

## УДК 528.3

О. І. ТЕРЕЩУК

Кафедра геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет, вул. Белова, 4, Чернігів, Україна, 14034, ел. пошта olexter1957@gmail.com.

## МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ВИЗНАЧЕНЬ КООРДИНАТ ПУНКТИВ РІЗНИМИ GNSS-ПРИЙМАЧАМИ

**Мета.** Метою цього дослідження передбачалося: експериментальне визначення точності координат пунктів геодезичної мережі двочастотними GNSS-приймачами різних виробників за різних умов спостережень, використовуючи RTK-технології; дослідження можливості під'єднання та отримання фіксованого розв'язку в режимі RTK за наддовгих баз (до 200 км). **Методика.** Для дослідження точності визначення координат в експериментальних роботах задіяно шість геодезичних бригад, які укомплектовувалися шістьма приймачами різних фірм-виробників. Вибір пунктів спостережень був зумовлений тими умовами, за яких, здебільшого, виконуються польові геодезичні роботи, а саме, "відкритий горизонт", "нещільна забудова" та "лісопаркова зона". Спостереження проводилися в RTK-режимі, а приймачі налаштовувалися на прийом поправок від мережі (System.NET). Для цього використовували різні технології та точки монтування, які створювали у контролерах шість конфігурацій – automax, nearest, vrs, cn, nz, kv. **Результати.** Результатами цього дослідження є: обчислена точність RTK-спостережень за різних конфігурацій на пунктів HIMV, HRAD, FORT, при цьому в опрацювання не бралися результати одного з двох приймачів Leica GX 1230GG або приймача GeoMAX; отримана точність координатних визначень залежно від віддалей між пунктами спостережень та пунктами мережі System.NET; виконаний аналіз результатів досліджень можливості під'єднання та отримання фіксованого розв'язку в режимі RTK за наддовгих баз (до 200 км); виконана перевірка гіпотези про рівність середніх для усіх можливих пар середніх значень, розрахованих за результатами вимірювань за чотирьох методів знімання – automax, nearest, vrs, cn; виконані результати обчислень фактичного та критичного значення критерію Стьюдента  $t_{0.99} = 3,332$ . **Наукова новизна.**

Аналізуючи результати досліджень, встановлено: точність координат, отримана приймачами за різних умов спостережень – різна; розроблена методика досліджень координатних визначень для різних умов спостережень, використовуючи приймачі різних виробників; запропонована симетрична програма спостережень з метою мінімізації супутніх похибок під час проведення експериментальних робіт; зауважена серед інших тенденція динаміки підвищення точності спостережень, отримана приймачем модифікації GS08; виконана перевірка гіпотези за критерієм Стьюдента свідчить про ідентичність з імовірністю 99,9 % результатів спостережень у разі вимірювання усіма конфігураціями знімання по кожній з координат X, Y, H. **Практична значущість.** Запропоновану методику можна використати під час планування кадастрових супутникових зйомок. Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати реальну точність RTK вимірювань за шести конфігурацій знімання. Залежно від призначення та необхідної точності RTK робіт можна використовувати різні точки монтування, попередньо погодивши ці питання з оператором GNSS-мережі. Якщо деякі види робіт потребують точності, достатньої для їх призначення, можна використовувати "базову" станцію, розміщену на відстані більше 100 км від району робіт. Під час планування супутникових кадастрових зйомок, по можливості, необхідно враховувати умови, за яких виконуватимуться спостереження, уникаючи "проблемних" ділянок, позаяк точність робіт зменшуватиметься. У таких випадках варто поєднувати супутникові спостереження з класичними методами проведення геодезичних робіт. У статті розглянуто методику експериментальних досліджень та наведені результати визначень координат різними GNSS-приймачами в режимі реального часу на трьох об'єктах. Встановлено, що точність координат, отриманих на об'єктах спостережень, різна. Для підвищення точності координатних визначень рекомендується уникати несприятливих умов вимірювань та завчасно розробляти методику проведення RTK-спостережень сучасними супутниковими приймачами. Підтверджена ідентичність результатів спостережень за критерієм Стьюдента.

*Ключові слова:* GPS, GNSS, референсні станції, RTK-технологія, віртуальна референтна станція (VRS).

### Вступ

Впровадження RTK (Real Time Kinematic) технології спільно з телекомунікаційними мож-

ливостями дало значний поштовх для розвитку та впровадження систем супутникового позиціонування у різні галузі, зокрема, навігації, геодезії, кадастру тощо. Сьогодні вже можна

вибирати між односистемним GPS-приймачем, двосистемним GNSS (GPS/ ГЛОНАСС) приймачем і навіть трисистемним (GPS/ГЛОНАСС/ ГАЛІЛЕО).

Сьогодні мережі RTK функціонують у багатьох країнах – у Великобританії, Фінляндії, Італії, Німеччині, Польщі, в різних частинах Америки та Австралії. Функції RTK можна реалізувати як у традиційному варіанті (кожна обрана базова станція здійснює випромінювання відповідних RTCM-повідомлень у радіусі, приблизно, 20–25 км), так і у варіанті RTK/VRS (мережевий варіант RTK), коли в реальному часі формується інформація VRS для кожного з користувачів за даними найближчих станцій мережі.

Отже, тільки збільшення частки таких робіт із застосуванням GNSS-технологій може істотно підвищити ефективність та темпи їх виконання. Саме для підвищення ефективності виконання цих робіт, їх координації, контролю, стикування результатів, аналізу і керування ходом виконання земельної реформи з боку державних органів найбільш сучасними та ефективними технологічними рішеннями є високоточні мережні технології. Наявність у будь-якому регіоні мережі станцій дає змогу забезпечити централізовану інформаційну підтримку геодезичних робіт користувачів по всій території регіону. У зоні покриття мережі користувачі одержують можливість досягнення сантиметрового рівня точності з використанням мінімального комплексу (від одного приймача) супутникового геодезичного GPS-обладнання. Організація-власник системи через провайдера послуг має можливість координувати роботи, що проводяться, контролювати, аналізувати, стикувати отримані результати для ведення загальнорегіонального реєстру тощо. Тому питання оперативності та продуктивності робіт, пов'язаних із супутниковими спостереженнями, залишаються на сьогодні актуальними та потребують подальшого розвитку.

У [Haibo H., 2014] подані короткотермінові результати кінематичного позиціонування на основі двочастотних даних мережі BeiDou/GPS. Показано, що надійність визначення координат одночастотного приймача Beidou/GPS і двочастотного Beidou під час кінематичного позиціонування є співставними з двочастотним GPS. Результати демонструють, що двочастотні Бейдоу в кінематиці в реальному часі (RTK) вже

застосовується в районах Азіатсько-Тихоокеанського регіону і що одночастотні приймачі Бейдоу/GPS RTK також забезпечують належну точність тільки під час ініціалізації до декількох секунд.

В [Tao L., 2014] проаналізована довгострокова стабільність і поточний стан змішаного приймача ISTB, а також досліджено китайську систему Beidou автономного позиціонування в режимі кінематики реального часу (RTK). Аналіз RTK позиціонування з використанням змішаного приймача показують, що ISTB може серйозно вплинути на продуктивність і поліпшити показник успішності. Аналіз використання реальних даних з трьох різних типів приймачів також демонструє довгострокову стабільність ISTB.

