

УДК 528.3

*Олексій Терещук, Іван Нисторяк***ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ***Алексей Терещук, Иван Нисторяк***ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ GNSS-НАБЛЮДЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ***Oleksiy Tereshchuk, Ivan Nystoriak***MODERN TECHNOLOGIES OF PROCESSING AND RESULTS ANALYSIS OF GNSS-OBSERVATIONS ON THE REGIONAL LEVEL**

*Досліджено різні програмні комплекси та технології оброблення даних статичного й кінематичного позиціонування за результатами супутникових спостережень, отриманих у межах GNSS-кампанії регіонального рівня.*

*Зауважено, що існує незначна залежність точності позиціонування статичного ровера, який перебуває в зоні покриття мережі, від міжбазової відстані до 100 км. Експериментально показано, що при одночастотному кінематичному позиціонуванні в зоні мережі з міжбазовими відстанями до 150 км, а від найближчої базової станції – 50–90 км, похибки координатного визначення становили ~1-3 см у плані і ~3-5 см по висоті. За межами зони покриття цієї мережі похибки позиціонування становили ~4-6 см і ~8-10 см відповідно.*

*За результатами опрацювання одночастотних і двочастотних координатних розв'язків, отриманих на пунктах Державної геодезичної мережі, подано рекомендації щодо застосування досліджуваних програмних комплексів обробки.*

**Ключові слова:** референційні станції, роверні пункти, GNSS-спостереження, оброблення результатів.

*Рис.: 2. Табл.: 6. Бібл.: 22.*

*Исследовано различные программные комплексы и технологии обработки данных статического и кинематического позиционирования по результатам спутниковых наблюдений, полученных в рамках GNSS-кампании регионального уровня.*

*Замечено, что существует незначительная зависимость точности позиционирования статического ровера, который находится в зоне покрытия сети, от межбазового расстояния до 100 км. Экспериментально показано, что при одночастотном кинематическом позиционировании в зоне сети с межбазовыми расстояниями до 150 км, а от ближайшей базовой станции – 50–90 км, погрешности координатного определения составили ~1-3 см в плане и ~3-5 см по высоте. За пределами зоны покрытия сети погрешности позиционирования составляли ~4-6 см и ~8-10 см соответственно.*

*По результатам обработки одночастотных и двухчастотных координатных решений, полученных на пунктах Государственной геодезической сети, даны рекомендации по применению исследуемых программных комплексов обработки.*

**Ключевые слова:** референционные станции, роверные пункты, GNSS-наблюдения, обработка результатов.

*Рис.: 2. Табл.: 6. Библ.: 22.*

*Different software systems and data processing technology of static and kinematic positioning satellite observations by the results obtained in the framework of GNSS-regional campaigns.*

*Notes that there are few dependence accuracy static positioning rover, which is in coverage area, from distance of 100 km. Experimentally shown that the single-kinematic positioning in the area of network distances up to 150 km, and from the nearest base station – 50–90 km coordinate determination error amounted to ~1,3 cm in the plan and ~3-5 cm in height. Outside this network positioning errors were ~4-6 cm and ~8-10 cm respectively.*

*As a result of processing of single and dual-frequency coordinate solutions obtained in points of state geodetic network, provides guidance on the use of software for processing investigated.*

**Key words:** reference station, rover points, GNSS-observations, processing results.

*Fig.: 2. Tab.: 6. Bibl. 22.*

**Постановка проблеми.** Для досягнення оптимальних результатів опрацювання спостережень на сучасному етапі розвитку супутникових технологій координатного забезпечення існує ще багато проблем, пов'язаних з дослідженням та впровадженням сучасних методів оброблення та аналізу GNSS-спостережень різними програмними комплексами. Подальші вирішення цих актуальних проблемних питань матимуть практичне втілення під час використання координат станцій для високоточних вимірювань у геодезії, землевпорядкуванні та кадастрі [2, 20], оцінці зміни положень станцій з часом, регіональних особливостях локальних спостережень тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останнього десятиліття фахівці, які виконують роботи із землеустрою та кадастру, переконалися у тому, що супутникові технології мають велике майбутнє, адже їх можна використовувати для визначення

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

координат у ході геодезичного забезпечення, зокрема землевпорядних та кадастрових робіт. Оброблення GNSS-спостережень вважається одним з головних кроків до точного визначення просторових координат точок на поверхні Землі.

На сьогодні сучасні супутникові технології координатного забезпечення, точне позиціонування і моніторинг навколишнього середовища посідають провідне місце [16] як при дослідженні глобальних геодинамічних процесів [7; 10; 11; 17], так і на локальному рівні – у вирішенні актуальних завдань геодезії, землевпорядження, кадастру, точного землеробства тощо [1; 3; 5; 9; 13; 14]. У цій статті розглядаються GNSS-спостереження, які були проведені нами GNSS-кампанії за розробленою методикою на 16 пунктах ДГМ, розташованих і згрупованих навколо населених пунктів Чернігів, Прилуки, Борзна, Короп і Козелець [7; 16].

