В.К. Чибиряков,
В.С. Староверов,
К.А. Никитенко

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ИХ ПОЧВЫ

Рассмотрен и проанализирован общий порядок определения напряженно-деформированного состояния на участках магистрального газопровода «Уренгой - Помары - Ужгород» (УПУ), проложенного в сложном грунтовом массиве.

Смоделирована расчетная модель магистрального газопровода в виде изгиба балки на упругом основании. Рассмотрена гипотеза Фусса - Винклера, позволяющая определить места максимально допустимых напряжений.

Решена система уравнений с определенными граничными условиями с помощью эффективного численного метода С.К. Годунова, позволяющая дифференцированно подходить к обоснованию точности геодезических работ.

Использованная методология позволяет оценить динамику оползневых явлений, определить стадию движения массива, распределения в нем областей растяжений и сжатий, а также определить минимальную длину в оползневом массиве, при которой возможно появление критических напряжений.

Благодаря полученным результатамможно четко проследить закономерность смещения газопровода с изменением слоя и свойств почвы и прийти к выводу, что величина напряжений является переменной по длине газопровода.

Участки газопровода, расположенные в зоне перехода слабых грунтов и почв, которые имеют достаточно большую несущую способность, характеризуются повышенным уровнем напряжений и большей вероятностью смещения газопровода от проектного положения.

Предложены рекомендации по обоснованию точности выполнения инженерно-геодезических работ при наблюдении за газопроводом в опасных геологических условиях.

Ключевые слова: *магистральный газопровод (МГ), напряженно-деформированное состояние (НДС), прогиб газопровода.*

V.K. Chibiriakov
V.S. Staroverov
K.O. Nikitenko

GEODETIC MONITORING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE MAIN GAS PIPELINES CONSIDERING THE RESISTANCE OF THE SURROUNDING SOIL

Considered and analyzed general procedure for determining the stress-strain state in areas main gas pipeline "Urengoy - Pomary - Uzhgorod" (UPU), which is a complex array of soil.

Simulated calculation model gas pipeline in the form of beams on elastic foundation bending. Considered hypothesis Fuss - Winkler, to determine the maximum allowable stress space.

We solve the system of equations with certain boundary conditions through effective numerical S.K. Godunov's method that enables differentiated approach to the study of precision geodetic work.

The methodology used allows us to estimate the dynamics of landslide phenomena determine the stage of the movement of the array, it shares regions of compression and stretching, as well as determine the minimum length of shear array in which the possible emergence of critical stress.

The obtained results allow to clearly trace the pattern shift with changes in the pipeline and a layer of soil properties and say that the magnitude of the stress variable along the length of the pipeline. Pipeline located in the transition zone of weak soils and soils that have a fairly large carrying capacity, characterized by increased levels of stress characteristics of VAT and will have the greatest displacement of the gas pipeline project location.

The recommendations for the study accuracy of geodetic work in monitoringthe pipeline in dangerous geological conditions.

Keywords: *gas pipeline (MG), the stress-strain state (NDS), the deflection of the pipeline.*

Надійшла до редакції 3.04.2013.

УДК 528.3

Р.В. Шульц,*д-р техн.наук, професор кафедри інженерної геодезії, Київський національний університет будівництва і архітектури*,
О.І.Терещук,*канд.техн.наук,доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський державний інститут економіки та управління*,
А.О.Анненков, *канд.техн.наук, доцент кафедри інженерної геодезії, Донбаська національна академія будівництва і архітектури*
І.О.Нисторяк,*асп. кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський державний інститут економіки та управління*

ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

У статті висвітлено питання точності координатного забезпечення за допомогою RTK-технологій. Досліджено ефективність застосування шести моделей поправок під час спостережень на пунктах Державної геодезичної мережі в УСК-2000. Виявлено, що локальні спотворення, що не перевищують 20 см, не можуть суттєво вплинути на результати топографічних та кадастрових знімань у межах фрагмента Чернігівської області розміром 100х120 км.