Для отримання сантиметрового рівня точності під час двочастотних спостережень позиціонування PPP основною проблемою є 30-хвилинне спостереження [Pan L., 2014]. При кінематичних і статичних режимах використовуються 7-денні набори даних від 178 IGS-станцій для дослідження спостережень ГЛОНАСС.

Перевірка роботоздатності GPS-приймачів має вирішальне значення у багатьох випадках. У цій статті [Drozd M., 2012] проводяться тестування GPS приймачів з використанням сигналу GPS-симулятора. На відміну від звичайного тестування, тестування з тренажерів забезпечує повний контроль імітації супутникових сигналів і моделювання умов навколишнього середовища. Це дає змогу визначити абсолютну точність положення для кожного приймача відносно будь-якого іншого. На основі виконаних тестів приводяться висновки, що сучасні приймачі Leica дають кращий результат, ніж Trimble. Вони мають кращі статистичні зведення, а також менш “чутливі” до поганої геометрії супутників і багатощляховості.

Основною високої точності взаємного місцеположення є використання вимірювань несучої фази [Srinuandee P., 2012]. Ці методи є одним з ключів до досягнення результатів високої точності позиціонування. Для успішного вирішення неоднозначності в режимі кінематичного позиціонування у роботі розглядається новий метод з використанням генетичного алгоритма (GA) порівняно із стандартною технікою обробки даних.

Головна астрономічна обсерваторія (ГАО) НАНУ у 2007 році виконувала пілотний проект [ГАО НАНУ, 2008], спрямований на впровадження в Україні сучасних високоточних супутникових технологій для забезпечення інформаційної підтримки геодезичної зйомки, кадастру, керування земельними ресурсами. Співвиконавцями проекту були – Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Національний авіаційний університет (НАУ, м. Київ) та Чернігівський державний інститут економіки і управління (ЧДЕУ, м. Чернігів).

Проведені експериментальні дослідження [Яцків Я., 2008] з використанням вимірювальної інформації мережі GPS/GNSS-станцій у м. Київ (ГАО НАНУ), м. Чернігів (ЧДЕУ), м. Прилуки Чернігівської області і тестових спостережень користувачів. Показано, що в зоні дії мережі станцій з міжбазовими відстанями 130–150 км досягається сантиметрова/субдециметрова точність координатних визначень одно- і двочастотними GPS-приймачами у режимі пост-опрацювання, а під час реалізації DGPS/RTK позиціонування в реальному часі користувачі можуть виконувати геодезичне RTK-знімання з точністю 2–5 см у радіусі 20 км щодо найближчої базової станції. Як свідчить аналіз, точність отриманого в цей період рішення становить 1,5–2 см для планових координат і 3–5 см для висотної складової.

Теоретичними і практичними питаннями отримання і передачі диференційних поправок в реальному часі, а також розвитком систем точного супутникового позиціонування займаються наукові центри Києва, Харкова, Львова, Чернігова [Горб А., 2006; Горб А., 2007; Костелька Я., 2002; Кучер О., 2005; Кучер О., 2008; Савчук С., 2008; Терещук О., 2007; Шелковенков Д., 2008; Шлапак В., 2014; Шульц Р., 2014]. Значних здобутків у цій царині досягнуто під час створення супутникових мереж, зокрема, на території Львівської [Савчук С., 2007; 2010; 2012] та Чернігівської областей [Терещук О., 2007; 2012; 2012; 2013; 2013; 2014;]. А ось у Закарпатській області вже створена перша в Україні мережа референціальних станцій ZAKPOS, яка сьогодні введена в експлуатацію та успішно працює [Калинич І., 2007; Савчук С., 2010; Savchuk S., 2008]. Це є вагомими кроками із впровадження в Україні нової високоефективної технології супутникового позиціонування.

Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Internet-з'єднання подані в [Савчук С., 2009]. Наведені результати досліджень та показана можливість одержання сантиметрового рівня точності позиціонування на відстані до 70 км від базової GNSS-станції. У [Савчук С., 2011] проведено дослідження щодо ефективності використання сигналів ГЛОНАСС за RTK-вимірювань. Попередні результати досліджень свідчать про значний ефект на малих (30 км) відстанях від базової станції. На більших відстанях (121 км) ефекту від сигналів ГЛОНАСС практично не спостерігається.

### Мета

Основною метою цієї роботи є дослідження точності визначення координат пунктів двочастотними приймачами різних виробників за різних умов спостережень, використовуючи різні режими визначення RTK-мережі.

### Методика

Експериментальні роботи з використанням RTK-мережі ми виконували у м. Чернігові на трьох пунктах міської полігонометрії (рис. 1–3).

Вибір пунктів був зумовлений здебільшого тими умовами, у яких виконуються польові геодезичні роботи на міських територіях, а саме – “відкритий горизонт” (відкрита територія – круг на виїзді з вул. Щорса), “нещільна забудова” (перехрестя пр. Миру та вул. Котляревського) та “лісопаркова зона” (урочище заповідника “озеро Святе”). Умовимося позначати у подальшому ці досліджувані об'єкти “А”, “В”, “С” відповідно.

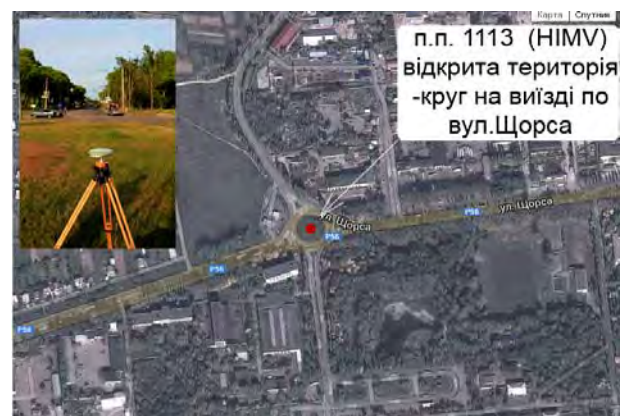


Рис. 1. Схематичне розташування пп. 1113 (Хімволокно НІМВ)

Fig. 1. Schematic location of pp. (point polygonometry) 1113 (Khimvolokno HIMV)



Рис. 2. Схематичне розташування пп. 1688 (Градецький HRAD)

Fig. 2. Schematic location of pp. 1688 (Gradetsky HRAD)

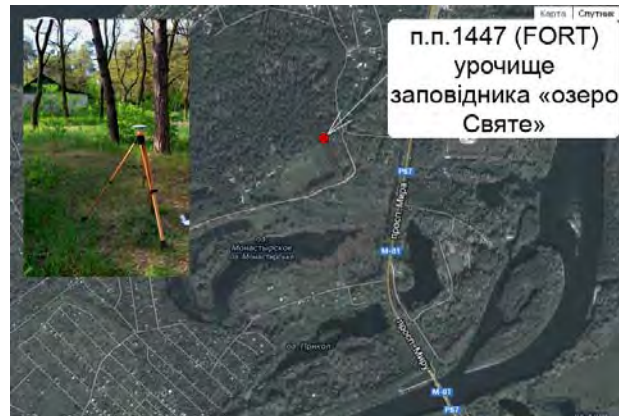


Рис. 3. Схематичне розташування пп. 1447 (Фортуна FORT)

Fig. 3. Schematic location of pp. 1447 (Fortuna FORT)

Таблиця 1

**Характеристика GNSS приймачів та антен**  
**Description of GNSS receivers and aeriels**

№ бригад	Система GNSS	Приймач	Антенa	S/N прий-мача	S/N антени
1	2	3	4	5	6
1	GPS	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472882	09280025
2	GPS+GLONASS	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472818	08480025
3	GPS+GLONASS	Leica GS08 plus	контро-лер CS-10	2526772	1850914
4	GPS+GLONASS	GeoMAX	Geomax Zenith 10		GMZ 103640003
5	GPS+GLONASS	Leica CS25	Leica Zeno GG03	206017	0242922
6	GPS	Topcon GRS1		59402027	308-21177

Супутникові спостереження на пунктах виконувалися шістьма двочастотними приймачами Leica 1230 – 2 шт, Leica GS08, Leica CS25, Topcon і Zenith. Характеристику приймачів та антен подано у табл. 1.