Оброблення отриманих GNSS-вимірів виконувалася фахівцями ГАО НАН України та співробітниками лабораторії супутникових технологій точного позиціонування Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) [3]. Фахівці ЧНТУ й ХНУРЕ мають значний досвід спільного співробітництва, отриманий за час виконання інноваційних технічних проектів під керівництвом Головної астрономічної обсерваторії НАН України [4; 18].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Продовжуючи і надалі поглиблювати наукові здобутки у напрямку дослідження ефективності застосування супутникових технологій, удосконалення методик спостережень та їх оброблення фахівці Чернігівського національного технологічного університету (до 2014 року ЧДІЕУ) провели у Північному регіоні України GNSS-кампанію з метою проведення аналізу та вивчення можливостей впровадження програмних комплексів оброблення даних статичного й кінематичного позиціонування. Врахування впливу зовнішнього середовища на точність визначення планових координат [15] дасть можливість виконати дослідження локальних питань стійкості пунктів ДГМ [4] на регіональному рівні для цілей землеустрою та кадастру [5]. Детальна програма експериментальних дослідницьких робіт подана в [6; 8; 16].

**Мета.** Метою цієї роботи є апробація сучасних програмних комплексів та технологій оброблення даних статичного й кінематичного позиціонування та рекомендації щодо їх застосування, отриманих за результатами супутникових спостережень у межах GNSS-кампанії регіонального рівня.

**Виклад основного матеріалу.** Методика оброблення GNSS-спостережень виконувалася таким чином.

На першому етапі, використовуючи сучасний програмний комплекс ПК OCTAVA [1], були виконані роботи з оцінювання якості кодових та фазових спостережень, що дало можливість усунути циклічні фазові зміни, відновити безперервність фазових спостережень тощо.

На другому етапі за допомогою одно- та двочастотного методів оброблення спостережень [3] виконані роботи з визначення координат пунктів та оцінки їх точності відносно референцних станцій. Далі методика опрацювання полягала у визначенні точності координат станцій і роверних пунктів з використанням ліцензійного програмного забезпечення ПК «GrafNav/ GrafNet» (NovAtel Inc. Waypoint, Канада) [19; 22]. На заключному етапі передбачалося виконати порівняльний аналіз отриманих результатів.

Попереднє оброблення GNSS-спостережень була виконана за допомогою програмного комплексу «OCTAVA». Під час оброблення використовувалися точні оцінки ефемерид супутників у форматі SP3, які надаються міжнародним службою IGS. Кут маскування у поєднанні оброблення був рівним 10 градусам.

В обробку були включені спостереження від 16 роверних пунктів і трьох референцних станцій CNIV, PRYL і KORP.

Попереднє оброблення оцінки якості первинної вимірювальної інформації та аналіз графічного матеріалу, отриманого на основі результатів перших та других координатних рішень, діаграм радіовидимості супутників, зміни DOP-факторів, багатопроменевості і рівня шуму кодових та фазових спостережень на частотах L1 / L2 на кожному з пунктів дали можливість констатувати таке:

- на пунктах BRZN1, BRZN2, KORO1, KORO2, KОРP1, KОРP3 у місцях встановлення антен спостерігається підвищений рівень багатопроменевості (понад 2 м);
- на пунктах BRZN1, BRZN2 підвищений рівень багатопроменевості при кутах нижче 30° (2–4 м).

Зазначимо, що високий рівень багатопроменевості в усіх напрямках надходження радіосигналів (5–6 м) спостерігається на пунктах KORO1, KОРP1 й KОРP3, а також відчутна значна кількість пропусків у цих спостереженнях.

Для наочності аналізу приведемо графічний матеріал за результатами оброблення спостережень на одному із роверних пунктів – KОРP1 (рис. 1).

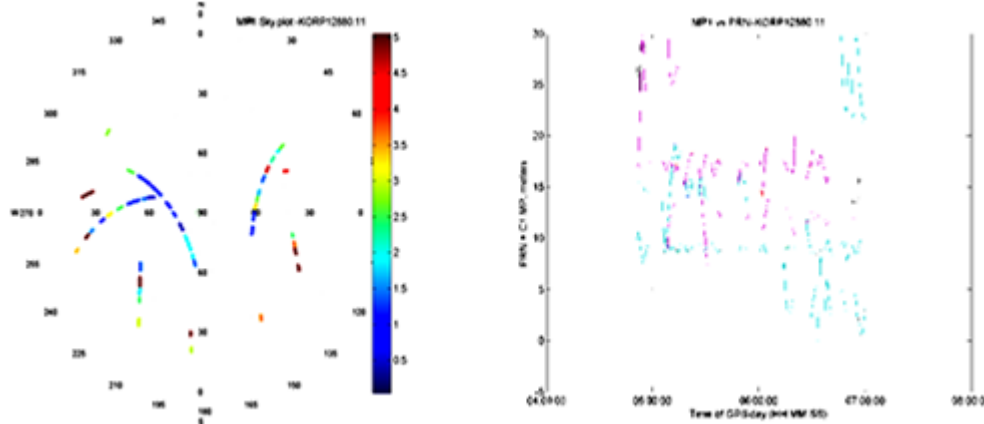


Рис. 1. Багатопроменевість та рисунок неба на частоті L1 для пункту KОРP1

Як бачимо, для цього пункту значно підвищений рівень багатопроменевості, що проглядається і на рисунку неба на частотах L1&L2. Такі результати, на нашу думку, пов'язані з несприятливими умовами спостережень, оскільки пункт KОРP1 розташовувався у густому лісі, а його зовнішній знак являв собою 24 метрову (!) металеву піраміду.