***Ключові слова*:** *GPS, GNSS, референцні станції, RTK-технологія, VRS.*

Постановка проблеми. Система супутникового позиціонування на основі наземної мережі активних референцних GNSS-станційдає змогу точно визначати координати під час статичних спостережень та врежимі реального часу (RTK). Відомі методи RTK мають властивості зменшувати похибки, які залежать від відстані, що дає можливість збільшити

відстань між базовою станцією та пересувною (ровером), тобто довжину базових ліній. Для отримання розв'язку потрібно, щоб ровер був наділений алгоритмом, здатним обирати, дані яких базових станцій будуть використані для отримання рішення, яка кількість станцій і яка методика використовуватиметься для зменшення похибок. Зазначимо, що тоді ровер може постійно оцінювати точність отриманого RTK-розв'язку і стежити за ефективністю диференціальної корекції. У цьому полягає перевага такого підходу. Отже, якщо згідно з алгоритмом ровера рішення не є оптимальним з певних причин, він може обрати іншу стратегію корекції й отримати оптимальний мережевий розв'язок.

У випадку, коли сервер керує мережевим RTK-розв'язком, він використовує одну стратегію, оптимальну для мережі, але не для окремого ровера. Серверу не відомо, в яких умовах працює кожний ровер і, якщо мережеве рішення не підходить для якогось ровера, RTK-розв'язок може не бути оптимальним і швидка ініціалізація – недотриманою.Тоді, щоб гарантовано виконувати швидку ініціалізацію і забезпечувати оптимізацію RTK-розв'язку, ровер повинен бути здатним керувати RTK-розв'язком. Звідси випливає, що GNSS-мережа моделює (продукує) різними методами RTK-поправки залежно від можливостей та взаємодії з роверним приймачем. Метод формування поправок, застосовуваний у мережі RTK, як зазначалося, значною мірою залежить від мінімізації похибки, зумовленої відстанню. Моделювання за методами, наприкладMAX,FKP та Virtual Reference Station (рис. 1), виконується або на сервері мережі, або ровером.

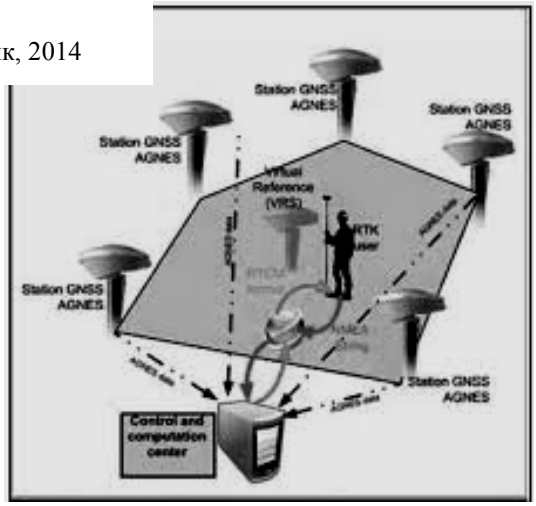


Рис.1. Метод VRS

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням практичної реалізації комерційної RTK-мережевої служби надано особливої уваги у роботі [20]. У вересні 2000 року для громадськості Японії був введений прототип інфраструктури для комерційної RTK-корекції. Пропонуються принципи розвитку супутникової інфраструктури для використання різних каналів передавання даних, зокрема послуги з широкомовної передачі, стільникові телефони та Інтернет, обговорюється також підхід до вибору алгоритму мережі RTK (рис.1). Висвітлено питання концепції розвитку системи, зокрема інтернет-глобалізації - GALILEO, ГЛОНАСС і точне використання ефемерид. Ідея кінематики в реальному часі RTK-послуг мережі була розроблена багато років тому, але тільки недавно їх реалізацію розпочато в деяких країнах. Важливість мережі RTK збільшується щороку.

Основною проблемою, на думку авторів, є необхідність розміщення базової станції в безпосередній близькості до користувача. Відстань від базової станції в разівикористання RTK повинна бути не більшою за 10 км, на відміну від DGPS, коли відстань до базової станції може перевищувати кілька сотень кілометрів. Це означає, що для забезпечення площі 1000 км^2 надійним сервісом служби RTK повинно бути встановлено близько 2500 базових станцій. Єдиний спосіб подолати цю проблему із збереженням точності і часу для ініціалізації полягає у застосуванні підходу, аналогічного до WAAS, а саме – зменшення кількості базових станцій, наприклад, до 100 – 400 залежно від іоносферних умов. Така об'єднана мережа станцій, кожна з яких надсилає корекції даних через лінії передачі даних до центру управління, який обробляє їх та вдруге посилає визначені поправки до користувача іншим каналом передавання даних.