Розглянемо програму досліджень. Спостереження проводили у RTK-режимі, а приймачі, відповідно, налаштовували на прийом поправок від мережі System.NET. Для цього створювали у контролерах шість проектів, які мали різну конфігурацію, наприклад, присвоювали ім'я проекту – **1.a.**, перший символ назви проекту незмінний, це номер бригади, другий символ змінювався залежно від режиму (конфігурації) знімання. У проекті використовувалися **a** – (**automax**) – технологія мережевого RTK, поправки якої вираховуються одночасно від кількох базових станцій. Розроблена компанією Leica Geosystems і є базовою під час роботи в мережі System.NET.

**n** – (**nearest**) – немережева технологія, поправки отримуються від найближчої одиночної

базової станції; **v** – (**virtual reference station**) – технологія, яка створює віртуальну базову станцію в районі робіт, від координат якої відбувається розрахунок точних координат на контролері; **ch** – точка монтування (cniv); **nz** – точка монтування (nizh); **kv** – точка монтування (kvda), де (cniv), (nizh), (kvda) – поправки, отримані з точок монтування одноіменних базових перманентних станцій. Необхідність створення точок монтування на період експериментальних робіт зумовлено дослідженням можливості під'єднання та отримання фіксованого розв'язку в режимі RTK при наддовгих базах (до 200 км), її надали фахівці фірми System Solutions. Доступ до сервера мережі System.NET відбувався через протокол NTRIP, а поправки передавалися в форматі RTCMv3.

Перед початком спостережень узгоджено встановлювати у меню контролера орієнтовну кількість вимірів на точці – 30, а за статичного

режиму 3600, хоча за стандартними налаштуваннями кількість вимірів становить 5 позиціонувань для точок і 10 для вершин ліній/полігонів (тобто 5 і 10 с відповідно). Методика виконання досліджень на об'єктах "А", "В" та "С" (рис. 4) і полягала у такому.



Рис. 4. Методика виконання польових робіт на досліджуваних ділянках

Fig. 4. Carrying out's methodical of the field works on the research plots

Планувалося дослідити точність координатних визначень різними GNSS-приймачами за різних умов проведення зйомок упродовж нетривалого часу. Об'єкти досліджень розташовані в межах міста, що спростило переїзди, організацію та планування процесу вимірювань шістьма бригадами.

### Результати

Дослідження виконувались так. Спочатку на трьох пунктах розмістилися три бригади – № 1, 2, 4, які починали спостереження, решта бригад виконували спостереження на інших пунктах. Методика подальших вимірювань полягала у черговості виконання роботи, діяв принцип "віяла" – усі бригади повинні були, по черзі, виконувати спостереження у RTK-режимі на пунктах HIMV, HRAD, FORT доти, доки усі не відспостерігають кожен із трьох пунктів. Під час експериментальних досліджень мінімізувалися супутні похибки, а саме, для запобігання впливу похибки за центрування приладу, штативи були завчасно встановлені на трьох пунктах і кожна бригада для спостережень лише встановлювала антену приймача у підставку на штативі. Центрування над точкою перевірялося кожною наступною бригадою. Пункти спостереження HIMV, HRAD, FORT є пунктами міської полігонометрії, координати яких були відомі у місцевій системі координат (МСК). Усі

спостереження проводилися у системі координат СК-42/63. На цьому етапі наших досліджень необхідно було визначити координати пунктів спостережень у режимі RTK, а саме прийняти поправки у всіх конфігураціях. Час ініціалізації приймачів був різний, від декількох секунд, до двох хвилин. Під час RTK знімання кількість супутників коливалася від 4 до 18, фіксований розв'язок отримали на кожному пункті всіма приймачами, за винятком двох на пункті FORT.

Опрацювання результатів спостережень полягало у такому. Виконувалися усереднення значень координат та висот, отриманих із RTK-спостережень різними приймачами за шістьма конфігураціями на трьох експериментальних ділянках. Середні дані, отримані з чотирьох режимів – avto, near, vrs, CNIV приймалися за початкові. Для визначення реальної точності координат під час RTK-спостережень використані різниці координат між початковими та виміряними за різними конфігураціями, а саме

$$dx_i = x_{\text{Поч}} - x_i^* ; \quad (1)$$

$$dy_i = y_{\text{Поч}} - y_i^* ; \quad (2)$$

$$dh_i = h_{\text{Поч}} - h_i^* , \quad (3)$$

$$\text{де } x_{\text{Поч}} = \frac{1}{4} [ x_{i(a)} + x_{i(n)} + x_{i(v)} + x_{i(\text{CNIV})} ] ;$$

$$y_{\text{Поч}} = \frac{1}{4} [ y_{i(a)} + y_{i(n)} + y_{i(v)} + y_{i(\text{CNIV})} ] ;$$

$$h_{\text{Поч}} = \frac{1}{4} [ h_{i(a)} + h_{i(n)} + h_{i(v)} + h_{i(\text{CNIV})} ] ;$$

$x_i^*, y_i^*, h_i^*$  – значення координат, вимірянні за різних конфігурацій.

Далі розраховувалась точність RTK-спостережень за різних конфігурацій для трьох досліджуваних ділянок. У табл. 3, як приклад, наведено результати обчислень на пункті пп. 1113 (HIMV).

Аналізуючи дані табл. 3, можемо констатувати, що переважно усі прилади, які використовували під час проведення експериментальних досліджень, показали майже однакові результати. Фактично, приладова точність визначення координат оцінюється за даними наших досліджень до  $\pm 15$  мм.

Щодо самої точності проведених досліджень за різних конфігурацій, то тут спостерігаються певні зміни величин  $dx_i, dy_i, dh_i$ , які харак-

теризують координатні відхилення. Так, під час вимірюваньх Leica GS08 plus у режимі точки монтування “KVDA” з віддаллю понад 110 км відхилення у планових координатах становлять уже 0,051–0,082 м, а у висотних – 0,191 м. Значні розбіжності під час спостережень на лісопарковій території (FORT) для точки монтування “NIZN”, що сягають від -0,940 до 0,621 та по висоті -0,281 м, на нашу думку, пояснюються перш за все залісеністю території та значним радіус-вектором до точки монтування, близько 60 км.