Зважаючи на те, що описані причини стосувалися й інших двох пунктів, було прийняте рішення щодо відбракування цих сеансів спостережень, оскільки при такій «якості» досягнути надійного розв'язку фазової неоднозначності (РФН) та отримати сантиметрову точність позиціонування практично неможливо.

Тому з подальшого оброблення дані спостережень на цих трьох пунктах були вилучені, а решта файлів вимірювань на референцних станціях і спостереження на 13 роверних пунктах ДГМ прийняті до опрацювання.

Після попереднього оброблення GNSS-вимірів нами визначалися координати та виконувалася оцінка точності роверних пунктів щодо станцій CNIV, PRYL і KОРP одно- і двочастотним методами при використанні ПК «ОСТАВА».

Такий комплекс дозволяє формувати масиви первинних спостережень мереж базових станцій і роверів, що пройшли попереднє оброблення, скажімо, у поширеному форматі RINEX, до яких надалі можуть застосовуватися різні методи точного позиціонування. Водночас, кінцеві продукти попереднього оброблення можуть бути дуже цінними як для операторів мереж базових станцій, що використовують дані центрів оброблення, так і користувачів, таких як наукові і навчальні заклади, компанії, що виконують геодезичні, кадастрові й інші види робіт з використанням GNSS та ін.

Користувачі, по-перше, можуть покращувати якість отримуваних ними результатів за рахунок використання початкових даних, в яких вірогідність появи аномалій у кодо-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вих або фазових спостереженнях значно понижена. По-друге, оцінки якості первинної вимірювальної інформації, такі як, наприклад, рівень багатопроменевих і шумових похибок кодових спостережень, можуть допомогти у підборі GNSS-апаратури та місць розташування приймальних антен на досліджуваних пунктах. По-третє, користувачам може бути доступна повна інформація про вимірювальний сеанс, включаючи дані про інтервали безперервності фазових спостережень з метою розширення або доповнення функціональних можливостей алгоритмів і програм координатного забезпечення.

Також для оброблення координатних визначень роверних пунктів ми застосовували ПК «GrafNav/GrafNet».

Програмний комплекс NovAtel GrafNav/GrafNet [22] використовується для оброблення статичних і кінематичних GNSS (GPS + ГЛОНАСС) вимірювань. Комплекс працює в операційній системі Windows і володіє простим, але водночас зручним інтерфейсом, який дозволяє швидко, точно і надійно обробляти «сирі» супутникові вимірювання. Обробляючи одночасно вимірювання мобільного (кінематичного) приймача і до 8 базових станцій, пакет дозволяє з високою точністю обчислювати координати точок під час сеансу спостережень. Можливе оброблення як одночастотних (L1) і двочастотних (L1/L2), так і спільних GPS + ГЛОНАСС даних.

За еталонні (опорні) приймалися координати референцних станцій, які отримані під час оброблення мережі перманентних станцій України фахівцями ГАО НАНУ із застосуванням ПК «Bernese GPS Software ver. 5.0».

Цей програмний комплекс розроблений Астрономічним інститутом Бернського університету (AIUB, м. Берн, Швейцарія) у 2006 р і дозволяє обробляти як кодові, так і фазові GNSS-спостереження з використанням частот L1 та L2. Одно- та двочастотні спостереження можуть оброблятися одночасно, а також є можливість використання моделі, що зменшує вплив іоносферної рефракції на визначення координат станцій та інших параметрів. Результат оброблення дає можливість отримати з високою точністю координати станцій, параметри орбіт супутників, поправки до годинників на супутниках та на приймачах, тропосферну рефракцію тощо.

Отримані координати базових референцних станцій представлені нижче в табл. 1. Тут і надалі у статті координати пунктів подаються як умовні.

Таблиця 1

Координати базових референцних станцій

	CNIV	PRYL	KORP
$X_{,м}$	3397785,1360	3425673,1167	3333261,3393
$Y_{,м}$	2066990,6699	2174035,5205	2161383,9548
$Z_{,м}$	4969811,7107	4905000,0062	4973310,1469
B, град	50,592152805	51,518939232	51,569642609
L, град	32,400444185	31,313601267	32,960552747
H, м	172,578	176,026	163,299

Значення координат базових станцій KORP та PRYL, отриманих за результатами оброблення з використанням програмних комплексів ПК «ОСТАВА»[1] та ПК «Bernese GPS Software ver. 5.0» [21] подамо у вигляді:  $(X_K^{OCT}); (Y_K^{OCT}); (Z_K^{OCT}); (X_P^{OCT}); (Y_P^{OCT}); (Z_P^{OCT})$  – значення координат базових станцій Короп і Прилуки, отриманих у результаті обробки ПК «ОСТАВА»;  $(X_K^{BRN}); (Y_K^{BRN}); (Z_K^{BRN}); (X_P^{BRN}); (Y_P^{BRN}); (Z_P^{BRN})$  - значення

координат базових станцій Короп і Прилуки, отриманих у результаті обробки ПК «Bernese GPS Software ver. 5.0».

