через підопцію < RTK > **Измерение точек**. Після активізації цієї процедури контролер встановлює Інтернет-з'єднання з вибраною референційною станцією. Коли рухомий приймач ініціалізувався, режим знімання в рядку стану показує, що режим RTK є задіяним і можна розпочинати вимірювання точок.

Результати спостережень в RTK режимі на першому етапі досліджень

Спостереження на вказаних пунктах виконувалися у грудні 2008 р. Тривалість сесії RTK спостережень загалом не перевищувала 1 год. Сам процес одного вимірювання координат тривав близько 10 с. Зазначимо також, що добитися фіксованого розв'язку на таких великих відстанях нам не вдалося (за винятком результатів від станції GANP (Словаччина)).

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.

Разом із координатами нашого пункту ми одержували також додаткову інформацію про розрахункову точність їхнього отримання, кількість супутників на момент спостереження та їхню конфігурацію, тривалість одного спостереження у секундах.

Дані спостережень були перенесені із контролера в офісний комп'ютер. Після цього невелику частину з них ми оформили у вигляді таблиць (див. табл. 2–3).

У зазначених таблицях також наведено кількісні характеристики координат (лише змінну частину), отримані нами на цих пунктах із тим самим приймачем і від тих самих референційних станцій, але при його роботі у режимі **FastStatic**. Тривалість таких спостережень становила декілька годин, а обробка виконувалася з використанням точних ефемерид супутників за допомогою програмного забезпечення Trimble Business Center (сучасний аналог відомого пакета Trimble Geomatics Office). Його особливістю є те, що він може виконувати обробку як супутників GPS, так і GLONASS. Точність отриманих координат пунктів у цьому режимі не перевищує декількох сантиметрів. Зазначимо, що добитися такої точності дала змогу велика кількість GNSS супутників (до 11 супутників GPS і до 6 супутників GLONASS) та їхнє розташування.

Таблиця 2

Результати спостережень у RTK режимі на пункті LVIV-1

Координати			Точність, м План./ вис.	PDOP/ к-ть супутників	Час спосте- режень, с
<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	1,9 / 14	9
32,36333	39,86660	308,211	0,018 / 0,031	1,9 / 14	10
32,36332	39,86682	308,203	0,021 / 0,036	1,9 / 14	10
32,36334	39,86678	308,198	0,023 / 0,040	1,9 / 14	8
32,36477	39,86720	308,457	0,016 / 0,027	1,4 / 14	9
32,36466	39,86712	308,448	0,016 / 0,027	1,4 / 14	8
Поправки із базової станції BUDP					
32,36472	39,86943	307,931	0,485 / 0,901	2,3 / 7	8
32,36475	39,87109	308,062	0,514 / 0,952	2,3 / 7	6
32,36086	39,87319	307,782	0,498 / 0,921	2,3 / 7	6
32,36059	39,87426	308,019	0,484 / 0,894	2,3 / 7	6
32,35891	39,87470	308,090	0,472 / 0,870	2,3 / 7	6
Поправки із базової станції KRAW					
32,34656	39,85356	309,468	0,304 / 0,583	2,4 / 7	9
32,34768	39,85501	309,397	0,258 / 0,495	2,4 / 7	11
32,35226	39,86392	309,247	0,402 / 0,770	2,4 / 7	10
32,35290	39,86566	309,062	0,415 / 0,793	2,4 / 7	10
32,35369	39,86549	308,937	0,399 / 0,762	2,4 / 7	9
Значення із обробки статичних спостережень					
32, 36584	39,87694	308,5219			

Результати спостережень у RTK режимі на пункті LVIV-2

Координати			Точність, м План./ вис.	PDOP/ к-ть супутників	Час спосте- режень, с
<i>B</i> , ___"	<i>L</i> , ___"	<i>H</i> , м			
Поправки із базової станції KRAW					
24,63043	31,54009	402,386	0,356 / 0,521	1,8 / 8	10
24,62794	31,54006	402,293	0,363 / 0,532	1,8 / 8	8
24,62677	31,54141	402,288	0,372 / 0,545	1,9 / 8	8
24,62620	31,54137	402,279	0,331 / 0,486	1,9 / 8	10
24,62615	31,54090	402,302	0,321 / 0,471	1,9 / 8	10
Поправки із базової станції PENC					
24,61616	31,53277	402,513	0,313 / 0,478	1,4 / 14	12
24,61551	31,53580	402,551	0,323 / 0,493	1,4 / 14	10
24,61294	31,53540	402,551	0,313 / 0,478	1,4 / 14	9
24,61124	31,53378	402,515	0,316 / 0,482	1,4 / 14	7
24,61335	31,53464	402,419	0,293 / 0,447	1,4 / 14	10
Поправки із базової станції BOGI					
24,63347	31,52630	402,176	0,581 / 0,847	1,6 / 9	5
24,62832	31,52869	401,957	0,563 / 0,821	1,6 / 9	3
24,62162	31,52689	401,859	0,498 / 0,693	1,7 / 8	6
24,62540	31,53141	402,082	0,586 / 0,816	1,7 / 8	6
24,63367	31,52550	402,227	0,401 / 0,619	1,9 / 7	9
Значення із обробки статичних спостережень					
24, 64197	31,54275	402,619			