Під час спостережень на пункті пп. 1113 (HIMV) на відкритій місцевості отримані результати виявилися такими – з чотирьох приладів слід відзначити два, згадану вище Leica GS08 та Topcon GRS1. Як бачимо, точність визначення

координат практично однакова для двох приймачів і сягає від декількох міліметрів у плані та по висоті під час спостережень у режимах avto, near, vrs, CNIV. За конфігурацій “NZ” та “KV” зауважуємо пониження точності від -0,103 до 0,128 м у плані і до 0,193 м по висоті. Так, під час роботи з Leica CS25 у всіх режимах спостережень точність визначення координат становить у плановому відношенні від -0,186 до 0,184 м і 0,175 м по висотній складовій. Ми також відбракували спостереження за усіх шести конфігурацій, отриманих приймачем Zenith на пп. 1447, хоча на інших пунктах – виміри приймачем цілком задовільні. Зауважимо, що двома приймачами Leica GX 1230 GG і Topcon GRS1 не отримано фіксованого розв’язку на цьому пункті.

Таблиця 3

**Середньо-квадратична похибка RTK спостережень за різних конфігурацій на пункті пп. 1113 (HIMV)  
An average quadratic inaccuracy of RTK observations among different configurations at the point pp. 1113 (HIMV)**

Прилад/бригада	$m_{x,y}$ , м	$m_h$ , м	Конфіг./Познач.	avto, м	near, м	vrs, м	CN, м	NZ, м	KV, м
Leica GS08 Plus/3	0,0028	0,0088	$dx_i^3$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0299	-0,0538
			$dy_i^3$	0,0006	0,0006	0,0010	-0,0008	-0,0008	0,0824
			$dh_i^3$	-0,0012	-0,0012	-0,0012	0,0018	0,0881	0,1927
Leica GX 1230 GG/1	0,0069	0,0096	$dx_i^1$	0,0062	0,0062	-0,0083	0,0026	-0,0175	Немає розв’язку
			$dy_i^1$	-0,0022	-0,0022	0,0004	0,0028	0,0047	
			$dh_i^1$	0,0111	0,0111	-0,0100	-0,0037	0,0519	
Topcon GRS1/6	0,0035	0,0053	$dx_i^6$	0,0015	0,0015	-0,0035	-0,0005	-0,1035	-0,1275
			$dy_i^6$	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0030	0,1340	-0,0010
			$dh_i^6$	0,0023	0,0023	-0,0008	0,0002	0,1142	0,0362
Leica CS25/5	0,0092	0,0131	$dx_i^5$	-0,1397	-0,1397	0,1034	0,0198	0,0247	0,0248
			$dy_i^5$	-0,1859	-0,1859	-0,1867	0,1843	0,1820	0,1852
			$dh_i^5$	0,1754	0,1754	0,0248	-0,1038	-0,1050	-0,0976

Таблиця 4

**Середньо-квадратична похибка координатних визначень за різними RTK-конфігураціями  
An average quadratic inaccuracy of coordinate determination different RTK configurations**

Познач.	automax	nearest	VRS	CN	NZ	KV
$dx$	0.0139	0.0386	0.0403	0.0091	0,0533	0,0726
$dy$	0.0126	0.0498	0.0616	0.0097	0,0664	0,0518
$dh$	0.0128	0.0717	0.0452	0.0124	0,0246	0,1045

Можливо, причиною є використання приймачами однієї із систем, а саме GPS, тоді як інші приймачі приймали сигнали ще й від ГЛОНАСС. Середні величини розбіжностей координат на забудованій території становлять від -0,030 до 0,027 м і -0,068 м. Далі у табл. 4 наведено узагальнені дані точності координатних визначень за різними конфігураціями.

Дані табл. 4 свідчать про прогнозованість отриманих результатів координатних визначень за різних конфігурацій спостережень, а саме, їх певну залежність від віддалі. Зауважимо високу точність координатних визначень від 0,009 до 0,0124 м, отриманих від перманентної станції CNIV (Чернігів).

Виконаємо також перевірку гіпотези про рівність середніх для усіх можливих пар середніх значень, розрахованих за результатами вимірювань за чотирма методами знімання: а – (automax), v – (vrs), n – (nearest), CNIV.

Нульова гіпотеза  $H_0$ : середні значення рівні однакові.

Конкуруюча гіпотеза  $H_1$ : середні значення не однакові.

Фактичне значення  $t$  – критерію Стьюдента для кожної пари показників  $x_i$  та  $x_j$  обчислюємо за формулою (3):

$$t_{ij(\text{факт})} = \frac{|\bar{x}_i - \bar{x}_j|}{\sqrt{\frac{\sigma_i^2}{n_i} + \frac{\sigma_j^2}{n_j}}}, \quad (4)$$

де  $\bar{x}_i, \bar{x}_j$  – середні значення відповідних показників,  $\sigma_i, \sigma_j$  – їх середні квадратичні відхилення від середнього значення.

Для кожного з пунктів спостереження пп. 1113, пп. 1447, пп. 1688 розрахунки здійснюємо окремо по кожній з координат  $x, y, h$ . Далі розраховані фактичні значення порівнюємо з критичними за відповідної кількості ступенів свободи. Якщо фактичне значення не перевищує критичне, то приймається нульова гіпотеза (середні значення рівні). Якщо фактичне значення більше від критичного, то нульова гіпотеза відхиляється і приймається альтернативна гіпотеза (середні не однакові).

Обираємо рівень значущості  $\alpha = 0,001$ , тобто, достовірність результатів становить 99,9%. Дані та результати розрахунків для координати  $x$  подано у табл. 5, 6. Аналогічні обчислення виконані для решти координат  $y$  та  $h$ .

Прикладом аналізу розрахунків наведено дані спостережень на пункті пп. 1113. Оскільки кількість вимірів становила по 30 у кожному з режимів спостережень, маємо результати від чотирьох бригад у кількості  $n = 4 \cdot 30 = 120$ . Тому кількість вимірювань для кожного показника у кожному випадку становить 120.

Аналізуючи результати обчислень, наведених у табл. 5, 6, а також виконані для решти координат, зауважимо, що критичне значення  $t$  – критерію Стьюдента за обраного рівня

Таблиця 5

**Виміряні значення координати  $x$  для пункту пп. 1113**  
**The measured values of the  $x$  coordinate for point pp. 1113**

Познач.	a	n	v	CNIV
3 бриг.	104,2140	104,2147	104,2152	104,2160
1 бриг.	104,2216	104,2150	104,2295	104,2186
6 бриг.	104,2290	104,2300	104,2350	104,2320
5 бриг.	104,2239	104,3801	104,1370	104,2206
Середн.	104,2221	104,2600	104,2042	104,2218
СКВ	0,0054	0,0696	0,0395	0,0061

Примітка: СКВ – середнє квадратичне відхилення

Таблиця 6

**Результати розрахунків фактичних значень  $t$ -критерію**  
**The results of calculations of actual values of  $t$ -criterion**

Познач.	a	n	v	CNIV
a	0,0000	1,0830	0,9016	0,0797
n	1,0830	0,0000	1,3936	1,0914
v	0,9016	1,3936	0,0000	0,8830
CNIV	0,0797	1,0914	0,8830	0,0000



значущості  $\alpha = 0,001$  та числа ступенів свободи  $120 + 120 - 2 = 238$  становить  $t_{\alpha} = 3,332$ . Оскільки усі фактичні значення  $t$  – критерію Стюдента менші від критичного, то з імовірністю 99,9 % можна стверджувати про рівність (ідентичність) результатів вимірювань координат  $X, Y, H$  усіма чотирма конфігураціями знімання.

