

УДК 528.3

О. ТЕРЕЩУК¹, І. НИСТОРИК², Р. ШУЛЦЬ³

¹ Кафедра геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна, olexter1957@gmail.com

² Кафедра геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна, vanyas31@yandex.ua

³ Кафедра інженерної геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна.

ВІДНОВЛЕННЯ МІСЬКИХ ПОЛІГОНОМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ СУЧАСНИМИ СУПУТНИКОВИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Мета. Мета цієї роботи полягає у дослідженні можливості відновлення міської полігонометричної мережі через використання високоточних супутникових технологій у режимі кінематики реального часу. **Методика.** Для досягнення поставленої мети задіяно шість геодезичних бригад, які укомплектовувалися шістьма приймачами різних фірм-виробників. Спостереження проводилися як в “статичні”, так і в RTK-режимі, причому, визначення координат пунктів полігонометричної мережі м. Чернігова у режимі RTK виконувалося від перманентної мережі із застосуванням різних конфігурацій та точок монтування. Опрацювання спостережень проводилися фахівцями Науково-дослідного інституту геодезії і картографії за допомогою програмного забезпечення. Після отримання координат пунктів полігонометричної мережі м. Чернігова у різних системах та відомих пунктів у місцевій системі, було змодельовано 11 пар ліній, аналіз зміни довжин яких проводився для кожної координатної системи. **Результати.** Результатами цього дослідження є: перераховані у державну референсну систему координат УСК-2000 перетворення координат пунктів мережі із просторових геоцентричних на плоскі прямокутні в проекції Гаусса–Крюгера, у відповідні шестиградусні зони; обчислені значення координат пунктів у СК-42 та СК-63; отримані середні квадратичні похибки координатних визначень при різних RTK конфігураціях; проаналізовані значення координатних відхилень пунктів локальної полігонометричної мережі у різних системах координат; виконаний аналіз результатів досліджень щодо доцільності використання та можливості відновлення міських полігонометричних мереж під час проведення топографо-геодезичних та інвентаризаційно-кадастрових робіт на території населеного пункту з використанням сучасних RTK технологій. **Наукова новизна.** Аналізуючи результати досліджень, встановлено: високу точність визначення координат під час отримання поправок у конфігурації automaх та від перманентної станції Чернігів з незначними до 10 км базовими віддалями; середні значення відхилень між координатними значеннями в УСК-2000 та місцевій системі координат СК-63к, а також СК-63 знаходяться в межах від 0,287 до 0,346 м при середніх квадратичних похибках 0,037–0,068 м; максимальні відхилення 0,726 і -0,684 м у різницях довжин ліній УСК-2000 та СК-63, а також між МСК і СК-42к; спотворення довжин ліній досягає, в середньому, 0,30–0,35 м між значеннями, отриманими в координатних системах УСК-2000 та МСК і СК-63; встановлена похибка визначення координат пунктів полігонометричної мережі м. Чернігова, а саме, 0,025 м; досліджена розбіжність між значеннями координат у місцевій системі та СК-42к, яка, в середньому становить 0,32 м та пояснюється відповідною деформацією мережі в СК-42/СК-63 і не забезпечує необхідної точності визначення параметрів переходу до місцевої системи координат; виконаний аналіз результатів опрацювання координатних визначень у місцевій системі та в СК-63 при середній квадратичній похибці 0,001 м, свідчить про тісний взаємозв’язок та закономірність щодо встановлення місцевих систем координат з метою мінімального спотворення проекції Гаусса–Крюгера і зручності у використанні; запропонована методика високоточних польових супутникових спостережень із застосуванням RTK-технологій. **Практична значущість.** За результатами виконаних досліджень доведена доцільність використання та можливість відновлення існуючої міської полігонометричної мережі, використовуючи високоточні супутникові технології в режимі кінематики реального часу. Встановлено, що під час проведення топографо-геодезичних та інвентаризаційно-кадастрових робіт на території населеного пункту використання RTK технологій забезпечить надійну точність спостережень. Величини спотворень геодезичної мережі у межах населеного пункту площею до 100 км² будуть незначними в межах $\pm 0,03$ м. Дослідження показали, що використання системи координат СК-42 у поєднанні зі супутниковими технологіями не створюватимуть значного територіального спотворення координатних визначень та не ускладнюватимуть ведення локальних геодезичних робіт. Зазначимо, що пункти міської полігонометрії, отримані у місцевій системі координат та в СК-63, можуть завдати відчутних, до 0,35 м, спотворень геодезичній мережі. Отже, на території Чернігова місцева система координат створює локальну геодезичну мережу та за умови її згущення (відновлення) сучасними RTK-технологіями може використовуватися під час проведення топографо-геодезичних та інвентаризаційно-кадастрових робіт.

Ключові слова: GPS; GNSS; референсні станції; ДГМ; мережі згущення; RTK-технологія.

Постановка проблеми

Під час проведення геодезичних та кадастрових робіт на забудованій території часто виникає питання координатного забезпечення та наявності достатньої кількості пунктів, місцеположення яких визначено та відомо з високою точністю. Система супутникового позиціонування на основі наземної мережі активних референсних GNSS-станцій дає змогу визначати координати об'єктів при статичних спостереженнях та у режимі реального часу (RTK). Послуга RTK дає змогу отримувати координати з середньою похибкою у межах 0,02–0,03 м в плані та з похибкою не більше ніж 0,1 м по висоті в реальному часі безпосередньо під час проведення польових робіт на місцевості. Такі параметри точності повною мірою задовольняють вимоги щодо відновлення та створення мереж міської полігонометрії сучасними супутниковими методами.

Відомо, що геодезичною основою великомасштабних знімів є пункти державної геодезичної мережі, розрядні мережі згущення та знімальна мережа. До розрядних геодезичних мереж згущення, як основи топографічних знімів у масштабах 1:5000 – 1:500, належать мережі полігонометрії 4 кл. та 1 і 2 розрядів. Топографічні карти масштабів 1:5000 – 1:500 створюють у проекції Гаусса–Крюгера, триградусних зонах, державній або місцевих системах координат, які повинні бути зв'язаними з державною системою. У містах та районах промислових підприємств усі нові знімання виконують, як правило, в раніше прийнятих місцевих системах координат та висот.

Як відомо, комплекс польових топографо-геодезичних робіт для забезпечення ведення Державного земельного кадастру передбачає побудову геодезичних мереж згущення в містах, селищах та інших населених пунктах, а також створення знімальної геодезичної мережі. Знімальну геодезичну мережу створюють з метою згущення ДГМ та ГМЗ до щільності, що забезпечує виконання знімів об'єктів кадастру та розвивають від пунктів Державної геодезичної мережі, геодезичних мереж згущення та станцій спостережень ГНСС.