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

Організація базової станції

За базову станцію слугував пункт **NULP**, розміщений у головному корпусі Національного університету "Львівська політехніка" (м. Львів). Антена цієї станції була розміщена недалеко від антени перманентної станції **SULP**, що дало змогу достатньо надійно визначити її координати. Зазначимо, що координати фазового центру базової станції визначалися із тривалих (більше ніж 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 мультиспостережним приймачем Trimble NetR5 (рис. 3) та антеною Zephyr GNSS Geodetic Model II (рис. 4).

Мультиспостережний GNSS базовий приймач Trimble NetR5 (див. рис. 3) має такі характеристики [28]:

- 72 каналний: приймає сигнали GPS L1/L2+L2C/L5 та GLONASS L1/L2;
- 1 Гц, 2 Гц, 5 Гц, 10 Гц і 20 Гц, запис даних у внутрішню і зовнішню пам'ять і потокове виведення даних;
- виведення у форматах CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, RINEX;
- усі функції виконуються через єдину IP-адресу спільно, зокрема Інтернет-доступ до графічного інтерфейсу користувача (GUI), передавання файлів по протоколу FTP і потокове передавання даних;
- наявність Ethernet та можливість конфігурації через передню панель;
- конфігурація приймача через Web-браузер;
- повна автономна підтримка технології NTRIP;
- підтримка WAAS/EGNOS;

Нами було організовано виведення потоку даних у форматі RTCM 3.0 через конфігурування GNSS приймача Trimble NetR5 з Web-браузера Opera версії 9.61. RTK поправки у форматі RTCM 3.0 передавалися на виділену IP-адресу через NtripCaster приймача.

Тестували виведення поточкових даних з GNSS приймача Trimble NetR5 через використання програмного забезпечення NtripClient у вигляді "GNSS Internet Radio". Після пробних тестувань, які дали достатньо надійні результати, ми розпочали основні дослідження.

Першим кроком наших експериментальних досліджень було здійснення 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).

Підготовка до спостережень і технологія їхнього здійснення були цілком аналогічні до тих, що ми їх використовували на першому етапі наших досліджень. Використовувалися рухомий мультиспостережувач GNSS приймач Trimble R8 та польовий контролер TSC2 з програмним забезпеченням Trimble Survey Controller версії 12.42.

Другим кроком наших досліджень на цьому етапі було виконання 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 від третього пункту до базової станції становила 65 км.

У табл. 4 і 5 наведено 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 під час його роботи у режимі **FastStatic** (жирний шрифт). Тривалість таких спостережень становила 0,5–1,5 год залежно від відстані до базової станції. Оброблялись статичні спостереження за допомогою програмного забезпечення Trimble Business Center. Точність отриманих координат пунктів у цьому режимі оцінюється у декілька сантиметрів.

Таблиця 4

Результати спостережень у RTK режимі у межах м. Львова

Координати			Точність, м План./ вис.	PDOP/ к-ть супутників	Час спосте- режень, с
<i>B</i> , ___"	<i>L</i> , ___"	<i>H</i> , м			
Пункт LP-1					
08,38031	52,37284	370,907	0,004 / 0,007	1,5 / 14	5
08,38035	52,37294	370,906	0,003 / 0,005	0,8 / 14	24
08,38028	52,37294	370,905	0,003 / 0,005	0,6 / 14	21
08,38025	52,37295	370,912	0,003 / 0,004	0,5 / 14	21
08,38003	52,37285	370,906			
Пункт ZELE					
55,66016	00,63406	411,300	0,011 / 0,014	1,7 / 9	5
55,66001	00,63393	411,297	0,010 / 0,014	1,7 / 9	24
55,66007	00,63393	411,296	0,009 / 0,013	1,7 / 9	6
55,66015	00,63403	411,297	0,009 / 0,012	1,7 / 9	5
55,66017	00,63418	411,303	0,009 / 0,012	1,7 / 9	8
55,66039	00,63401	411,331			
Пункт ASTA					
17,04455	58,24010	373,984	0,009 / 0,011	1,6 / 14	42
17,04450	58,23996	373,987	0,009 / 0,011	1,2 / 15	6
17,04451	58,24013	373,985	0,010 / 0,013	1,2 / 15	1
17,04472	58,24037	374,001			