### Наукова новизна та практична значущість

Отримані під час дослідження координатні визначення пунктів міської мережі RTK-технологією дають підґрунтя для твердження, що точність результатів спостережень приймачами різних виробників за змодельованих умов на ділянках можуть бути різними. Розроблена методика спостережень передбачала використання шести приймачів, які отримували RTK-поправки від перманентної мережі в шести конфігураціях. Отримані результати відтворюють певні закономірності впливу поправок від віддалі до базової станції (точок монтування) та різних умов спостережень.

Вбачається, що отримані результати можуть слугувати для вдосконалення програми і методики подальших досліджень точності кінематичних визначень координат за допомогою RTK-технологій.

### Висновки

На основі виконаних досліджень визначень координат у режимі RTK різними приймачами в умовах, які найчастіше трапляються під час вимірюваннях, зроблені узагальнені висновки про позитивні результати роботи GPS-приймачів на експериментальних ділянках. Зауважена тенденція підвищення точності спостережень, отримана, зокрема приймачем модифікації GS08.

Під час планування супутникових кадастрових зйомок необхідно враховувати умови, за яких виконуватимуться роботи, а саме, по можливості, уникати “проблемних” ділянок, позаяк точність робіт зменшуватиметься. У таких випадках варто поєднувати супутникові спостереження з класичними методами проведення геодезичних робіт.

Проведені експериментальні дослідження дали змогу отримати реальну точність RTK-

вимірювань за шести конфігурацій знімання. Залежно від призначення та точності RTK-робіт можна використовувати різні точки монтування, попередньо погодивши ці питання з оператором RTK-мережі. Якщо деякі види робіт потребують точності, достатньої для їх призначення, можна використовувати “базову” станцію, розміщену на відстані більше ніж 100 км від району робіт.

Виконана перевірка гіпотези за критерієм Стюдента свідчить, що результати спостережень під час вимірювань усіма конфігураціями знімання по кожній з координат  $x, y, h$  можна вважати ідентичними з імовірністю 99,9 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Горб А. Анализ точности GPS измерений в сети базовых станций / А. Горб, Р. Нежальский, Р. Федоренко // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2006. – С. 97–102.
- Горб А. Использование метода анализа иерархий для оптимального выбора канала информационного обмена в локальной сети GPS-станций / А. Горб, А. Прокопов, Р. Нежальский // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – Вип. II (14). – С. 118–122.
- Гурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
- Інформаційно-вимірювальна GNSS система та мережна VRS технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок у Закарпатті та Чернігівщині // Заключний звіт про виконання науково-технічного проекту, ГАО НАНУ, грудень 2007 р., 185 с., 4 додатки.
- Калинич І. В. Проектування супутникової системи координатного забезпечення задач земельного кадастру на прикладі Закарпатського регіону / І. В. Калинич, С. Г. Савчук, К. Р. Третяк // Зб. наук. праць міжнар. конф. “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів: Чернігівські береги, 2007. – С. 87–91.
- Костецька Я. Про врахування впливу тропосфери на результати GPS спостережень / Я. Костецька, І. Торопа // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Ліга-прес, 2002. – С. 89–93.
- Кучер О. Супутникові радіонавігаційні спостереження при реалізації геодезичної референцної



- системи координат України – УСК 2000 / О. Кучер, Б. Лепетюк, Ю. Стопхай, І. Засць, С. Савчук // Вісник геодезії та картографії. – К., 2005. – Вип. 5.
- Кучер О. Впровадження державної геодезичної референцної системи координат України – УСК-2000 / О. Кучер, Ю. Стопхай, Р. Висотенко, О. Ренкевич. // Зб. наук. праць міжнар. конф. “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2008. – Вип. 4. – С. 25–30.
- Савчук С. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Інтернет з’єднання / С. Савчук, А. Задеменюк, А. Піскорівський // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009. – Вип. I (17). – С. 58–69.
- Савчук С. Використання технології віртуальних референцних станцій для координатного забезпечення геодезичних та кадастрових робіт / С. Савчук, Р. Гошовський // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2010. – Вип. 11 (20). – С. 102–107.
- Савчук С. Г. Нові технології створення координатної основи для кадастрових робіт / С. Г. Савчук, А. В. Задеменюк // Зб. матер. наук.-практ. конф. “Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та лісовпорядкуванні”. – Ужгород, 2008. – С. 16–18.
- Савчук С. Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2007. – Вип. 69. – С. 20–33.
- Савчук С. Дослідження точності визначення координат базової GNSS-станції Львівського національного аграрного університету / С. Савчук, В. Петак, С. Перій // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2012. – Вип. 2 (24). – С. 51–56.
- Савчук С. Г. Методика і попередні результати експериментальних досліджень ефективності використання сигналів GLONASS під час RTK вимірювань / С. Г. Савчук, В. Б. Керкер // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2011. – Вип. 75. – С. 25–30.
- Савчук С. Перша мережа активних референцних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи становлення та початок діяльності / С. Савчук, І. Проданець, І. Калинич // Геопрофіль. – К., 2010. – С. 16–23.
- Терещук О. Проект мережі активних перманентних GPS-станцій Північного регіону України / О. Терещук, С. Савчук // Зб. наук. праць міжнар. конф. “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2007. – С. 16–23.
- Терещук О. Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України / Я. Яцків, О. Терещук, І. Нисторьяк та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2012. – Вип. I (23). – С. 38–40.
- Терещук О. Третя на Чернігівщині перманентна GPS-станція / Я. Яцків, О. Терещук, О. Хода, І. Нисторьяк, В. Кулик. // Вісник геодезії та картографії. – К., 2012. – № 2. – С. 18–19.
- Терещук О. Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині / О. Терещук, І. Нисторьяк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів, 2013. – П(26). – С. 58–61.
- Терещук О. I. Аналіз GNSS – спостережень у Північному регіоні України / О. I. Терещук, I. O. Нисторьяк // Містобудування і територіальне планування. – 2013. – № 48. – С. 443–451.
- Терещук А. Предварительные результаты GNSS-наблюдений на пунктах геодезической сети северного региона Украины / А. Терещук, И. Нисторьяк, А. Жалило, А. Желанов // Вестник СГГА. – 2014. – № 25–26.
- Шелковенков Д. Результаты экспериментальных исследований реализации DGPS/RTK-режиму спутникового позиционирования з використанням NTRIP-технології / Д. Шелковенков, О. Желанов, О. Жалило, В. Шокало, В. Кондратюк, М. Литвин, С. Флерко, В. Черевко // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – Вип. I (15). – С. 125–132.
- Шлапак В. Исследование отечественной технологии обработки и анализа GNSS-наблюдений / В. Шлапак, А. Терещук, И. Нисторьяк, А. Жалило, А. Желанов, И. Дицкий, Е. Бессонов // Известия высших учебных заведений. Серия Геодезия и аэрофотосъемка, 2014.
- Шульц Р. В. Архитектура современных систем мониторинга на базе GNSS-технологий / Р. В. Шульц, А. А. Анненков, А. И. Терещук // Инженерные изыскания. – 2014. – № 2–3.
- Яцків Я. С. Інформаційно-вимірвальна GNSS система та мережна VRS технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок / Я. С. Яцків, В. П. Харченко, В. М. Шокало,