У космічному позиціонуванні, де методи спостереження забезпечують абсолютне положення відносно земної системи точного визначення, реалізація наземних та інерційних систем відліку має принципове значення [19].

Завдяки значному поліпшенню технології приймача, розширенню й ущільненню супутникової мережі разом з більш точним 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. Нині послуга RTK дає змогу визначати координати з середньою похибкою у межах 0,02 – 0,03 м в плані та з похибкою не більше 0,1 м по висоті в реальному часі безпосередньо під час польових робіт на місцевості. Для прикладу схематично покажемо принцип роботи в RTK-режимі німецької GNSS-мережі SAPOS (рис.2).

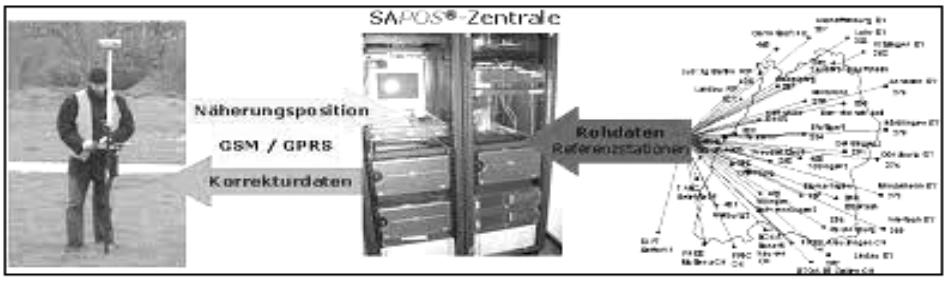


Рис. 2. Принцип роботи RTK-технологій у GNSS-мережі SAPOS

Спеціально для реалізації RTK-режиму була розроблена технологія NTRIP (NetworkedTransportofRTCMviaInternetProtocol) [23], яка є спеціальним TCP-протоколом для передавання даних за допомогою мережі Інтернет, покликаним забезпечити значній кількості користувачів надійний доступ до поправок і даних спостережень референцних станцій.

Нині технологія RTKшироко впроваджується і на території нашої держави. Зокрема, у Закарпатській області створена перша в Україні мережа референцних станцій UA-EUPOS/ZAKPOS, яка вже введенна в експлуатацію та успішно працює [5; 6; 12; 20]. За короткий час створена також аналогічна мережа System.NET [23], яка охопила покриттям майже 90% території країни. З метою реалізації науково-дослідних та виробничих проектів створюються також і локальні GNSS-мережі у Львівській [7; 8; 9; 10;

11], Харківській [1; 2; 3; 4; 18], Чернігівській [3; 13; 14; 15; 16; 17] та інших областях. Впровадження в Україні нової високоефективної технології супутникового позиціонування – технології RTK дасть змогу досліджувати різноманітні наукові питання, такі як отримання та передавання диференційних поправок в реальному часі, та розробляти науково-методичне забезпечення і рекомендації щодо вдосконалення високотехнологічних виробничих процесів.

Метоюпропонованої роботи є дослідження точності визначення координат пунктів за методикою RTK, із застосованням різних способів моделювання поправок у референцній GNSS-мережі.

Виклад основного матеріалу. Як вже зазначено, через різну взаємодію між мережею та ровером у кожному способі можливі відмінності в реалізації точності і надійності місцеположення роверної станції. Дослідимо на конкретному прикладі, наскільки справедливим є таке твердження.

Робота була побудована таким чином. Перед виїздом у поле на базі факультету, що на вул. Бєлова, 4, були виконані налаштування приймачів. У спостереженнях брали участь шість бригад – одна з Києва та п’ять з Чернігова, мультисистемні GNSS-приймачі були різних фірм-виробників, їх характеристики подані у табл. 1. До налаштування приймачів належало налагодити зв’язок із сервером мережі SystemNET, виконати тестові спостереження за різних конфігурацій та контрольні вимірювання точок на території інституту, які належатьдо мережі полігонометричних ходів навчально-геодезичного полігону інженерно-будівельного факультету. Доступ до сервера мережі System.NET відбувався через протокол NTRIP, а поправки передавалися в форматі RTCM*v*3.