Результати спостережень у RTK-режимі у напрямку Львів–Стрий

Координати			Точність, м План./ вис.	PDOP/ к-ть супутників	Час спостережень, с
$B, \text{---}''$	$L, \text{---}''$	$H, \text{ м}$			
Пункт KRAS					
02,65096	40,11955	370,477	0,007 / 0,011	2,0 / 12	23
02,65100	40,11965	370,470	0,006 / 0,010	1,5 / 12	24
02,65108	40,11983	370,468	0,009 / 0,013	1,5 / 12	16
02,65048	40,12005	370,448	0,023 / 0,028	2,1 / 12	36
02,65044	40,11964	370,453	0,015 / 0,018	1,4 / 12	11
02,6509	40,1199	370,470			
Пункт ВІЛ1					
22,99588	35,76190	297,326	0,029 / 0,035	1,9 / 11	101
22,99591	35,76229	297,317	0,016 / 0,019	1,9 / 12	6
22,99593	35,76225	297,311	0,014 / 0,017	1,4 / 12	6
22,99602	35,76240	297,308	0,015 / 0,018	1,4 / 12	9
22,99592	35,76258	297,301	0,015 / 0,018	1,4 / 12	5
22,9962	35,7631	297,301			
Пункт STR1					
44,22537	23,83347	327,850	0,013 / 0,020	2,0 / 12	12
44,22549	23,83356	327,855	0,013 / 0,022	2,3 / 11	16
44,22556	23,83343	327,865	0,011 / 0,017	2,3 / 11	17
44,22578	23,83318	327,885	0,014 / 0,021	1,4 / 13	6
44,22583	23,83304	327,891	0,014 / 0,022	1,4 / 13	8
44,2255	23,8335	327,871			

Аналіз результатів RTK-знімання та висновки

У таблицях з результатами RTK-спостережень наведена лише незначна частина отриманих даних. Для визначення реальної точності усіх отриманих координат ми зробили так. Вважаючи координати пунктів, отримані із довготривалих статичних спостережень, “точними”, ми різниці координат $\Delta B = B^{RTK} - B^{STAT}$, $\Delta L = L^{RTK} - L^{STAT}$ та $\Delta H = H^{RTK} - H^{STAT}$ перетворили на зміну топоцентричних просторових прямокутних горизонтальних координат $\Delta n, \Delta e, \Delta u$ за допомогою таких формул:

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

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

де B, L – геодезичні координати пункту спостереження; M, N – радіус кривини меридіана та першого вертикала відповідно.

Підсумкові значення різниць координат, які характеризують точність виконаних досліджень, наведені у табл. 6.

Точність визначення координат із RTK-спостережень

Назва пункту	Відстань до базової станції, км	Різниця, м		
		Δn	Δe	Δu
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 містяться в інтервалі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{array} \right\} \div \left\{ \begin{array}{l} 6-80 \text{ см} \\ 4-35 \text{ см} \\ 10-70 \text{ см} \end{array} \right\}, \text{ коли базові станції розміщені за сотні км від пунктів спостереження,}$$

i

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{array} \right\} \div \left\{ \begin{array}{l} 1.1- 6.7 \text{ см} \\ 1.0- 2.9 \text{ см} \\ 1.6-11.6 \text{ см} \end{array} \right\}, \text{ коли базові станції на відстані до 65 км від пунктів спостереження.}$$

Для створення профілю Інтернет-з'єднання ми скористалися послугами таких мобільних операторів GPRS-послуг: Київстар, Life, МТС та Beeline [29]. Істотних переваг якогось конкретного оператора ми не відзначили, оскільки одночасно не могли працювати із усіма. Кожен оператор надавав можливість Інтернет-з'єднання, проте варто зазначити, що великий час на отримання фіксованого розв'язку (інколи до 3 хв) був пов'язаний тільки з якістю каналу GSM/GPRS зв'язку. Зазвичай 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.

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 одержаних за допомогою мультиспектральних GNSS приймачів координат залишається достатньо високою.

Література

1. Савчук С.Г., Заземленюк А.В. Деякі питання геодезичного забезпечення кадастрових робіт // Зб. наук. праць IV міжнар. наук.-прак. конф. "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід". – Чернігів: ЧДІЕУ. – 2008. – С. 58–61.
2. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – №1–2.