Під час створення знімальної геодезичної основи топографічних знімів на забудованих територіях міст середня щільність пунктів ДГМ

повинна бути не менше ніж 1 пункт на 5 км², а під час інженерних вишукувань та будівництві в містах і на промислових об'єктах – до 8 пунктів на 1 км². Розходження у значеннях координат контрольних пунктів має не перевищувати 0,05 м у містах та 0,10 м у селищах та сільських населених пунктах. Серед інших ці вимоги регламентуються чинною Інструкцією з топографічного знімання [Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, 1998].

Враховуючи сказане, констатуємо, що відновлення (реконструкція) пунктів міських полігонометричних мереж та їх подальший розвиток на базі сучасних супутникових технологій, а особливо в режимі реального часу RTK зможе повною мірою забезпечити регламентовану точність, оперативність та високу продуктивність виробничого процесу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми

В останні десятиліття значно виріс науковий інтерес до високотехнологічних процесів супутникових визначень, пов'язаних із координатними забезпеченнями топографо-геодезичних та земельно-кадастрових робіт. Питання дослідження технології виконання таких GNSS-визначень, спрямовані на відновлення та розвиток міських полігонометричних мереж, є актуальними, а їх вирішення знаходиться у площині впровадження сучасних супутникових технологій. Експериментальні дослідження з використанням виміральної інформації мережі GPS/GNSS станцій у м. Київ (ГАО НАНУ), м. Чернігів (ЧДІЕУ), м. Прилуки Чернігівської області проведені у [Яцків Я. С. та ін. 2008]. Показано, що в зоні дії мережі станцій з міжбазовими відстанями 130–150 км досягається сантиметрова/субдещиметрова точність координатних визначень одно- і двочастотними GPS-приймачами у режимі пост-опрацювання. 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.

Результати тестування можливостей використання GLONASS для точного позиціонування методом PPP подано у [Tateviian S., Ku-

zin S., 2013]. Добові рішення часового ряду координат тривалістю один рік отримані для пунктів служби IGS і декількох додаткових пунктів, при цьому середні квадратичні відхилення склали в межах 1–5 мм і 3–10 мм. Відповідно. Роздільні визначення координат пунктів по GPS і GLONASS продемонстрували розбіжності до 5–7 см. Для пунктів IGS аналогічне зіставлення продемонструвало меншу, але все ж значну неузгодженість. Робиться висновок про необхідність вдосконалення моделей обробки обох систем. У цьому зв'язку слід зазначити, що отримана неузгодженість координат може пояснюватися більш високою щільністю спостережної мережі IGS порівняно з GLONASS, а також дуже малим числом пунктів, включених до IGS. Пропонується звернути увагу державних організацій, що відповідають за стан постійної мережі GLONASS. Важливий напрям досліджень розглянутий авторами в [Тревого І. С. та ін., 2013]. На прикладі виконання світловіддалемірної полігонометрії 4 класу досліджена можливість точного прокладання ходів за точності куткових вимірювань нижче від нормативної. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Internet-з'єднання подані в [С. Савчук, та ін., 2009]. Наведено результати експериментального відпрацювання технології високоточного позиціонування з використанням методу RTK. Показано можливість одержання сантиметрового рівня точності позиціонування на відстані до 70 км від базової GNSS-станції. Подані результати аналізу отриманих координатних визначень у режимі реального часу порівняно з даними післясеансної обробки.

У дослідженнях японських вчених запропоновано систему раннього попередження цунамі на основі спостережень кінематики в реальному часі мережі GNSS GEONET з частотою реєстрації даних 1 Гц. [Ohta Y., et al.; 2013].

Розроблено алгоритми реєстрації сильних землетрусів з низьким рівнем помилки, а також рішення оберненої задачі моделювання вогнища землетрусу з тимчасовою затримкою в 5 хв після події. Тестування системи здійснено на прикладі землетрусу Тохоку, 2011 р. У дослідженнях [С. Савчук, et. al.; 2012] йдеться

про можливе значне ускладнення опрацювання матеріалів польових спостережень під час вирішення прикладних задач геодезії супутниковими технологіями у класичних системах координат СК42/СК63. Такі спотворення можуть сягати до 25 см у місті і 70 см по області. Наведені оцінки стосуються лише пунктів ДГМ вищих класів. Зазвичай на практиці доводиться також використовувати пункти розрядних мереж, розбіжності між якими можуть перевищувати 1 м. Тому, досліджуються можливості реконструкції геодезичної мережі без використання наявних пунктів Державної геодезичної мережі як вихідних. Отже, за твердженням авторів проведеного дослідження, визначати координати пунктів геодезичної мережі в системі координат УСК-2000 можна без використання пунктів ДГМ. Єдине, що необхідно мати, так це мережу референсних, перманентних чи базових станцій. Безпосередньо польові GNSS-спостереження можна вести в різних режимах – RTK, VRS чи статичному, а в такому разі точність отриманих координат залежатиме лише від якості проведених GNSS-спостережень.

Працівники чотирьох європейських інститутів Німеччини та Швейцарії дослідили вплив спостережень GLONASS на отримання строгої комбінації з GPS [Fritsche M., et. al., 2013]. Зроблено висновки про те, що загалом вплив додаткових спостережень GLONASS на поле швидкостей глобальних станцій незначний. Водночас орбіти супутника GLONASS істотно поліпшуються, коли оцінюються в поєднанні з GPS. Під час цього дослідження використовувалися орбітальні спостереження лазерної локації супутників. Під час під'єднання GLONASS, оцінювання параметрів обертання Землі демонструють монотонно зростаючі відмінності відносно до GPS-рішення.

Завдяки значному поліпшенню технології приймача, розширенню й ущільненню супутникової мережі поряд з точнішим визначенням положення і швидкості стеження, GPS сьогодні можна розглядати як Глобальну геодезичну систему позиціонування, що забезпечує практично миттєве тривимірне визначення положення об'єкта з високою точністю, близько 1–2 см. [Інтернет-ресурс [Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>](http://smartnet.leica-</p></div><div data-bbox=)

geosystems.us/coverage_network.cfm]. Подані також короткі характеристики геоцентричної системи відліку, описується еволюція проекту EUREF від початку до сьогодні [Jaroslav Šimek, Jan Kostecky, 2000]. Вагомими кроками на шляху впровадження нової високоефективної технології супутникового позиціонування можна вважати створення першої в Україні мережі референційних станцій UA-EUPOS/ZAKPOS з обчислювальним центром у м. Мукачево [Інтернет-ресурс ZAKPOS: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>]. За короткий час створена також аналогічна мережа System.NET [Інтернет-ресурс http://smartnet.leica-geosystems.us/coverage_network.cfm], яка охопила покриттям майже 90 % території країни. Розробкою теоретичних і практичних питань передавання диференційних поправок у реальному часі, розвитком локальних GNSS-мереж точного супутникового позиціонування, реалізацією науково-дослідних проектів займаються сьогодні наукові центри України [О. Кучер, та ін., 2008; Савчук С. Г., Керкер В. Б., 2011; Терещук О., Савчук С., 2007; Терещук О. І., Нисторяк І. О., 2013; Шлапак В., та ін., 2014].