Запишемо систему рівнянь (1) для двох базових станцій:

$$\begin{aligned} \delta X_K &= (X_K^{OCT}) - (X_K^{BRN}); & \delta X_P &= (X_P^{OCT}) - (X_P^{BRN}); \\ \delta Y_K &= (Y_K^{OCT}) - (Y_K^{BRN}); & \delta Y_P &= (Y_P^{OCT}) - (Y_P^{BRN}); \\ \delta Z_K &= (Z_K^{OCT}) - (Z_K^{BRN}); & \delta Z_P &= (Z_P^{OCT}) - (Z_P^{BRN}). \end{aligned} \quad (1)$$

Такі ж дії виконаємо для географічних координат (табл. 2):

Таблиця 2

Похибки визначення координат базових референцих станцій

Базові станції	$\delta X_i$ , м	$\delta Y_i$ , м	$\delta Z_i$ , м	$\Delta B^\circ$	$\Delta L^\circ$	$\Delta H$ , м
KORP	-0,0120	-0,0067	-0,0179	0,0018	0,0009	-0,0198
PRYL	0,0162	-0,0100	0,0139	0,0047	-0,0171	0,0188

Аналізуючи значення табл. 2, зауважуємо, що точність визначення координат базових станцій, на яких виконувалися добові спостереження, становить 1–2 см у плановому та висотному положенні, що свідчить про добру збіжність результатів оброблення двома незалежними програмними комплексами.

Далі виконувалось оброблення спостережень на роверних пунктах з використанням ПК «ОСТАВА» відносно референцих станцій CNIV, PRYL та KORP. Оброблення результатів виконували також із застосуванням програмного комплексу «GrafNav/GrafNet».

Далі розглянемо (табл. 3) формування рівниць координатних визначень для роверних пунктів у процесі оброблення результатів програмним комплексом «ОСТАВА» та «GrafNav/GrafNet». Для цього запишемо:

$$\begin{aligned} \delta X_j &= X_j^{OCT} - X_j^{GN/GN}; \\ \delta Y_j &= Y_j^{OCT} - Y_j^{GN/GN}; \\ \delta Z_j &= Z_j^{OCT} - Z_j^{GN/GN}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $X_j^{GN/GN}$ ;  $Y_j^{GN/GN}$ ;  $Z_j^{GN/GN}$  – координатні визначення роверних пунктів за допомогою програмного комплексу «GrafNav/GrafNet»;  $X_j^{OCT}$ ;  $Y_j^{OCT}$ ;  $Z_j^{OCT}$  – координатні визначення роверних пунктів за допомогою програмного комплексу «ОСТАВА».

Таблиця 3

Відхилення координат роверних пунктів («ОСТАВА») відносно («GN/GN»)

Пункт	$\delta X_j$	$\delta Y_j$	$\delta Z_j$	$\Delta B^\circ_j$	$\Delta L^\circ_j$	$\Delta H_j$ , м
BRZN1	0,0128	-0,0306	-0,0246	-0,0005	-0,0495	-0,0272
BRZN2	0,0021	-0,0041	-0,0018	0,0014	-0,0046	0,0011
BRZN3	-0,0185	-0,0198	-0,0122	0,0149	-0,0069	-0,0233
CNIV1	0,0045	-0,0081	0,0024	0,0040	-0,0093	0,0046
CNIV2	-0,0109	-0,0037	-0,0038	0,0088	0,0025	-0,0069
CNIV3	-0,0081	0,0036	0,0020	0,0076	0,0073	0,0015
KORP2	-0,0080	-0,0077	-0,0042	0,0082	-0,0022	-0,0073
KOZL1	0,0077	-0,0143	0,0062	-0,0080	-0,0077	-0,0042
KOZL2	-0,0212	-0,0115	0,0053	0,0240	0,0011	-0,0088
KOZL3	-0,0083	-0,0105	-0,0086	0,0063	-0,0047	-0,0120
KORO2	-0,0016	-0,0090	-0,0071	0,0026	-0,0067	-0,0068
PRYL1	0,0067	-0,0147	0,0007	0,0042	-0,0160	0,0016
PRYL2	-0,0085	-0,0056	-0,0070	0,0055	-0,0002	-0,0093

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Аналіз отриманих результатів обробки GNSS-спостережень двочастотним методом за допомогою двох програмних комплексів (табл. 3-4) говорить, що похибки у визначеннях координат роверних пунктів  $\delta X_j$ ,  $\delta Y_j$ ,  $\delta Z_j$  в цілому незначні та мало відрізняються від попередніх, становлячи, в середньому від 1 до 2–3 см. Такі величини розбіжностей можна характеризувати як інструментальну точність вимірювань, що свідчить про ефективність застосування ПК «ОСТАВА» поряд з відомими сучасними комплексами обробки GNSS-спостережень.

У подальшому розглянемо результати оброблення GNSS-спостережень пунктів в одночастотному режимі. Оброблення припускало визначення координат (й оцінювання їх точності) пунктів мережі відносно референціальних станцій CNIV, PRYL і KORP в одночастотному режимі. Аналіз проводився для пунктів: BRZN2, BRZN3, KOZL2.