- О. І. Терещук, О. О. Жаліло, В. М. Кондратюк, О. М. Лук'янов, М. О. Литвин, Д. О. Шелковенков, О. В. Куценко, О. О. Желанов, О. В. Грінченко, М. О. Газнюк, Є. В. Вишнякова // Зб. наук. праць міжнар. наук.-практ. конф. "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та земле-впорядкування – Європейський досвід". – Чернігів: Чернігівські обереги, 2008. – Вип. 4. – С. 5–24.
- Haibo He, Jinlong Li, Yuanxi Yang, Junyi Xu, Hairong Guo, Aibing Wang. Performance assessment of single- and dual-frequency BeiDou/GPS single-epoch kinematic positioning // (July 2014), GPS Solutions.
- Magdalena Drózd, Ryszard Szpunar. GNSS RECEIVER ZERO BASELINE TEST USING GPS SIGNAL GENERATOR//ARTIFICIAL SATELLITES, Vol.47, No.1–2012, DOI:10.2478/v1001801200101 Department of Geodesy and Carography, Warsaw University of Technology//Pl. Politechniki 1, 00-661 Warsaw m.drozd@gik.pw.edu.pl, r.szpunar@gik.pw.edu.pl.
- Panithan Srinuandee, Chalermchon Satirapod, Clement Ogaja and Hung-Kyu Lee/OPTIMIZATION OF SATELLITE COMBINATION IN KINEMATIC POSITIONING MODE WITH THE AID OF GENETIC ALGORITHM//ARTIFICIAL SATELLITES. – Vol. 47. – No 2. – 2012 DOI: 10.2478/v10018-012-0012-z.
- Pan Li, Xiaohong Zhang. Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning//GPS Solut (2014). – Vol. 18. – No 3. – P. 461–471.
- Savchuk S. Creation of ZAKPOS active Network Reference Stations for Transcarpatian Region of Ukraine / S. Savchuk, I. Kalynych, I. Prodanets // International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. – Berlin, 11–14 November 2008. EUPOS Presentations.
- Tao Li, Jinling Wang, Denis Laurichesse. Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization // GPS Solut (2014). – Vol. 18. – No 3. – P. 429–442.
- Інтернет ресурс мережі ZAKPOS. – Режим доступу: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>. 33. Інтернет ресурс мережі SMARTNET LEICA GEOSYSTEMS. – Режим доступу: [http://smartnet.leicageosystems.us/coverage\\_network.cf](http://smartnet.leicageosystems.us/coverage_network.cf).

#### А. И. ТЕРЕЩУК

Кафедра геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет, ул. Белова, 4, Чернигов, Украина, 14034, ел. почта olexter1957@gmail.com.

#### МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ КООРДИНАТ ПУНКТОВ РАЗНЫМИ GNSS-ПРИЕМНИКАМИ

**Цель.** Целью настоящего исследования предполагалось: экспериментальное определение точности координат пунктов геодезической сети двухчастотных GNSS приемниками различных производителей при различных условиях наблюдений, используя RTK-технологии; исследование возможности подключения и получения фиксированного решения в режиме RTK при сверхдлинных базах (до 200 км). **Методика.** Для исследования точности определения координат в экспериментальных работах было задействовано шесть геодезических бригад, укомплектовывались шестью приемниками различных фирм-производителей. Выбор пунктов наблюдений был обусловлен теми условиями, при которых, в основном, выполняются полевые геодезические работы, а именно, "открытый горизонт", "неплотная застройка" и "лесопарковая зона". Наблюдения проводились в RTK-режиме, а приемники настраивались на прием поправок от сети System.NET. Для этого использовали различные технологии и точки монтирования, которые создавали в контроллерах шесть конфигураций – automax, nearest, vrs, cn, nz, kv. **Результаты.** Результатами данного исследования являются: исчисленная точность RTK наблюдений при различных конфигурациях на пунктах NIMV, HRAD, FORT, при этом в разработку не принимались результаты одного из двух приемников Leica GX 1230GG и приемника GeoMAX; полученная точность координатных определений в зависимости от расстояний между пунктами наблюдений и пунктами сети System.NET; выполнен анализ результатов исследований возможности подключения и получения фиксированного решения в режиме RTK при сверхдлинных базах (до 200 км); выполнена проверка гипотезы о равенстве средних для всех возможных пар средних значений, рассчитанных по результатам измерений при четырех конфигурациях съема – automax, nearest, vrs, cn; выполнены результаты вычислений фактического и критического значения критерия Стьюдента. **Научная новизна.** Анализируя результаты исследований, установлено: точность координат, полученная приемниками при различных условиях наблюдений – разная; разработана методика исследований

координатных определений для различных условий наблюдений, используя приемники различных производителей; предложена симметричная программа наблюдений с целью минимизации сопутствующих погрешностей при проведении экспериментальных работ; замечена среди других тенденция динамики повышения точности наблюдений, полученная приемником модификации GS08; выполнена проверка гипотезы по критерию Стьюдента свидетельствует об идентичности с вероятностью 99,9 % результатов наблюдений при измерениях всеми конфигурациями съемка по каждой из координат XY, H. **Практическая значимость.** Предложенная методика может быть использована при планировании кадастровых спутниковых съемок. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить реальную точность RTK измерений при шести конфигурациях съемки. В зависимости от назначения и требуемой точности RTK работ можно использовать различные точки монтирования, предварительно согласовав эти вопросы с оператором GNSS сети. Если некоторые виды работ требуют точности, достаточной для их назначения, можно использовать “базовую” станцию, размещенную на расстоянии более 100 км от района работ. При планировании спутниковых кадастровых съемок, по возможности, необходимо учитывать условия, при которых будут выполняться наблюдения, избегая “проблемных” участков, поскольку точность работ уменьшаться. В таких случаях следует сочетать спутниковые наблюдения с классическими методами проведения геодезических работ. В статье рассмотрена методика экспериментальных исследований и приведены результаты наблюдений различными GNSS-приемниками в режиме реального времени на трех объектах. Установлено, что точность координат, полученных на объектах наблюдений, разная. Для повышения точности координатных определений рекомендуется избегать неблагоприятных условий измерений и заранее разрабатывать методику проведения RTK-наблюдений современными спутниковыми приемниками. Подтверждена идентичность результатов наблюдений по критерию Стьюдента.

*Ключевые слова:* GPS, GNSS, референсные станции, RTK-технология, VRS.