Мета

Мета роботи полягає у дослідженні можливості відновлення міської полігонометричної мережі шляхом використання високоточних супутникових технологій у режимі кінематики реального часу.

Методика

Як наголошено вище, міська полігонометрія необхідна для забезпечення великомасштабних знімань для цілей кадастру, потреб проектування, будівництва та експлуатації різних інженерно-технічних споруд. У невеликих містах прокладається полігонометрія 4 кл, 1 та 2 розрядів, яка часто слугує первинною геодезичною основою.

На початковому етапі, який передував спостереженням, ми зосередили увагу в деяких науково-виробничих підрозділах міста і області на пошуку та підборі пунктів міської полігонометричної мережі. Процес виявився не з легких, адже під час підбору точок для спостережень передбачалося використовувати ті

пункти, які, по-перше, підлягають рекогностуванню та реально існують на місцевості і будуть віднайдені а, по-друге, їх розташування максимально б задовольняло сприятливим умовам вимірювань під час роботи зі супутниковими приладами відкритий горизонт, мінімум перешкод тощо. Зауважимо, що значна частина пунктів міської полігонометрії втрачена у силу різних причин, здебільшого, через проведення будівельних робіт, реконструкцій, перепланувань тощо. Менша кількість із загального числа припадає на умисне руйнування та знищення.

В експериментальних дослідженнях брали участь шість бригад, які виконували супутникові спостереження на пунктах шістьма двочастотними приймачами Leica 1230 – 2 шт, Leica GS08, Leica CS25, Topcon, Zenith. Характеристика приймачів та антен подана у табл. 1.

Польові роботи виконувалися впродовж двох днів. На рис. 1 подано картосхему розташування пунктів міської полігонометричної мережі та пунктів триангуляції у м. Чернігові, разом 23 пункти.

Оскільки програма експерименту була різнопланова, то ми виокремимо тільки ті спостереження, які стосуватимуться теми цього дослідження. Спостереження проводили у RTK – режимі і приймачі, відповідно, налаштовували на прийом поправок від мережі System.NET.

Для цього у контролерах створювали шість проектів, які мали різну конфігурацію, наприклад, для бригади № 4 присвоювали ім'я проекту – **4.a** та задавали місце, де буде зберігатися база даних проекту. Перша літера назви проекту незмінна, бо це номер бригади.

Друга буква, нехай, “**a**” – змінювалася залежно до режиму (конфігурації) знімання, які в проекті використовувалися, а саме:

4.a – autom (**automax**) – технологія мережевого RTK, розроблена компанією Leica Geosystems є базовою при роботі в мережі System.NET. Під час використання цієї технології поправки вираховується одночасно від кількох базових станцій;

4.v – vrs (**virtual reference station**) – технологія, яка створює віртуальну базову станцію в районі робіт, від координат якої відбувається розрахунок точних координат на контролері;

4.n – nearest (**nearest**) – немережева технологія, поправки отримуються від найближчої одиночної базової станції;

Таблиця 1

Характеристика GNSS-приймачів та антен

Table 1

Description of GNSS-receivers and antennas

№ бригад	Система GNSS	Приймач	Антенa	Серійний номер приймача	Серійний номер антени	Формат поправок
1	GPS	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472882	09280025	RTCM v3
2	GPS+GLONASS	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472818	08480025	RTCM v3
3	GPS+GLONASS	Leica GS08 plus	контролер CS-10	2526772	1850914	RTCM v3
4	GPS+GLONASS	GeoMAX Zenith 10	контролер Getac PS 236		GMZ 103640003	RTCM V3
5	GPS+GLONASS	Leica CS25	Leica Zeno GG03	206017	0242922	RTCM V3
6	GPS	Topcon GRS1	PGA-1	59402027	308-21177	RTCM V3

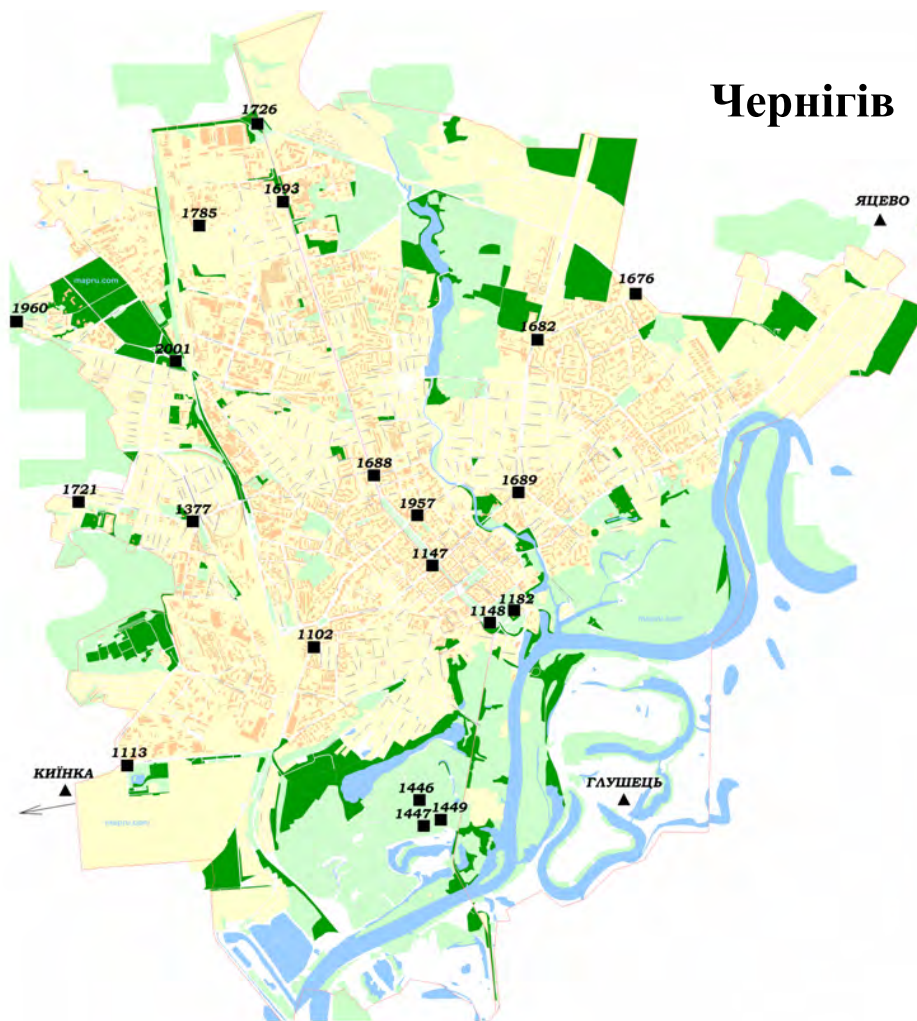


Рис. 1. Картохема розташування пунктів міської полігонометричної мережі м. Чернігова