Метод одночастотного оброблення вимірів припускає використання GNSS-спостережень від мережі референціальних станцій, які розташовані в районі проведення супутникових спостережень [7]. У процесі оброблення GNSS-вимірів у мережі референціальних станцій формуються мережні поправки (виправлення), які використовуються під час оброблення спостережень роверних пунктів.

У процесі планування спостережень та для вивчення подальших можливостей сучасної технології оброблення супутникових спостережень нами була сформована модель мережі GNSS-пунктів [4]. Базову основу мережі формували референціальні станції CNIV, PRYL, KORP. З метою дослідження особливостей оброблення результатів вимірів при інтерполяції, так і при екстраполяції мережних поправок – два роверні пункти BRZN2 і BRZN3 були обрані усередині мережі, а один KOZL2 – за її межами.

Координати роверних пунктів отримувалися тричі – від кожної із референціальних станцій окремо. Оброблення спостережень роверів виконувалось у статичному й кінематичному режимах.

Нижче подана почерговість оброблення GNSS-спостережень:

– оброблення у двочастотному режимі GNSS-спостережень референціальних базових станцій для подальшого формування мережних іоносферних виправлень(поправок) з використанням комплексу «ОСТАВА» на базових лініях: «PRYL-CNIV», «KORP-CNIV», «PRYL-KORP»;

– порівняння результатів координатних визначень роверних пунктів двочастотним статичним методом відносно базових референціальних станцій з використанням ПК «ОСТАВА» і ПК GrafNav/ GrafNet;

– координатні визначення роверних пунктів одночастотним статичним та кінематичним методами відносно референціальних станцій з використанням ПК «ОСТАВА»;

– аналіз отриманих результатів.

Було обчислено значення координат роверних пунктів, отриманих під час оброблення спостережень одночастотним статичним методом та відносно базових референціальних станцій виконані двочастотним методом з використанням ПК «GrafNav/GrafNet». Потім проведені порівняння цих значень з координатами, отриманими під час оброблення спостережень одночастотним статичним методом з використанням ПК «ОСТАВА», а саме:

$$\begin{aligned} \delta X_i &= X_i^{OCT} - X_i^{GN/GN}; \\ \delta Y_i &= Y_i^{OCT} - Y_i^{GN/GN}; \\ \delta Z_i &= Z_i^{OCT} - Z_i^{GN/GN}. \end{aligned} \quad (3)$$

та представлені в табличному вигляді (табл. 4).

Відхилення значень координат базових пунктів «ОCTAVA» – «GrafNav/GrafNet»

Пункт	Лінія, км	$\vartheta X_{i\text{ м}}$	$\vartheta Y_{i\text{ м}}$	$\vartheta Z_{i\text{ м}}$	$(\Delta B_i)_{GN/GN}^{OCT}$ м	$(\Delta L_i)_{GN/GN}^{OCT}$ м	$(\Delta H_i)_{GN/GN}^{OCT}$ м
Відносно CNIV							
BRZN2	86,2	0,008	0,002	0,007	0,001	-0,002	0,013
BRZN3	68,5	-0,014	-0,015	-0,001	0,017	-0,005	-0,010
KOZL2	75	-0,020	-0,005	0,023	0,032	0,006	0,007
Відносно KORP							
BRZN2	53	0,014	0,010	0,023	0,003	0,001	0,032
BRZN3	67	-0,024	-0,019	-0,013	0,019	-0,003	-0,027
KOZL2	145,6	-0,010	0,007	0,047	0,036	0,011	0,035
Відносно PRYL							
BRZN2	69	0,003	-0,001	-0,007	-0,003	-0,002	-0,001
BRZN3	72	-0,031	-0,018	-0,026	0,014	0,001	-0,040
KOZL2	87,8	-0,021	-0,008	0,008	0,024	0,004	-0,005

Використовуючи значний за обсягом матеріал досліджень ми також дослідили відхилення та виконали порівняння між одночастотними ( $\nu$ ) і двочастотними ( $\omega$ ) методами обчислення координат пунктів:

$$\begin{aligned}\sigma X_i &= (X_i^{OCT})_{\nu} - (X_i^{OCT})_{\omega}; \\ \sigma Y_i &= (Y_i^{OCT})_{\nu} - (Y_i^{OCT})_{\omega}; \\ \sigma Z_i &= (Z_i^{OCT})_{\nu} - (Z_i^{OCT})_{\omega}.\end{aligned}\quad (4)$$

Значення  $\sigma_i$  і  $\Delta_i$  як різниць координат, отриманих за двома методами, подані в табл. 5.