Таблиця 1

Характеристика GNSS-приймачів та антен

№ бри-гади	Система GNSS	Приймач	Антена	Серійний номер приймача	Серійний номер антени
1	**GPS**	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472882	09280025
2	**GPS+GLONASS**	Leica GX 1230GG	AX 1202 OO	472818	08480025
3	**GPS+GLONASS**	LeicaGS0 8 plus	контролер CS-10	2526772	1850914
4	**GPS+GLONASS**	**GeoMAX** Zenith 10	контролер Getac PS 236		GMZ 103640003
5	**GPS+GLONASS**	LeicaCS25	Leica Zeno GG03	206017	0242922
6	**GPS**	Topcon GRS1		59402027	308-21177

Після налаштування приймачів та узгодження деяких організаційних питань, бригади роз’їхалися на пункти спостережень, перелік яких заздалегідь отримав кожен бригадир. У процесі підготовки експерименту нам не вдалося повною мірою рекогностувати пункти Державної геодезичної мережі північного регіону і забезпечити карточками прив’язки пунктів тріангуляції та полігонометрії. Тому пошук пунктів виконували здебільшогоGPS-приймачами за методом «виносу точки», попередньо ввівши

у контролер координати шуканого пункту. Вимірювання виконували в системі координат СК63.

Як приклад на рис.3 показано знаходження пункту тріангуляції Петрівське (PTRV) 3 кл. До речі, цей пункт знаходиться, як і переважна більшість інших, на переораних та засіяних озимими полях, без жодного окопування, без ропізнавальних елементів, на зразок «курганчика». Зауважимо, що процес пошуку пункту потребував стільки часу, скільки потрібно для його відкопування, не враховуючи часу на пішу ходу до місця, куди транспорт не міг доїхати. Траплялося так, що глибина залягання центру подекуди сягала 0,80 – 1,0 м.

Спостереження можна умовно поділити на декілька етапів. На першому етапі для передаванняRTK-поправок були використані перманентні станції мережі System.NET (Чернігів, Київ, Славутич, Щорс, Конотоп, Ніжин, Прилуки, Ромни, Новгород-Сіверський). Усі станції окрім останньої, брали участь у передаванніRTK-поправок у форматі RTCM*v*3 на надану IP-адресу через NtripCaster кожного приймача. Як відомо, протокол Ntrip розроблено німецьким федеральним агентством з картографії і геодезії та кафедрою комп'ютерних наук Дортмундського університету і випущений у вересні 2004 року як «Рекомендовані стандарти для мережевої передачі через Інтернет-протокол (NTRIP), версія 1.0». Нинішня версія протоколу є версією 2.0 з поправкою 1 від 28 червня 2011 року.