O. I. TERESHCHUK

Kafedra of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernigov National Technological University, Belova str., 4, Chernihiv, Ukraine, 14034, Email olexter1957@gmail.com

#### METHODS AND RESULTS OF RESEARCH KINEMATIC DETERMINATIONS OF THE DIFFERENT GNSS-RECEIVERS

**Purpose.** This study assumed: experimental determination of the accuracy of coordinates of points of the geodetic network dual-frequency GNSS receivers from different manufacturers under different conditions of observations using RTK-technology; study connectivity and receiving a fixed solution RTK mode with extra-long bases (200 km). **Methods.** To investigate the accuracy of the coordinates in the experimental work were involved six surveying crews ukomplektovuvалysya six receivers of different manufacturers. The choice of observation points was due to those conditions under which, for the most part, performed field mapping, namely, “open horizon”, “loose construction” and “forest park zone”. The observations were made in RTK-mode, and the receiver tuned to receive corrections from the network System.NET. For this purpose, different technologies and mount points that are created in six configurations controllers – automax, nearest, vrs, cn, nz, kv. **Results.** The results of this study are: the calculated precision RTK observations with different configurations at points HIMV, HRAD, FORT, while in the study did not take the results of one of the two receivers Leica GX 1230GG and receiver GeoMAX; obtained precision coordinate definitions depending on the distances between points of observation points and network System.NET; the analysis of research results connectivity and obtain a fixed solution in RTK mode with extra-long bases (200 km); tested the hypothesis of equality of means for all possible pairs of mean values calculated from measurements of the four configurations removal – automax, nearest, vrs, cn; results of calculations made factual and critical Student’s t test; **Scientific novelty.** Analyzing the results of the research revealed: the accuracy of the coordinates obtained by receivers under different conditions of observations – different; Studies developed a method of coordinate definitions for different observations using receivers of different manufacturers; symmetric proposed program of observations in order to minimize errors associated with conducting experimental work; observed among the trends in increasing the accuracy of the observations obtained receiver modification GS08; testing the hypothesis made by Student’s test indicates identity with a probability of 99.9% of the results of observations in the measurements capture all configurations for each of the coordinates X, Y, H. **The practical significance.** The technique can be used when planning inventory satellite surveys. Experimental studies yielded real precision RTK measurements in six configurations removal. Depending on the purpose and the required accuracy RTK work can use

different mount points, after agreeing on these issues with the operator GNSS network. If some jobs require precision sufficient for their purpose, you can use the “base” station, placed at a distance of over 100 km from the area of work. When planning a satellite cadastral surveys, if possible, it is necessary to consider the conditions under which observations will be performed, avoiding “problem” areas, because the accuracy of the work will diminish. In such cases it is necessary to combine satellite observations with classical methods for surveying. V paper the methodology of experimental studies and observations are different GNSS-receivers in real time at three sites. It is established that the accuracy of the coordinates obtained at the sites of observation is different. To improve the accuracy of the coordinate definitions are advised to avoid unfavorable conditions measurements and advance design methodology for RTK-modern observation satellite receivers. Confirmed the identity of the results of observations of Student’s test.

*Key words:* GPS, GNSS, referents station, RTK-technology, VRS.

#### REFERENCES

- Gorb A., Nezhalskij R., Fedorenko R. Analiz tochnosti GPS izmerenij v seti bazovyh stancij [Analysis of the accuracy of GPS measurements in the network of base stations]. Zb. nauk. pr. “Suchasni dosjagnennja geodezichnoi nauki ta virobniictva” [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu “Lvivska politehnika”, 2006, pp. 97–102.
- Gorb A., Prokopov A., Nezhalskij R. Ispolzovanie metoda analiza ierarhij dlja optimalnogo vybora kanala informacionnogo obmena v lokal’noj seti GPS stancij [Using the analytic hierarchy process for optimum selection of the channel for information exchange in the local GPS network stations]. Zb. nauk. pr. “Suchasni dosjagnennja geodezichnoi nauki ta virobniictva” [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu “Lvivska politehnika”, 2007, V. II (14), pp. 118–122. Gurman V. E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaja shkola, 1972, 368 p.
- Informatsiino-vymiriuvalna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiia zabezpechennia heodezychnykh i kadastryvykh ziomok u Zakarpatti ta Chernihivshchyni [Information-measuring system and network GNSS VRS technology providing geodetic and cadastral surveying in our region and Chernihiv]. Zakliuchnyi zvit pro vykonannya naukovo-tekhnichnoho proektu [Final report on the implementation of scientific and technological project], HAO NANU, december 2007. 185 p., 4 apps.
- Kalynych I. V., Savchuk S. H., Tretiak K. R. Proektuvannia suputnykovoi systemy koordynatnoho zabezpechennia zadach zemelnogo kadastru na prykladi Zakarpatskoho rehionu [Design of satellite systems coordinate tasks of providing land registry as an example of the Transcarpathian region]. Zb. nauk. prats mizhnar. konf. “Novitni dosiahnennia heodezii, heoinformatyky ta zemlevporiadkuvannia. Yevropeiskyi dosvid” [Latest achievements geodesy, geoinformatics and land management – the European experience]. Chernihiv, Chernihivski oberehy, 2007, pp. 7–91.
- Kostetska Ya., Toropa I. Pro vrakhuvannia vplyvu troposfery na rezultaty GPS sposterezhen [On account of influence of the troposphere on GPS observations results]. Zb. naukovykh prats “Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva” [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo “Liha-pres”, 2002, pp. 89–93.
- Kucher O., Lepetiuk B., Stopkhai Yu., Zaiets I., Savchuk S. Suputnykovi radionavihatsiini sposterezhenia pry realizatsii heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat Ukrainy – USK 2000 [Satellite radio navigation in the implementation of geodetic observation system referentsnoyi koor-dynat Ukraine – USC 2000 ]. Visnyk heodezii ta kartohrafii [Journal of Geodesy and Cartography]. Kyiv, 2005, Vyp. 5.
- Kucher O., Stopkhai Yu., Vysotenko R, Renkevych O. Vprovadzhennia derzhavnoi heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat Ukrainy. USK-2000 [Implementation of state geodetic coordinate system referentsnoyi Ukraine. USC 2000]. Zb. nauk. prats mizhnar. konf. “Novitni dosiahnennia heodezii, heoinformatyky ta zemlevporiadkuvannia. Yevropeiskyi dosvid” [Latest achievements geodesy, geoinformatics and land management – the European experience]. Chernihiv, Chernihivski oberehy, 2008, Vyp. 4, pp. 25–30.
- Savchuk S., Zademleniuk A., Piskorovskyi A. Eksperymentalni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat metodom RTK z vykorystanniam GPRS Internet ziednannia [Experimental study of accuracy of the coordinates by RTK using GPRS Internet connection]. Zb. nauk. pr. “Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva” [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu “Lvivska politehnika”, 2009, Vyp. I (17), pp. 58–69.