Таблиця 5

Відхилення значень координат отриманих з одночастотного і двочастотного методів

Пункт	Лінія, км	$\sigma X_{i\text{ м}}$	$\sigma Y_{i\text{ м}}$	$\sigma Z_{i\text{ м}}$	$\Delta B_{i\text{ м}}$	$\Delta L_{i\text{ м}}$	$\Delta H_{i\text{ м}}$
Відносно CNIV							
BRZN2	86,2	0,006	0,006	0,009	-0,001	0,003	0,012
BRZN3	68,5	0,005	0,005	0,011	0,003	0,002	0,013
KOZL2	75	0,001	0,007	0,017	0,008	0,005	0,016
Відносно KORP							
BRZN2	53	0,002	0,004	0,001	-0,003	0,002	0,003
BRZN3	67	-0,007	0,001	0,006	0,008	0,004	0,001
KOZL2	145,6	0,017	0,002	0,009	-0,006	-0,007	0,016
Відносно PRYL							
BRZN2	69	0,006	0,004	-0,001	-0,006	0,001	0,005
BRZN3	72	0,002	0,004	0,013	0,006	0,002	0,012
KOZL2	87,8	0,008	0,004	-0,001	-0,007	-0,001	0,006

Оброблення GNSS-спостережень у кінематичному режимі здійснювалось аналогічно опрацюванню статистичних даних. Для досліджуваних роверних пунктів було виконано оцінювання похибок одночастотних кінематичних визначень координат у межах стандартних ймовірнісних довірчих інтервалів. З огляду на значні за обсягом дані, у цій роботі в табл. 6 ми вибірково наводимо статистичні характеристики похибок кінематичного позиювання для одного з трьох пунктів, довжини векторів між якими збільшуються, а саме BRZN2 – KORP (53 км); KOZL2 – PRYL (87,8 км); KOZL2 – KORP (145,6 км).

Таблиця 6

Статистичні характеристики похибок кінематичного позиціонування для пункту BRZN2 (відносно KORP)

Позначення	База «BRZN2-KORP», 53 км			
	Середні значення	P=68% (RMS)	P=95%	P=99,7%
$\Delta X$ , м	0,014	0,027	0,058	0,082
$\Delta Y$ , м	0,009	0,021	0,038	0,044
$\Delta Z$ , м	0,023	0,042	0,102	0,173
$\Delta B$ , м	0,004	0,034	0,059	0,112
$\Delta L$ , м	0,022	0,014	0,026	0,076
$\Delta H$ , м	0,031	0,050	0,087	0,158

З цих же міркувань представлення графічних інтерпретацій результатів як нев'язок координатних визначень, отриманих під час оброблення GNSS-вимірів в одно- і двочастотному режимі, подаються нами на рис. 2, для пункту BRZN2 відносно базової референційної станції CNIV.

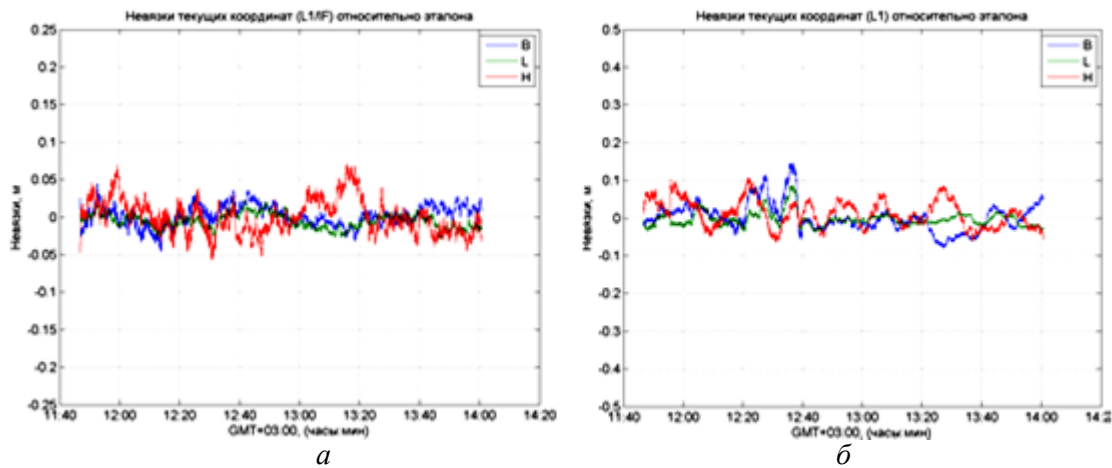


Рис. 2. Нев'язки координат пункту BRZN2 щодо опорних, отримані у двочастотному (а) і одночастотному (б) режимах оброблення

У результаті попереднього оброблення та оцінювання якості інформації різними програмними комплексами та технологіями статичного й кінематичного позиціонування можна зробити такі висновки.

**Висновки і пропозиції.** Під час проведення попереднього оброблення GNSS-вимірів в одно- і двочастотному режимі необхідно аналізувати результати перших та других координатних рішень, діаграм радіовидимості супутників, зміни DOP-факторів, багатопроменевості і рівня шуму кодових та фазових спостережень на частотах L1/L2. Неврахування цих факторів та значної кількості пропусків спостережень не дасть очікуваних результатів щодо сантиметрової точності визначення місцеположення.

Тому надійний розв'язок фазової неоднозначності (РФН) та отримання високої точності координатних визначень можливий при вчасному вилученні з подальшого оброблення тих вимірювань, які можуть суттєво спотворювати кінцеві результати.

Зауважено також, що для статичного ровера, що перебуває в зоні покриття мережі та прилеглих до неї районах, точність координатного визначення мало залежить від значення базової/ міжбазової відстані (до 150 км). Це пов'язано з тим, що функціональна модель спостережень, яка використовується, дозволяє точно оцінити залишкові похибки компенсації інтерполяції/екстраполяції варіацій іоносферних затримок, які зростають зі збільшенням міжбазових відстаней.