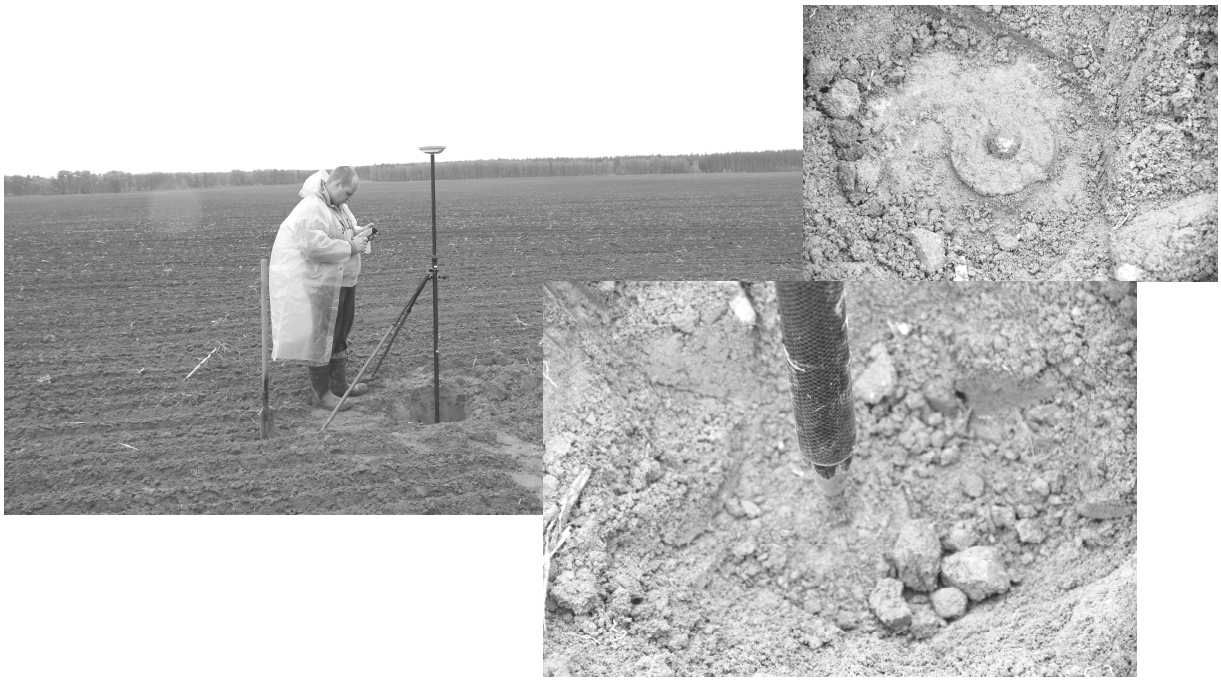


Рис. 3. Знаходження пункту тріангуляції Петрівське, 3 кл.

Роботи на пунктах розпочинали зі статичних спостережень (протягом не менш як 1 год) для отримання контрольних значень координат. Були вибрані пункти тріангуляції навколо Чернігова як базові – Київка (KINK), Яцево (JATS), Глушець (GLUS), на яких спостереження першого дня відбувалися в режимі «статика» майже протягом шістьох годин. За цей час решта три бригади спостерігали на пунктах міської полігонометрії,

щоразу починаючи з годинного режиму «FastStatic»,а потім в RTK-режимі. Далі роверні приймачі налаштовували на прийом поправок від мережі System.NET. Для цього у контролерах були створені шість проектів, які мали різну конфігурацію, наприклад, проекту для бригади №5 надавали ім'я - 5.ата визначали місце, де буде зберігатися база даних цього проекту. Першепозначення в назві проекту змінюватися не буде – це номер бригади. Інші літери замінюються залежно від режиму (конфігурації) знімання, а саме: 5.a – autom; 5.v – vrs (virtualreferencestation); 5.n – nearest; 5.kv– точка монтування (kvda); 5.nz– точка монтування (nizh); 5.ch – точка монтування (cniv).

Примітка:

autom – automax – технологія мережевого RTK, розроблена компанією Leica Geosystems є базовою в роботі в мережі System.NET(рис.4). У разі використання цієї технології поправки вираховуються одночасно від кількох базових станцій;

vrs – Virtual reference station – технологія створення віртуальної базової станції в районі робіт, від координат якої відбувається розрахунок точних координат на контролері;

nearest – немережева технологія; поправки надходять від найближчої одиночної базової станції; *(kvda), (nizh), (cniv)* – поправки, отримані з точок монтування одиночних базових перманентних станцій, розміщених у Києві, Ніжині та Чернігові відповідно. Це потрібно було для того, щоб перевірити можливість під'єднання та отримання фіксованого розв'язку в режимі RTKза наддовгих баз (до 200км).