Fig. 1. Scheme location points traverse urban network of Chernigov

4.ch – точка монтування (cniv), 4.ni – точка монтування (nizh); 4.ki – точка монтування (kvda); де – (cniv), (nizh), (kvda), – поправки, отримані з точок монтування одиночних базових перманентних станцій, розташованих у Чернігові, Ніжині та Києві, відповідно, наприклад, **a** – для точки монтування **autom**, **v** – для точки монтування **vrs** (VRS), тощо, IP-адресу – 193.107.25.166

– для всіх конфігурацій, порт – **2114** – для точок монтування: **autom**, **vrs**, **nearest**, порт – **8085** – для точок монтування: **kvda**, **nizh**, **cniv**. Доступ до сервера мережі System.NET відбувався через протокол NTRIP, а поправки передавалися в форматі RTCMv3. Перед початком спостережень було узгоджено встановлювати у меню контролера орієнтовну кількість вимірів на точці – 30, а при статичному режимі 3600, хоча за стандартними налаштуваннями кількість вимірів становить 5 позиціонувань для точок і 10 для вершин ліній/полігонів (тобто 5 і 10 с. відповідно).

Таблиця 2

Фрагмент запису “сирих” даних

Table 2

Detail record “raw” data

16760;5701948.415;4218842.530;142.935; 7;
0016;5701381.980;4217766.549;152.040;;
16761;5701948.419;4218842.535;142.924; 7;
16762;5701948.415;4218842.533;142.926; 7;
16763;5701948.409;4218842.528;142.926; 7;
16764;5701948.408; 4218842.533; 142.923; 7;
16765; 5701948.413; 4218842.533; 142.926; 7;
16766; 5701948.415; 4218842.535; 142.928; 7;
16767; 5701948.404; 4218842.533; 142.932; 7;
16768; 5701948.410; 4218842.537; 142.927; 7;
16769; 5701948.427; 4218842.541; 142.925; 7;
16760; 5701948.435; 4218842.544; 142.935;
0016; 5701381.980; 4217766.549; 152.040;
16761; 5701948.430; 4218842.543; 142.929;
16762; 5701948.432; 4218842.543; 142.933;
16763; 5701948.433; 4218842.546; 142.935;
16764; 5701948.431; 4218842.544; 142.926;
16765; 5701948.433; 4218842.548; 142.932;
16768; 5701948.422; 4218842.535; 142.921;
16769; 5701948.419; 4218842.536; 142.932;

На цьому етапі наших досліджень необхідно було визначити координати пунктів спостережень у режимі RTK, а саме прийняти поправки у конфігурації (**automax**), (**VRS**), (**nearest**), а також від точок монтування – **kvda**, **nizh**, **cniv**. Нижче у табл. 2 наведемо фрагмент запису “сирих” даних, отриманих у RTK-режимі GNSS-приймачем GeoMax Zenith 10 GSM під час спостережень пункту полігонометрії 1676 (EPIC) у конфігурації прийому поправок (**automax**) та (**nearest**):

З цього прикладу видно, що результати спостережень з фіксованим розв’язком мають незначні (у мм) розбіжності величин у плановому положенні, і трохи більші у висотній компоненті.

Відповідно до програми спостережень, частина пунктів була забезпечена статичними спостереженнями. З незрозумілих причин у перший день спостережень, приблизно, з 11.00 до 17.00, зв’язок з референсною станцією Чернігів (CNIV) був з перебоями, а з’явився тільки близько 18.00. Відповідно і поправки у цей період приймалися нестабільно. Такий самий випадок був на наступний день з прийомом поправок зі станції Ніжин, це тривало зранку і до обіду.

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 декількох приймачів.

Для збереження наявної топографо-геодезичної основи передбачалося дослідити можливість використання високоточних супутникових технологій в режимі кінематики реального часу на пунктах наявної міської полігонометричної мережі. Наші спостереження передовсім пов’язані з дослідженням реальної точності визначення координат пунктів за допомогою RTK-технології, максимально використовуючи значення координат з каталогів у різних системах, місцевій, СК-42, СК-63. Відомо також що, для практичного використання результатів RTK вимірювань мережа базових станцій повинна бути прив’язана до земної референсної системи ITRS у її сучасних реалізаціях ITRF2005/ITRF2008. Оскільки,

параметри зв'язку між системами IGS08 та ITRF2008 дорівнюють нулю, то спочатку координати пунктів міської полігонометричної мережі були приведені на епоху 2005.0. Далі координати перераховувалися із системи ITRF2008 у систему ITRF2005 за офіційними параметрами зв'язку, опублікованими службою IGS [Інтернет ресурс (http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php)] за такою формулою:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2005} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2008} + \begin{bmatrix} m & +\varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & m & +\varepsilon_X \\ +\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2008} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Після цього координати пунктів мережі перераховувалися із системи ITRF2005 у Державну геодезичну референсню систему координат УСК-2000 за параметрами, визначеними НДПГК за формулою:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{УСК-2000} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2005} + \begin{bmatrix} m & +\varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & m & +\varepsilon_X \\ +\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2005} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Результати

Виконавши перерахування у систему УСК-2000, координати станцій мережі перетворювалися із просторових геоцентричних на плоскі прямокутні в проекції Гаусса-Крюгера, у відповідні шестиградусні зони. Значення координат пунктів отримані також у СК-42 та СК-63. Опрацьовували результати спостережень фахівці Науково-дослідного інституту геодезії і картографії за допомогою програмного забезпечення.

Після опрацювання результатів супутникових спостережень у табл. 3 подані середні квадратичні похибки координатних визначень при різних RTK конфігураціях. Аналізуючи дані табл. 3, зауважимо, що висока точність визначення координат у межах від 9 до 14 мм спостерігається під час отримання поправок у

конфігурації automax та від перманентної станції Чернігів з незначними до 10 км базовими віддалями. При інших конфігураціях точність координатних визначень коливається від 3 до 7 см. Під час спостережень у режимі статика точність вища.