- Savchuk S., Hoshovskyi R. Vykorystannia tekhnolohii virtualnykh referentsnykh stantsii dlia koordynatnoho zabezpechennia heodezychnykh ta kadastryvykh robit [Using virtual reference stations to coordinate maintenance and cadastral surveying]. Zb. nauk. pr. "Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva" [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2010, Vyp. 11 (20), pp. 102–107.
- Savchuk S. H., Zademleniuk A.V. Novi tekhnolohii stvorennia koordynatnoi osnovy dlia kadastryvykh robit [New technologies create the coordinate basis for cadastral]. Zb. mater. nauk.-prakt. konf. "Novi tekhnolohii v heodezii, zemlevporiakovanni ta lisovporiadkuvanni" [New technologies in geodesy, zemlevporiakovanni and forest inventory]. Uzhhorod, 2008, pp. 16–18.
- Savchuk S.H. Problemni pytannia pid chas vykorystannia suchasnykh suputnykovykh tekhnolohii vyznachennia koordynat [Problematic issues when using modern satellite technology determine the coordinates]. Zb. nauk. pr. "Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva" [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2007, vyp. 69, pp. 20–33.
- Savchuk S., Petak V., Perii S. Doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat bazovoi GNSS-stantsii Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Investigation of the accuracy of GNSS-coordinate base station Lviv National Agrarian University]. Zb. nauk. pr. "Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva" [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2012, V. 2 (24), pp. 51–56.
- Savchuk S.H., Kerker V.B. Metodyka i poperedni rezultaty eksperymentalnykh doslidzen efektyvnosti vykorystannia syhnaliv GLONASS pid chas RTK vymiriuvan [Methodology and preliminary results of experimental research efficiency GLONASS signals during RTK measurements]. Zb. nauk. pr. "Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva" [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2011, V. 75, pp. 25–30.
- Savchuk S., Prodanets I., Kalynych I. Persha merezha aktyvnykh referentsnykh stantsii v Ukraini ZAKPOS. Etapy stanovlennia ta pochatok diialnosti [The first network of active reference stations in Ukraine ZAKPOS. Stages of formation and the beginning of activity]. Heoprofyl. Kyiv, 2010, pp. 16–23.
- Tereshchuk O., Savchuk S. Proekt merezhi aktyvnykh permanentnykh GPS-stantsii Pivnichnoho rehionu Ukrainy. [Project active network of permanent GPS-stations of the Northern region of Ukraine]. Zb. nauk. prats mizhnar. konf. "Novitni dosiahnennia heodezii, heoinformatyky ta zemlevporiadkuvannia. Yevropeyskyi dosvid" [Latest achievements geodesy, geoinformatics and land management – the European experience]. Chernihiv, Chernihivski oberehy, 2007, pp. 16–23.
- Tereshchuk O., Yatskiv Ya., Nystoriak I. Persha GNSS-kampaniia u Pivnichnomu rehioni Ukrainy [First GNSS-campaign in the northern regions of Ukraine]. Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, issue I(23), 2012, pp. 38–40.
- Tereshchuk O., Yatskiv Ya., Khoda O., Nystoriak I., Kulyk V. Tretia na Chernihivshchyni permanentna GPS-stantsiia [First GNSS-campaign in the northern regions of Ukraine]. Visnyk heodezii ta kartohrafii [Journal of Geodesy and Cartography]. Kyiv, 2012, No. 2, pp. 18–19.
- Tereshchuk O., Nystoriak I. Poperedni rezultaty ta analiz GNSS-sposterezhen na Chernihivshchyni [Preliminary results and analysis of GNSS-observations in Chernihiv]. Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva: Zbirnyk naukovykh prats. Lviv, 2013, issue II(26), pp. 58–61.
- Tereshchuk O.I., Nystoriak I. Analiz GNNS – sposterezhen u Pivnichnomu rehioni Ukrainy [Analysis GNNS-observations in the Northern region of Ukraine]. Mistobuduvannia i terytorialne planuvannia [Town planning and spatial planning]. 2013, No. 48, P. 443–451.
- Tereshhuk A., Nystoriak I., Zhalilo A., Zhelanov A. Predvaritel'nye rezul'taty GNSS-nabljudenij na punktah geodezicheskoi seti severnogo regiona Ukrainy [Preliminary results of the GNSS-observations on the points of the geodetic network of the northern region of Ukraine]. Vestnik SGGU, 2014, No. 25–26.
- Shelkoviakov D., Zhelanov O., Zhalilo O., Shokalo V., Kondratiuk V., Lytvyn M., Flerko S., Cherevko V. Rezultaty eksperymentalnykh doslidzen realizatsii DGPS/RTK rezhymu suputnykovoho pozytsionuvannia z vykorystanniam NTRIP-tekhnolohii [The results of experimental research implementation of DGPS / RTK mode satellite positioning using NTRIP-technology]. Zb. nauk. pr. "Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva" [Recent advances in geodetic science and industry]. Lviv, Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2008, V.I (15), pp. 125–132.
- Shlapak V., Tereshhuk A., Nystoriak I., Zhalilo A., Zhelanov A., Dickij I., Bessonov E. Issledovanie otechestvennoj tehnologi obrabotki i analiza GNNS-nabljudenij [Investigation of domestic processing and analysis of GNNS-

- observations]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija Geodezija i ajerofotosemka [News of higher educational institutions. A series of Geodesy and aerial photography], 2014.
- Shul'c R. V., Annenkov A. A., Tereshhuk A. I. Arhitektura sovremennyh sistem monitoringa na baze GNSS-tehnologij [The architecture of modern monitoring systems based on GNSS-technology]. Inzhenernye izyskanija [Engineering surveys]. 2014, No. 2–3.
- Yatskiv Ya. S., Kharchenko V. P., Shokalo V. M., Tereshchuk O. I., Zhalilo O. O., Kondratiuk V. M., Lukianov O. M., Lytvyn M. O., Shelkoviencov D. O., Kutsenko O. V., Zhelanov O. O., Hrinchenko O. V., Hazniuk M. O., Vyshniakova Ye. V. Informatiino-vymiriuvalna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiia zabezpechennia heodezychnykh i kadastryvkh ziomok [Information-measuring system and network GNSS VRS technology providing geodetic and cadastral surveying ]. Zb. nauk. prats mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Novitni dosiahnennia heodezii, heoinformatyky ta zemlevporiadkuvannia – Yevropeiskyi dosvid" [Latest achievements geodesy, geoinformatics and land management – the European experience]. Chernihiv, Chernihivski oberehy, 2008, Vyp. 4, pp. 5–24.
- Haibo He, Jinlong Li, Yuanxi Yang, Junyi Xu, Hairong Guo, Aibing Wang. Performance assessment of single- and dual-frequency BeiDou/GPS single-epoch kinematic positioning // (July 2014), GPS Solutions.
- Magdalena Drózd, Ryszard Szpunar. GNSS receiver zero baseline test using GPS signal generator/artificial satellites, Vol.47, No.1–2012, DOI:10.2478/v1001801200101 Department of Geodesy and Carography, Warsaw University of Technology//Pl. Politechniki 1, 00-661 Warsaw m.drozd@gik.pw.edu.pl, r.szpunar@gik.pw.edu.pl.
- Panithan Srinuandee, Chalermchon Satirapod, Clement Ogaja and Hung-Kyu Lee/ Optimization of satellite combination in kinematic positioning mode with the aid of genetic algorithm // Artificial Satellites, Vol. 47, No. 2, 2012, DOI: 10.2478/v10018-012-0012-z.
- Pan Li, Xiaohong Zhang. Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning // GPS Solut (2014), Vol.18, No. 3, pp. 461–471.
- 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.
- Tao Li, Jinling Wang, Denis Laurichesse. Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization // GPS Solutions (2014), Vol. 18, No. 3, pp. 429–442.
- Internet resources network ZAKPOS. – Mode of access: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>. 33 Internet resources network SMARTNET Leica Geosystems – Mode of access: [http://smartnet.leicageosystems.us/cove-rage\\_network.cf](http://smartnet.leicageosystems.us/cove-rage_network.cf)

Надійшла 05.11.2014 р.