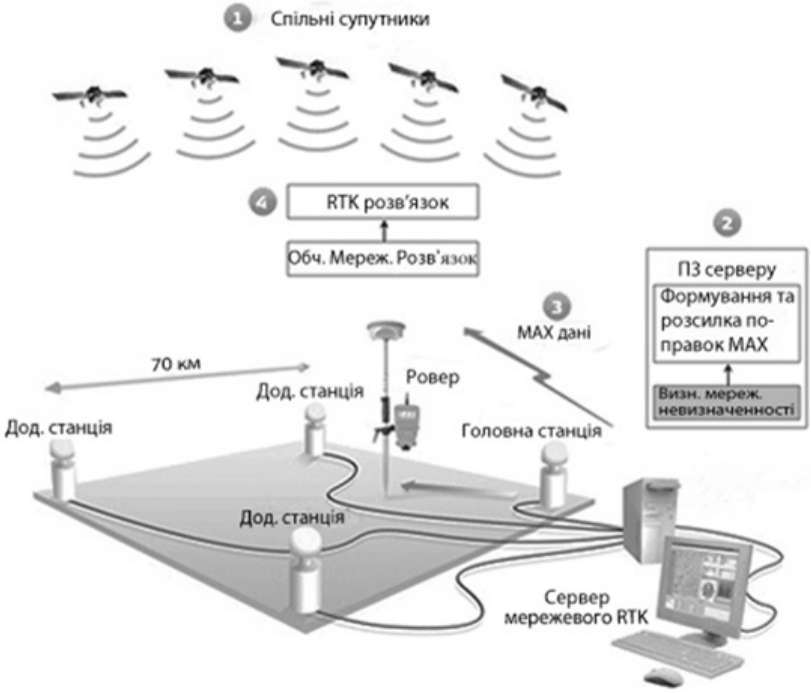


Рис. 4. Схема роботи методуautomax

Під'єднуючись до RTK-сервера, вказуємо його ім'я, наприклад, *autom* – для точки монтування autom, vrs – для точки монтування vrs тощо, IP-адресу - 193.107.25.166 – для всіх конфігурацій, порт - 2114 – для точок: 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 RTCM*v*3.

Перед початком спостережень домовлено 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).

На рис. 5 схематичнопоказано розміщення пунктів полігонометрії та тріангуляції на території міста Чернігова.