За інших конфігурацій точність координатних визначень коливається від 3 до 7 см. Під час спостережень у режимі статика точність вища.

Після вирахування координат точок полігонометричної мережі м. Чернігова у різних системах, ми змоделювали 11 пар ліній. Такі кроки пов'язані з тим, що нам були відомі координатами пунктів також у місцевій системі.

Далі, за відомою формулою (3)

$$S_{(УСК-2000)_{i,j}} = \sqrt{(X_j - X_i)_{УСК-2000}^2 + (Y_j - Y_i)_{УСК-2000}^2} = \sqrt{(\Delta x_{i,j})_{УСК-2000}^2 + (\Delta y_{i,j})_{УСК-2000}^2} \quad (3)$$

обчислювали довжини обраних ліній у різних системах координат та утворювали їх різниці (4)

$$\begin{aligned} \delta S_{MCK}^{УСК-2000} &= S_{УСК-2000} - S_{MCK} \\ \delta S_{CK-63}^{УСК-2000} &= S_{УСК-2000} - S_{CK-63} \\ \delta S_{CK-63к}^{УСК-2000} &= S_{УСК-2000} - S_{CK-63к} \\ \delta S_{CK-42}^{УСК-2000} &= S_{УСК-2000} - S_{CK-42} \\ \delta S_{CK-63}^{MCK} &= S_{MCK} - S_{CK-63} \\ \delta S_{CK-63к}^{MCK} &= S_{MCK} - S_{CK-63к} \\ \delta S_{CK-42к}^{MCK} &= S_{MCK} - S_{CK-42к} \\ \delta S_{CK-63к}^{CK-63} &= S_{CK-63} - S_{CK-63к}, \end{aligned} \quad (4)$$

які зведені у табл. 4.

Також подані середні значення та середні квадратичні похибки визначення довжин ліній у різних системах координат.

На початку ми порівнювали відхилення значень між УСК-2000 та місцевою системою координат, СК-63к, а також СК-63. Зауважимо, що середні значення відхилень коливаються в межах від 0,287 до 0,346 м за середніх квадратичних похибок 0,037–0,068 м.

Максимальні відхилення 0,726 і -0,684 м спостерігаються у різницях довжин ліній УСК-2000 та СК-63, а також між місцевою системою координат і СК-42к. Тобто, спотворення довжин ліній досягає, в середньому, 30–35 см між системами координат УСК-2000 та МСК і СК-63.

Таблиця 3

Точність координатних визначень за різними RTK-конфігураціями

Table 3

Accuracy of coordinate definitions for various RTK-configuration

Познач.	automax	nearest	vrs	CN	NZ	KV
δX	0,0139	0,0386	0,0403	0,0091	0,0533	0,0726
δY	0,0126	0,0498	0,0616	0,0097	0,0664	0,0518
δH	0,0176	0,0224	0,0351	0,0263	0,0945	0,1155

Таблиця 4

Середньо-квадратичні похибки ліній $m_{\delta S_i}$, отриманих у різних системах координат

Table 4

Medium-square error lines obtained in different coordinate systems

№	Позначки ліній	$S_{ки}$	$\delta S_{MCK}^{VCK-2000}$	$\delta S_{CK-63}^{VCK-2000}$	$\delta S_{CK-63k}^{VCK-2000}$	$\delta S_{CK-42k}^{VCK-2000}$	δS_{CK-63}^{MCK}	δS_{CK-63k}^{MCK}	δS_{CK-42k}^{MCK}	$\delta S_{CK-63k}^{CK-63}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1726-1447	8,655	0,634	0,726	0,622	-0,050	0,092	-0,011	-0,684	-0,104
2	Яцєво-1682	4,423	0,049	0,024	0,101	-0,208	-0,026	0,052	-0,258	0,077
3	1785_1693	0,689	0,023	0,036	0,025	-0,165	0,013	0,002	-0,188	-0,011
4	2001-1688	2,715	0,266	0,179	0,234	0,060	-0,087	-0,032	-0,206	0,055
5	1113-1960	5,522	0,439	0,500	0,458	-0,013	0,060	0,019	-0,453	-0,042
6	1960-2001	1,856	0,234	0,183	0,250	-0,014	-0,051	0,016	-0,248	0,067
7	1682-1688	2,515	0,478	0,571	0,508	0,212	0,094	0,030	-0,265	-0,063
8	1682-1447	6,090	0,202	0,582	0,170	-0,230	0,380	-0,032	-0,432	-0,413
9	Яцєво-1726	6,402	0,399	0,568	0,454	-0,033	0,170	0,055	-0,432	-0,114
10	1726-1693	0,822	0,090	0,032	0,086	0,015	-0,058	-0,004	-0,075	0,055
11	1113-1688	4,683	0,346	0,404	0,325	0,037	0,058	-0,021	-0,309	-0,079
	δS_i (сер.)		0,287	0,346	0,294	-0,034	0,059	0,007	-0,323	-0,052
	$m_{\delta S_i}$		0,037	0,068	0,038	0,014	0,018	0,001	0,028	0,019

Таблиця 5

Типи локальних (міських) геодезичних мереж

Table 5

Types of local (municipal) geodetic networks

Назва мережі	Характеристика точності
Міська знімальна мережа	≤ 5 см
Межова мережа*	≥ 5 см
Геодинамічна мережа	≤ 1 мм

* Призначена для інвентаризації земель і земельно-кадастрових робіт.

Відповідно, і координати пунктів полігонометричної мережі м. Чернігова міститимуть похибку, нехай на $\sqrt{2}$ менше, а саме, 0,025 м. Приблизно, такі самі розбіжності між місцевою

системою та СК-42к, що, в середньому, становить теж у межах 32 см. Цей факт можна трактувати, як деформацію мережі в системі координат СК-42/СК-63, яка не забезпечує

необхідної точності визначення параметрів переходу до місцевої системи координат.

Найтісніший зв'язок проглядається між місцевою системою координат, каталожними даними в системі СК-63к, а також даними в СК-63. Тож нічого дивного, адже місцеві системи координат встановлюються з метою мінімального спотворення проекції Гаусса–Крюгера і зручності у використанні. Так, на території Чернігова місцева система координат створює локальну геодезичну мережу. Основні типи локальних геодезичних мереж та точність пунктів у них подані у табл. 5 [Барановський В., 2009; Черняга П., 2010].

Ми вище зауважили, що місцева система координат та СК-63 тісно пов'язані, про що свідчить значення середньої квадратичної похибки 0,001 м. Як відомо, умовна система координат СК-63 базується на триградусних зонах і рекомендована як основна для кадастрових знімків. Щоправда, цей факт повною мірою не пов'язується із реалізацією цієї системи під час сучасних супутникових спостережень, позаяк похибки взаємного положення пунктів можуть сягати значних величин.