3. Горб А., Нежальский Р., Федоренко Р., Нестерович А. Экспериментальная оценка точности RTK-измерений // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – В.І (15). – С.118–124.
4. Горб А., Нежальский Р., Федоренко Р. Анализ точности GPS измерений в сети базовых станций // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “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 Нац. ун-ту “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 обереги. – 2007. – С.16–23.
7. Савчук С.Г., Задемленюк 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.
8. Задемленюк А. Про сучасний стан координатного забезпечення та перспективи його вдосконалення для задач кадастру // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2008. – № 70. – С. 14–21.
9. 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.
10. 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 обереги. – 2007. – С.87–91.
11. Ткаліч В., Третяк К., Тревого І., Романишин І., Серебряний Ю., Волчко П. Перспективи науково-технічної співпраці між Державною службою геодезії і картографії України і Національним університетом “Львівська політехніка” та реалізація проекту побудови Української мережі активних перманентних станцій // Зб. матеріалів XII Міжнародного науково-технічного симпозіуму “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології”, Алушта (Крим), 2008. – С.1–4.
12. Draken W. Funktion und Nutzung des SAPOS-Deutschland-Netzes // FuB. – 2005, N1. – S. 21–32.
13. SAPOS // www.sapos.de/.
14. Wübbena G., Bagge A. RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP, Version 1.0, Geo++ White Paper 2002.01 <http://www.geopp.de/download/geopp-rtcm-fkp59.pdf>.
15. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) // http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf.
16. Aktywne Sieć Geodezyjna – European Position Determination System // <http://www.asg-eupos.gov.pl>
17. Siejka Z. ASG – EUPOS wstępna ocena przydatności do pomiarów geodezyjnych czasu rzeczywistego // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – В.ІІ (16). – С.54–63.
18. EUPOS // www.eupos.org.
19. Gao, Y., Liu Z. and Liu Z. Z. Internet-based Real-time Kinematic Positioning // GPS Solutions. – 2002, Vol. 5, Nr. 3. – P. 61–69.
20. Ruizhi Chen, Xiyine Li, Georg Weber Test Results of an Internet RTK System Based on the NTRIP Protocol // http://igs.ifag.de/pdf/Chen_GNSS2004.pdf.

21. Peterzon M. Distribution of GPS-data via Internet //Reports in Geodesy and Geographical Information Systems. – Gävle. 2004. – 44 p.
22. Wegener V., Wanninger L. Communication Options for Network RTK. IAG-Working Group 4.5.1: Network-RTK// <http://www.network-rtk.info>.
23. Воробьев К.А. Спутниковые ГНСС-измерения в режиме реального времени – GSM RTK // Геопрофи. – 2008. – № 2. – С. 47–49.
24. User Registration for Ntrip Broadcasters// <http://igs.bkg.bund.de/>.
25. EUREF's Ntrip Example Implementation // http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripImplementation.pdf.
26. GNSS Internet Radio // http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/software/NtripGNSSInternetRadioWindows.exe
27. Справочное руководство по программному обеспечению Trimble Survey Controller™ версии 12.40 // www.trimble.com.
28. NetR5 GNSS Infrastructure Receiver User Guide// www.trimble.com.
29. Все про GPRS// <http://kivik.in.ua/>.

**Експериментальні дослідження точності визначення координат
методом RTK з використанням GPRS Internet-з'єднання**

С. Савчук, А. Задемленюк, А. Піскорівський

Наведено результати експериментального відпрацювання технології високоточного позиювання з використанням методу RTK. Показано можливість одержання сантиметрового рівня точності позиювання на відстані до 70 км від базової GNSS-станції. Подано результати аналізу отриманих координатних визначень у режимі реального часу порівняно з даними післясеансної обробки.

**Экспериментальные исследования точности определения координат
методом RTK с использованием GPRS Internet-соединение**

С. Савчук, А. Задемленюк, А. Пискоровский

Приведены результаты экспериментального отработывания технологии высокоточного позиционирования с использованием метода RTK. Показана возможность получения сантиметрового уровня точности позиционирования на расстоянии до 70 км от базовой GNSS-станции. Представлены результаты анализа полученных координатных определений в режиме реального времени по сравнению с данными послесеансной обработки.

**Experimental researches of accuracy of determination of coordinates by means
of method RTK with use GPRS Internet-connection**

S. Savchuk, A. Zademlenjuk, A. Piskorovsky

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.