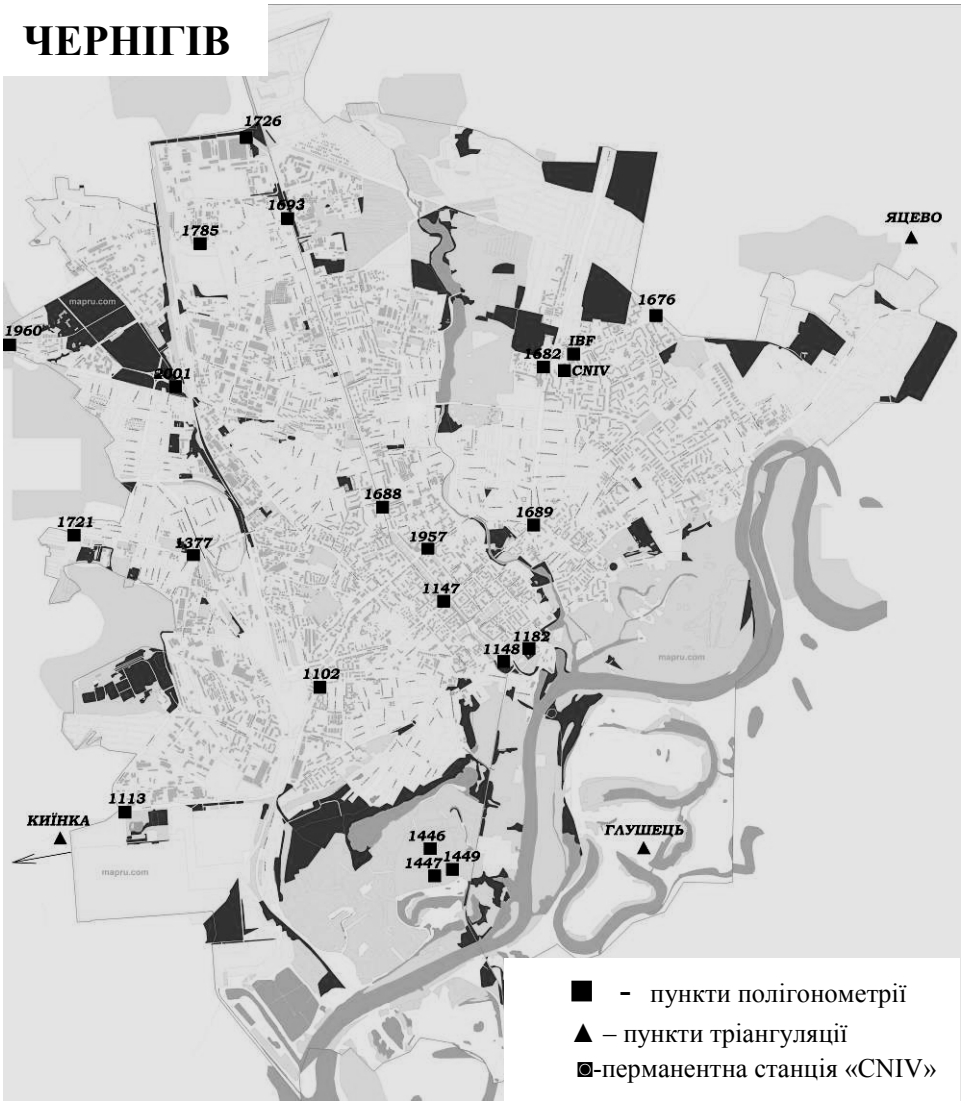


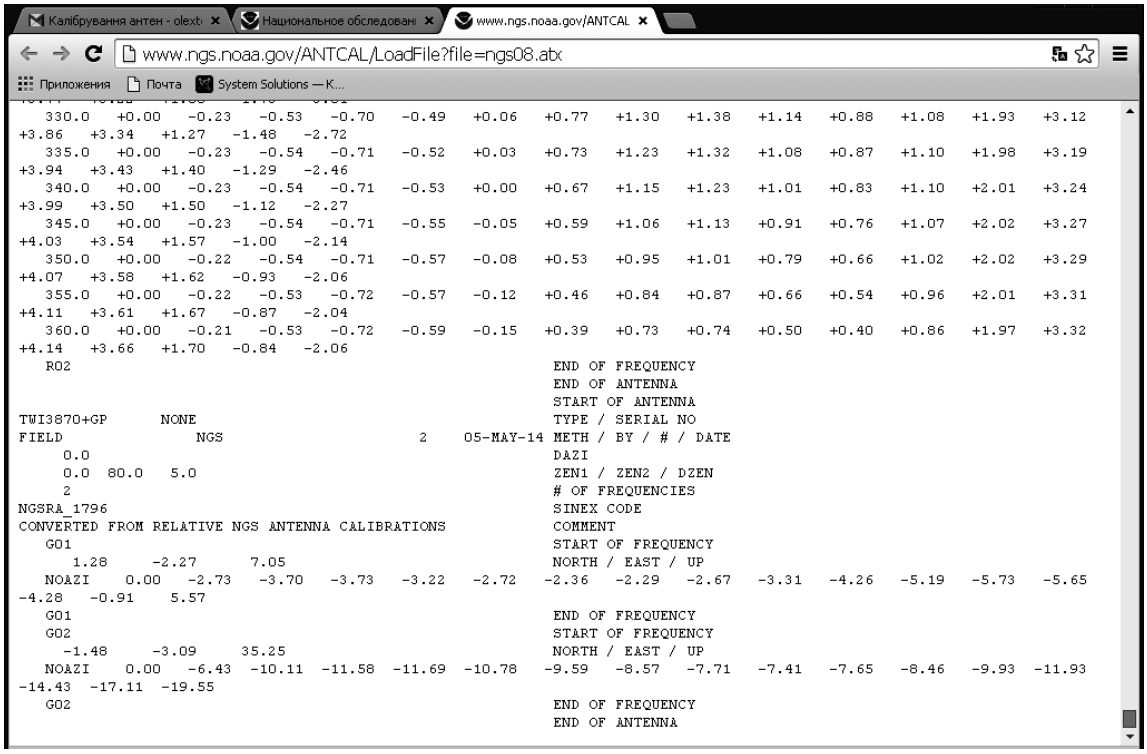
Рис.5. Схема розміщення пунктів у Чернігові

Наступного дня за програмою досліджень було заплановане GNSS-спостереження на пунктах тріангуляції 1, 2 і 3 класів в області (рис. 6). З метою узгодження графіка робіт вимірювання розпочинали всі бригади одночасно – о 7.00 ранку на пунктах тріангуляції, які спостерігалися намиу 2011 році. Після годинної «статики» на цих пунктах переходили до RTK-вимірювань на решті пунктів тріангуляції, які кожна бригада підготувала для себе напередодні. В області працювалочотири бригади, дві – у Чернігові за описаною програмою.

Рис. 6. Схематичне розміщення пунктів тріангуляції на Чернігівщині, на яких виконували GNSS спостереження

Під час супутникових вимірювань методом RTK використаноGSM/GPRS операторів мобільного зв’язку – «Київстар» та МТС як таких, що задовольняють багатьох користувачів площею покриття мережі та якістю зв’язку. Використовуючи технологію NTRIP, ми сподівалися отримати хороші результати навіть за значних віддалей між ровером та референцною станцією.