Найсприйнятливою з погляду послідання є збіжність результатів у межах 0,034 м за середньої квадратичної похибки 0,014 м між державною референційною системою координат УСК-2000 та СК-42к. Такі результати можуть вказувати на можливість використання сучасних супутникових методів при топографо-геодезичних та інвентаризаційно-кадастрових роботах у межах населеного пункту, наприклад, Чернігова, площею, приблизно 100 км², міської полігонометричної мережі, пункти якої визначені у системі координат СК-42.

Наукова новизна та практична значущість

Отримані у статті результати вказують на високу точність визначення координат у межах від 9 до 14 мм під час отримання поправок у конфігурації automax та від перманентної станції Чернігів з незначними до 10 км базовими віддалями. За інших конфігурацій точність координатних визначень становить від 3 до 7 см, а у режимі статика, закономірно, ще вища.

Для збереження наявної топографо-геодезичної основи досліджена можливість вико-

ристання високоточних супутникових технологій у режимі кінематики реального часу на пунктах Чернігівської міської полігонометричної мережі.

Після вирахування координат точок полігонометричної мережі у різних системах змодельовано 11 пар ліній, аналіз зміни довжин яких проводився для кожної координатної системи. Досліджена розбіжність між значеннями координат у місцевій системі та СК-42к, яка, в середньому, становить, 0,32 м та пояснюється відповідною деформацією мережі в СК-42/СК-63 і не забезпечує необхідної точності визначення параметрів переходу до місцевої системи координат. Результати опрацювання координатних визначень у місцевій системі та в СК-63 за середньої квадратичної похибки 0,001 м, свідчать про тісний взаємозв'язок та закономірність щодо встановлення місцевих систем координат з метою мінімального спотворення проекції Гаусса–Крюгера і зручності у використанні.

На основі проведеного аналізу результатів дослідження ми запропонували методику високоточних польових супутникових спостережень із застосуванням RTK-технологій, яка апробована та реально підтверджена під час координатних вимірювань на точках локальної полігонометричної мережі населеного пункту. Встановлено, що під час проведення топографо-геодезичних та кадастрових робіт на території населеного пункту використання RTK технологій забезпечить надійну точність спостережень.

Висновки

За результатами виконаних досліджень можемо зробити висновки щодо доцільності використання та можливості відновлення існуючої міської полігонометричної мережі, використовуючи високоточні супутникові технології в режимі кінематики реального часу. Вважаємо, що під час проведення топографо-геодезичних та інвентаризаційно-кадастрових робіт на території населеного пункту використання RTK-технологій забезпечить надійну точність спостережень. Величини спотворень геодезичної мережі у межах населеного пункту площею до 100 км² будуть незначними –

в межах ± 3 см. Дослідження показали, що використання системи координат СК-42 у поєднанні з супутниковими технологіями не створюватимуть значного територіального спотворення координатних визначень та не завдадуть ускладнень під час ведення геодезичних робіт. Зазначимо, що пункти міської полігонометрії у місцевій системі координат та в СК-63 можуть завдавати відчутних, до 35 см спотворень геодезичній мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Барановський В. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення Державного земельного кадастру. Системи координат та картографічні проекції / В. Барановський, Ю. Карпінський, О. Кучер, А. Ляшенко. – К., 2009. – 95 с.
- Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА – 2.04 – 02 – 98). – К., 1998.
- О. Кучер, Ю. Стопхай, Р. Висотенко, О. Ренкевич. Впровадження державної геодезичної референцної системи координат України – УСК-2000 // Зб. наук. праць “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землепорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів : Чернігівські береги. – 2008. – Вип. 4. – С. 25–30.
- С. Савчук, А. Задемленюк, А. Піскорівський. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS Інтернет з’єднання // 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. Г., Керкер В. Б. Методика і попередні результати експериментальних досліджень ефективності використання сигналів GLONASS під час RTK вимірювань // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2011. – Вип. 75. – С. 25–30.
- С. Савчук, А. Задемленюк, Р. Вовк. Визначення координат пунктів у системі УСК-2000 із GPS – спостережень // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2012. – В. II(24). – С. 57–60.
- Терещук О., Савчук С. Проект мережі активних перманентних GPS-станцій Північного регіону України // Зб. наук. праць “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землепорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів : Чернігівські береги, 2007. – С. 16–23.
- Терещук О. І., Нисторьяк І. О. Аналіз GNSS-спостережень у Північному регіоні України // Містобудування і територіальне планування. – 2013. – № 48. – С. 443–451.
- Тревого І. С., Літинський В. О., Газдаг М. Л. / Точність полігонометрії: згущення мережі в залежності від точності кутових вимірювань // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 1. – С. 14–15.
- Черняга П. Переваги та недоліки різних систем координат та геодезичних проекцій під час ведення земельного кадастру / П. Черняга, С. Кубах // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2010. – Вип II (20). – С. 62–66.
- Яцків Я. С., Харченко В. П., Шокало В. М., Терещук О. І., Жалило О. О. та ін. // Інформаційно-вимірювальна GNSS система та мережна VRS технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок // Зб. наук. праць “Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землепорядкування – Європейський досвід”. – Чернігів : Чернігівські береги, 2008. – Вип. 4. – С. 5–24.
- Шлапак В., Терещук А., Нисторьяк І., Жалило А., Желанов А., Дицкий І., Бессонов Е. Исследование отечественной технологии обработки и анализа GNSS-наблюдений // Известия высших учебных заведений. Серия Геодезия и аэрофотосъемка, 2014.
- Fritsche M., Rodriguez-Solano C., Steigenberger P., Sosnica K., Wang K., Dietrich R., Hugentobler U., Dach R., Rothacher M. // Impact of GLONASS in a rigorous combination with GPS, International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG // Book of Abstracts. – September 1–6, 2013. – Potsdam. – P. 62.
- Jaroslav Šimek, Jan Kostecky. Modern Geodetic network and datum in Europe // FIG Working Week 2000, 21–26 May, Prague, Abstracts.
- Ohta Y., Miura S., Hino R., Kobayashi T., Tsushima H. // Real-time crustal deformation monitoring algorithm based on RT K-GPS: Application to 2011 Tohoku earthquake and its improvement for implementation to actual GPS network, International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG // Book of Abstracts. – September 1–6, 2013. – Potsdam. – P.185.
- Tatevian S., Kuzin S. On the use of GLONASS for precise positioning and geodynamic studies // International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG // Book of Abstracts. – September 1–6, 2013. – Potsdam. – P. 294.
- Інтернет ресурс ZAKPOS: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>.
- Інтернет ресурс http://smartnet.leica-geosystems.us/coverage_network.cfm
- Інтернет ресурс (http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php)