Досліджено, що одночастотний метод статичного позиціонування дозволяє отримувати координатні визначення рівноточні з двочастотним методом позиціонування. Так,



розбіжності між одночастотним і двочастотним розв'язками не перевищили 1 см у планових координатах і 1,6 см – у висотних, а розбіжності оцінок із двочастотним (L1&L2) розв'язком, отриманим з використанням досліджуваних програмних комплексів, лежать у межах 1-3 см за трьома координатами. Базові відстані при цьому були в межах від 53 км (база «BRZN2-KORP») до 145,6 км (база «KOZL2-KORP»). Зауважимо, що надійний розв'язок фазової неоднозначності досягається щоправда при часі безперервних спостережень ~30-45 хвилин.

Як видно, у кінематичному режимі вимірів точність позиціонування залежить від довжин базових ліній між станціями, від стану іоносфери, сезону, часу доби та ін. Важливу роль відіграє положення роверів відносно станцій мережі, які формують мережні поправки. Якщо ровер перебуває за межами зони дії мережі і вирішується завдання екстраполяції корекцій, то похибки компенсації іоносферних варіацій помітно зростають у порівнянні з випадком, коли ровери перебувають усередині зони, яку утворюють референсні станції. При одночастотному кінематичному позиціонуванні в зоні мережі з міжбазовими відстанями до 150 км, а від найближчої станції – 50–90 км, то похибки координатного визначення становили ~1-3 см у плані і ~3-5 см по висоті. За межами зони покриття цієї мережі похибки становили ~4-6 см і ~8-10 см відповідно. Для надійного розв'язку фазової неоднозначності (РФН) кінематичних спостережень потрібні виміри протягом ~50-60 хвилин.

Аналізуючи результати оброблення спостережень на пунктах ДГМ досліджено також, що СКП координат пунктів, отриманих різними сучасними програмними комплексами, становлять у середньому  $m_{x,y,z} \approx 0,009$  м, що свідчить про їх добру збіжність за результатами оброблення. Зважаючи на це, програмні комплекси для оброблення супутникових спостережень, розглянуті та проаналізовані у статті, можна рекомендувати до використання як рівнозначні за точністю.

#### Список використаних джерел

1. Жалило А. А. Программно-алгоритмическое обеспечение предварительной обработки GPS/EGNOS-наблюдений “ОСТАВА\_PPA”: концепция построения, характеристики, приложения и результаты тестирования / А. А. Жалило, Н. В. Саданова, Д. А. Шелковенков // Труды II Международного радиоэлектронного форума (МРФ-2005) «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития»; Международная конференция по системам локации и навигации (МКЛСН-2005), 19–23 сентября 2005 г. – 2005. – Т. 2. – С. 528–531.
2. Крячок С. Д. Зрівноваження полігонометричних мереж, побудованих зустрічними ходами / С. Д. Крячок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 108–114.
3. Основные результаты разработок исследовательской группы ХНУРЭ/ГАО НАНУ в области высокоточного GNSS-позиционирования в период с 2002–2011 гг. / А. А. Жалило, А. А. Желанов, Д. А. Шелковенков, И. В. Дицкий, Е. А. Бессонов // Геодезия и картография. – 2012. – № 12. – С. 38–50.
4. Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України / О. Терещук, Я. Яцків, І. Нисторяк та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – № 1 (23). – С. 38–40.
5. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторяк // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
6. Предварительные результаты GNSS-наблюдений на пунктах геодезической сети Северного региона Украины / А. Терещук, И. Нисторяк, А. Жалило, А. Желанов // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 29–38.
7. Терещук О. І. Активні GNSS-мережі та регіональна геодинаміка / О. І. Терещук, С. Г. Савчук, І. О. Нисторяк // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядку-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вання – Європейський досвід : зб. наукових праць VII Міжнар. наук.-практ. конф. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2011. – С. 79–80.

8. *Терещук О. І.* Аналіз GNSS-спостережень у Північному регіоні України / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // Містобудування і територіальне планування. – 2013. – № 48. – С. 443–451.

9. *Терещук О. І.* Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.

10. *Терещук О. І.* Вплив геофізичних факторів на високоточні супутникові спостереження / О. І. Терещук // Вісник Криворізького технічного університету. – 2010. – Вип. 26. – С. 74–77.

11. *Терещук О. І.* До питання про опрацювання часових рядів довготривалих безперервних GNSS-спостережень / О. І. Терещук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – №. 2. – С. 67–70.

12. *Терещук О. І.* Досвід використання GNSS-технологій при створенні цифрових моделей рельєфу / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : зб. наукових праць VIII Міжнар. наук.-практ. конф. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2012. – С. 12–16.

13. *Терещук О. І.* Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN / Олексій Терещук, Іван Нисторяк // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 130–140.

14. *Терещук О.* Проект мережі активних перманентних GPS-станцій Північного регіону України / Терещук О., Савчук С. // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2007. – С. 16–23.