А. ТЕРЕЩУК¹, И. НИСТОЯК², Р. ШУЛЬЦ³

¹Кафедра геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина, olexter1957@gmail.com

²Кафедра геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина, vanyas31@yandex.ua

³Кафедра инженерной геодезии, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СОВРЕМЕННЫМИ СПУТНИКОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Цель. Цель данной работы заключается в исследовании возможности восстановления городской полигонометрической сети путем использования высокоточных спутниковых технологий в режиме кинематики реального времени. **Методика.** Для достижения поставленной цели было задействовано шесть геодезических бригад, укомплектовывались шестью приемниками различных фирм-производителей. Наблюдения проводились как в “статике” так и в RTK режиме, причем, определение координат пунктов полигонометрической сети Чернигова в режиме RTK выполнялось от перманентной сети с применением различных конфигураций и точек монтирования. Обработка наблюдений проводилась специалистами Научно-исследовательского института геодезии и картографии с помощью программного обеспечения. После получения координат пунктов полигонометрической сети Чернигова в различных системах и известных пунктов в местной системе, была смоделирована 11 пар линий, анализ изменения длин которых проводился для каждой координатной системы. **Результаты.** Результатами этого исследования являются: перечисленные в государственную референсную систему координат УСК-2000 преобразования координат пунктов сети из пространственных геоцентрических в плоские прямоугольные в проекции Гаусса-Крюгера, в соответствующие шестиградусные зоны; вычислены значения координат пунктов в СК-42 и СК-63; получены средние квадратические погрешности координатных определений при различных RTK конфигурациях; проанализированы значения координатных отклонений пунктов локальной полигонометрической сети в разных системах координат; выполнен анализ результатов исследований о целесообразности использования и возможности восстановления городских полигонометрических сетей при проведении топографо-геодезических и инвентаризационно-кадастровых работ на территории населенного пункта с использованием современных RTK технологий. **Научная новизна.** Анализируя результаты исследований, было установлено, высокую точность определения координат при получении поправок в конфигурации automax и от перманентной станции Чернигов с незначительными до 10 км базовыми расстояниями; средние значения отклонений между координатными значениями в УСК-2000 и местной системе координат, СК-63К, а также СК-63 находятся в пределах от 0,287 до 0,346 м при средних квадратичных погрешностях 0,037–0,068 м; максимальные отклонения 0,726 и -0,684 м в различиях длин линий УСК-2000 и СК-63, а также между МСК и СК-42К; искажения длин линий достигает, в среднем, 0,30–0,35 м между значениями, полученными в координатных системах УСК-2000 и МСК и СК-63; установлена погрешность определения координат пунктов полигонометрической сети Чернигова, а именно, 0,025 м; исследована расхождение между значениями координат в местной системе и СК-42К, которая, в среднем, составляет, 0,32 м и объясняются соответствующей деформацией сети в СК-42 / СК-63 и не обеспечивает необходимой точности определения параметров перехода к местной системы координат; выполнен анализ результатов обработки координатных определений в местной системе и в СК-63 при средней квадратичной погрешности 0,001 м, свидетельствует о тесной взаимосвязи и закономерности по установлению местных систем координат с целью предотвращения искажений проекции Гаусса-Крюгера и удобства в использовании; предложена методика высокоточных полевых спутниковых наблюдений с применением RTK-технологий. **Практическая значимость.** По результатам выполненных исследований доказана целесообразность использования и возможность восстановления существующей городской полигонометрической сети, используя высокоточные спутниковые технологии в режиме кинематики реального времени. Установлено, что при проведении топографо-геодезических и инвентаризационно-кадастровых работ на территории населенного пункта использования RTK технологий обеспечит надежную точность наблюдений. При этом величины искажений геодезической сети в пределах населенного пункта площадью до 100 км² будут незначительными – в пределах $\pm 0,03$ м. Исследования показали, что использование системы координат СК-42 в сочетании со спутниковыми технологиями не будут создавать значительного территориального искажения координатных определений но не усложнять процесс ведения локальных геодезических работ. При этом отметим, что

пункты городской полигонометрии, полученные в местной системе координат и в СК-63, могут нанести ощутимые, до 0,35 м, искажения геодезической сети. Итак, на территории Чернигова местная система координат создает локальную геодезическую сеть и при условии ее сгущения (восстановления) современными RTK-технологиями может использоваться при проведении топографо-геодезических и инвентаризационно-кадастровых работ.

Ключевые слова: GPS; GNSS; референсные станции; ГГС; сети сгущения; RTK-технология.

O. TERESHCHUK¹, I. NYSTORIAK², R. SHULC

¹ Department of Geodesy, Cartography and Land Management, National Technical University of Chernigov, Chernihiv, Ukraine, olexter1957@gmail.com

² Department of Geodesy, Cartography and Land Management, National Technical University of Chernigov, Chernihiv, Ukraine, vanyas31@yandex.ua

³ Department of Engineering Geodesy, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

RECOVERY OF THE URBAN POLYGONOMETRIC NETWORK OF THE MODERN SATELLITE TECHNOLOGY

Purpose. The purpose of this work is to study the possibility of restoring urban traverse networks using high-precision technologies in satellite mode, real-time kinematics. **Method.** To achieve this goal were involved surveying six teams that were equipped with six receivers of different manufacturers. The observations were made as the "static" and in RTK-mode, and, determining the coordinates of points traverse the network Chernihiv mode performed by permanent RTK networks with different configurations and mount points. Working observations conducted by specialists of the Research Institute of Geodesy and Cartography by the software. After receiving the coordinates of points traverse the network Chernihiv in different systems and known points in the local system was modeled 11 pairs of lines, analysis of changes in the length of which was performed for each coordinate system. **Results.** The results of this study are: reference listed in the state system of coordinates USC-2000 transformation coordinates the network of geocentric spatial rectangular plane in Gauss-Kruger in relevant areas; calculated the coordinates of points in SC-42 and SC-63; obtained the mean square error of coordinate definitions with different RTK configurations; analyzed the coordinate value deviations local points traverse the network in different coordinate systems; the analysis of the results of feasibility studies on the use and the possibility of restoring urban traverse networks during the survey and inventory and cadastral works in the settlement with modern RTK technology. **Scientific novelty.** Analyzing the results of studies established: the high accuracy of the coordinates of receipt of amendments configuration automax of permanent stations and Chernihiv with minor base 10 km distance; average values of deviations between the coordinate values in USC-2000 and the local coordinate system SC-63k and SC-63 are in the range of 0,287 to 0,346 m with an average square error 0,037–0,068 m; the maximum deviation of 0.726 and -0.684 differences in the lengths of lines USC-2000 and SC-63 and between the MSC and SC-42k; distortion of lengths of lines reaches an average of 0,30–0,35 m between the values obtained in the coordinate system USC-2000 and MSC and SC-63; installed error of coordinates of points traverse the network Chernihiv, namely 0,025 m; investigated a discrepancy between the local coordinate system and the SC-42k, which on average is, 0,32 m and corresponding deformation due to network in SC-42 / SC-63 does not provide the required accuracy of conversion options in the local coordinate system; the analysis of study results in the local coordinate system definitions and SC-63 when the error mean square of 0,001 m, indicates the close relationship of law and to establish local coordinate systems for the purpose of minimum distortion Gauss-Kruger and ease of use; the technique of high field of satellite observations using RTK-technology. **Practical significance.** The results of the studies demonstrated the feasibility of using and the ability to restore existing urban traverse networks using the highly accurate satellite technology kinematics mode in real time. It was established that during the survey and inventory and cadastral works in the settlement using RTK technology provides reliable precision observations. The value of the distortion geodetic network within the settlement area of 100 km² will be insignificant – within $\pm 0,03$ m. Studies have shown that using a coordinate system SC-42 in combination with the satellite technology does not create a significant distortion coordinate territorial definitions and not complicate the process of doing local geodetic work. It should be noted that the City polygonometry points obtained in the local coordinate system and the SC-63 can deliver tangible, to 0.35 m., Distortion geodetic network. So, in the territory of Chernigov local coordinate system creates a local geodetic network and provided its thickening (recovery) RTK-modern technology can be used during the survey and inventory and cadastral.

Keywords: GPS; GNSS; a reference station; SGM; Network condensation; RTK-technology.

REFERENCES

- Baranovs'kyj V., Karpins'kyj Yu., Kucher O., Lyashenko A. Topografo-geodezy'chne ta kartografichne zabezpechennya vedennya Derzhavnogo zemel'nogo kadastru. Sy'stemy' koordynat ta kartografichni proekciyi [Topographic and geodetic and cartographic software of the State Land Cadastre. The coordinate systems and map projections]. Kyiv, 2009, 95 p.
- Instrukciya z topografichnogo znimannya u masshtabax 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 ta 1 : 500 [Instructions topographic removal in the scale of 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 and 1 : 500] (GKNTA – 2.04 – 02 – 98). Kyiv, 1998.
- Kucher O., Stopkhai Yu., Vysotenko R.O. Renkevych *Vprovadzhenia derzhavnoi heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat Ukrainy – USK-2000* [Implementation of state geodetic coordinate system referentsnoi Ukraine – USC 2000]. *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. issue 4, 2008, 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"* [Modern achievements of geodetic science and industry]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. issue.I (17), 2009, pp. 58–69.
- 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"* [Modern achievements of geodetic science and industry]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2011, V.75, pp. 25–30.
- Savchuk S., Zademlenyuk A., Vovk R. *Vy'znachennya koordynat punktiv u sy'stemi USK-2000 iz GPS – sposterezhen'* [Determination of coordinates of points in the system USC-2000 with GPS – observations]. *Zb. nauk. pr. "Suchasni dosyagnennya geodezy'chnoyi nauky' ta vy'robny'cztva"* [Modern achievements of geodetic science and industry]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2012, V.II(24), pp. 57–60.
- 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. I., Nystoriak I. O. *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]. No. 48, 2013, pp.43–451.
- Trevogo I. S., Lityns'kyj V. O., Gazdag M. L. *Tochnist' poligonometriyi: zgushhennya merezhi v zalezhnosti vid tochnosti kutovy'h vy'miryuvan'* [Accuracy polygonometry: thickening network depending on the accuracy of angular measurement]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi*. 2013. no 1, pp. 14–15.
- Chernyaga P., Kubax S. *Perevagy' ta nedoliky' rizny'x sy'stem koordynat ta geodezy'chny'x proekcij pid chas vedennya zemel'nogo kadastru* [Advantages and disadvantages of different geodetic datums and projections in the land cadaster]. *Suchasni dosyagnennya geodezy'chnoyi nauky' ta vy'robny'cztva* [Modern achievements of geodetic science and industry], Lviv, 2010, issue II (20), pp. 62–66.
- Yatskiv Ya. S., Kharchenko V. P., Shokalo V. M., Tereshchuk O. I., Zhalilo O. O., Kondratiuk V. M., Lukianov O. M., Lytvyn M. O., Shelkovienvkov D. O., Kutsenko O. V., Zhelanov O. O., Hrinchenko O. V., Hazniuk M.O., Vyshniakova Ye. V. *Informatsiino-vymiriualna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiia zabezpechennia heodezychnykh i kadastryvykh 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. Yevropeyskyi dosvid"* [Latest achievements geodesy, geoinformatics and land management – the European experience]. Chernihiv: Chernihivski oberehy. 2008, issue. 4, pp. 5–24.
- Shlapak V. Tereshchuk A., Nystoriak I., Zhalilo A., Zhelanov A., Dickij I., Bessonov E. *Issledovanie otechestvennoj tehnologi obrabotki i analiza GNSS-nabljudenij* [Investigation of domestic processing and analysis of GNSS-observations]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija Geodezija i ajerofotosemka* [News of higher educational institutions. A series of Geodesy and aerial photography], 2014.

- Fritsche M., Rodriguez-Solano C., Steigenberger P., Sosnica K., Wang K., Dietrich R., Hugentobler U., Dach R., Rothacher M. Impact of GLONASS in a rigorous combination with GPS, International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG. Book of Abstracts. September 1-6, 2013, Potsdam, p.62.
- Jaroslav Šimek, Jan Kostecky. Modern Geodetic network and datum in Europe. FIG Working Week 2000, 21–26 May, Prague, Abstracts.
- Ohta Y., Miura S., Hino R., Kobayashi T., Tsushima H. Real-time crustal deformation monitoring algorithm based on RT K-GPS: Application to 2011 Tohoku earthquake and its improvement for implementation to actual GPS network, International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG. Book of Abstracts. September 1–6, 2013. Potsdam, p. 185.
- Tatevian S., Kuzin S. On the use of GLONASS for precise positioning and geodynamic studies. International Association of Geodesy, Scientific Assembly 150th Anniversary of the IAG. Book of Abstracts. September 1-6, 2013, Potsdam, p. 294.
- 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/coverage_network.cf.
- Internet resources http://smartnet.leica-geosystems.us/coverage_network.cfm
- Internet resources (http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php)

Надійшла 23.11.2015 р.