15. *Терещук О. І.* Дослідження похибок впливу зовнішнього середовища на точність планових координат при GNSS-спостереженнях у Північному регіоні / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід: Зб. наукових праць IX міжнар. наук.-практ. конф. - Чернігів: ЧДІЕУ, 2013. – С. 12-18.

16. *Терещук О.* Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині / О. Терещук, І. Нисторяк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013. – Вип. 11 (26). – С. 58–61.

17. *Терещук О. І.* Сучасні супутникові технології у дослідженні геодинамічних процесів / О. І. Терещук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – № 72. – С. 49–53.

18. *Третя* на Чернігівщині перманентна GPS-станція / Я. Яцків, О. Терещук, І. Нисторяк та ін. // Вісник геодезії та картографії. - 2012. - № 2. - С. 18-19.

19. *Шелковенков Д.О.* Результати експериментальних досліджень точності траєкторних GPS/GNSS вимірювань при виконанні аерофотозйомки з використанням програмних комплексів «ОСТАВА» та «GRAFNAV/GRAFNET» / Д. О. Шелковенков, О. О. Желанов, О. О. Жаліло // Радиотехніка. – 2008. – № 152. – С. 172–184.

20. *Щербак Ю. В.* Про обґрунтування параметрів теодолітних ходів під час виконання кадастрових зйомок [Електронний ресурс] / Ю. В. Щербак, В. М. Іванов, М. Я. Бринь // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1. – С. 230–233. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt\\_2015\\_1\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt_2015_1_39).

21. Bernese GPS Software Version 4.2 / Eds. Hugentobler U., Schaer S., Fridez P. – Berne: Astronomical Institute, University of Berne. – 2001. – 515 p.

22. GrafNav® Static and GrafNet® [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.novatel.com/products/software/grafnav-static-and-grafnet/>.

**Терещук Олексій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землевпорядкування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Терещук Алексей Иванович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Tereshchuk Oleksiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Geodesy, Cartography and Land Management Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** Olexter1957@gmail.com

**Нисторіак Іван Олександрович** – викладач кафедри геодезії, картографії та землепорядкування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Нисторіак Іван Александрович** – преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Nystoriak Ivan** – Lecturer of the Geodesy, Cartography and Land Management Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** VanyaS31@yandex.ua

УДК 528.34

*Юлія Щербак, Михайло Бринь*

## **АНАЛІЗ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ В УКРАЇНІ**

*Юлія Щербак, Михаил Брын*

## **АНАЛИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРА В УКРАИНЕ**

*Yuliya Shcherbak, Mikhail Bryn*

## **ANALYSIS OF GEODETIC SUPPORT OF LAND CADASTER IN UKRAINE**

*Розглянуто сучасний стан геодезичного забезпечення земельного кадастру в Україні, досліджено взаємозв'язки між наявними системами координат, зазначено нововведення в земельно-кадастровій діяльності, обґрунтовано необхідність удосконалення нормативних вимог під час проведення кадастрової зйомки в селах та за межами населених пунктів.*

**Ключові слова:** геодезичне забезпечення, кадастр, геодезична мережа, межовий знак.

*Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 8.*

*Рассмотрено современное состояние геодезического обеспечения земельного кадастра в Украине. исследованы взаимосвязи между существующими системами координат, приведены нововведения в земельно-кадастровой деятельности, обоснована необходимость совершенствования нормативных требований при проведении кадастровой съемки в селах и за пределами населенных пунктов.*

**Ключевые слова:** геодезическое обеспечение, кадастр, геодезическая сеть, межевой знак.

*Рис.: 1. Табл.: 1. Библ.: 8.*

*The article reviews the current status of geodetic support of land cadastre in Ukraine. investigated the relationship between existing coordinate systems, given innovations in land and cadastral activities, the necessity of improvement of normative requirements at carrying out cadastral surveys in the villages and outside settlements.*

**Key words:** geodetic support, cadastre, geodetic network, landmark.

*Fig.: 1. Tab.: 1. Bibl.: 8.*

**Постановка проблеми.** У процесі здійснення державного управління важлива інформаційна складова, яку отримують, у тому числі, під час проведення кадастрової зйомки. Перелік послуг, що надаються органами державної влади, постійно розширюється, а якість надання послуг населенню удосконалюється. Так, згідно з Порядком ведення Державного земельного кадастру [4], при отриманні доступу в режимі читання можливе одержання відомостей щодо топографо-геодезичної і картографічної основи, державного кордону, земель у межах територій адміністративно-територіальних одиниць (назва, опис меж, площа, угіддя, економічна та нормативна грошова оцінка та ін.), обмежень у використанні, земельної ділянки (кадастровий номер, місце розташування, опис меж, площа, довжини ліній по периметру, координати поворотних точок меж, прив'язка поворотних точок меж до пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ), якісний стан земель та бонітування ґрунтів, цільове призначення та ін.).

У сучасних умовах кадастрові знімання виконуються переважно електронними тахеометрами, що надає змогу вимірювати відстані до 1 км і більше, а середні квадратичні похибки вимірювання відстаней при цьому рідко перевищують 5 мм, кутів – 7". Як наслідок, точність і якість результатів кадастрових зйомок підвищується.

Відповідно до законодавства виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт починаючи з 1 січня 2007 р. має здійснюватись із застосуванням Державної геодезичної