Обробку результатів спостережень виконували фахівці Науково-дослідного інституту геодезії та картографії. Перед початком оброблення результатів супутникових спостережень слід визначити та ввести абсолютні поправки за калібрування антен приймачів. Для цього ми скористалися даними, офіційно опублікованими на сайті NGS та схваленими до застосування для певних приладів і послуг(рис. 7).



```
   330.0   +0.00   -0.23   -0.53   -0.70   -0.49   +0.06   +0.77   +1.30   +1.38   +1.14   +0.88   +1.08   +1.93   +3.12
+3.86   +3.34   +1.27   -1.48   -2.72
   335.0   +0.00   -0.23   -0.54   -0.71   -0.52   +0.03   +0.73   +1.23   +1.32   +1.08   +0.87   +1.10   +1.98   +3.19
+3.94   +3.43   +1.40   -1.29   -2.46
   340.0   +0.00   -0.23   -0.54   -0.71   -0.53   +0.00   +0.67   +1.15   +1.23   +1.01   +0.83   +1.10   +2.01   +3.24
+3.99   +3.50   +1.50   -1.12   -2.27
   345.0   +0.00   -0.23   -0.54   -0.71   -0.55   -0.05   +0.59   +1.06   +1.13   +0.91   +0.76   +1.07   +2.02   +3.27
+4.03   +3.54   +1.57   -1.00   -2.14
   350.0   +0.00   -0.22   -0.54   -0.71   -0.57   -0.08   +0.53   +0.95   +1.01   +0.79   +0.66   +1.02   +2.02   +3.29
+4.07   +3.58   +1.62   -0.93   -2.06
   355.0   +0.00   -0.22   -0.53   -0.72   -0.57   -0.12   +0.46   +0.84   +0.87   +0.66   +0.54   +0.96   +2.01   +3.31
+4.11   +3.61   +1.67   -0.87   -2.04
   360.0   +0.00   -0.21   -0.53   -0.72   -0.59   -0.15   +0.39   +0.73   +0.74   +0.50   +0.40   +0.86   +1.97   +3.32
+4.14   +3.66   +1.70   -0.84   -2.06
   R02                                                     END OF FREQUENCY
                                                           END OF ANTENNA
                                                           START OF ANTENNA
TWI3870+GP      NONE                                       TYPE / SERIAL NO
FIELD               NGS                     2    05-MAY-14 METH / BY / # / DATE
     0.0                                                   DAZI
     0.0  80.0   5.0                                       ZEN1 / ZEN2 / DZEN
     2                                                     # OF FREQUENCIES
NGSRA_1796                                                 SINEX CODE
CONVERTED FROM RELATIVE NGS ANTENNA CALIBRATIONS           COMMENT
   G01                                                     START OF FREQUENCY
      1.28     -2.27      7.05                             NORTH / EAST / UP
   NOAZI    0.00   -2.73   -3.70   -3.73   -3.22   -2.72  -2.36   -2.29   -2.67   -3.31   -4.26   -5.19   -5.73   -5.65
-4.28   -0.91    5.57
   G01                                                     END OF FREQUENCY
   G02                                                     START OF FREQUENCY
     -1.48     -3.09     35.25                             NORTH / EAST / UP
   NOAZI    0.00   -6.43  -10.11  -11.58  -11.69  -10.78  -9.59   -8.57   -7.71   -7.41   -7.65   -8.46   -9.93  -11.93
-14.43  -17.11  -19.55
   G02                                                     END OF FREQUENCY
                                                           END OF ANTENNA
```

Рис. 7. Web-сторінка NGS з калібруванням для антени приймача LeicaGS08 plus

Абсолютні значення калібрувань використовують для оброблення даних з CORS в IGS08 епохи 2005,00 і NAD 83 (2011, MA 11, PA 11) епохи 2010,00. Для прикладу наводимо дані калібрування для антени приймача LeicaGS08 plus. Ці значення калібрувань мають певну відмінність від попередніх, наприклад, якщо їх використовувати для оброблення даних з CORS в ITRF00 епохи 1997,00 і NAD 83 (CORS 96, PACP00, MARP00) епохи 2002,00.

Дані калібрувань для антени приймача LeicaGS08 plus

LEIGS08PLUS NONE Internal geodetic antenna L1/L2, SmartTr IGS (5) 12/09/24
1.0 1.4 62.4
0.0 -0.1 -0.3 -0.7 -1.1 -1.4 -1.4 -1.2 -0.8 -0.5
-0.3 -0.5 -0.9 -1.2 -1.0 -0.2 1.1 2.1 2.0
0.6 -0.5 62.7
0.0 -0.0 -0.1 -0.3 -0.6 -0.9 -1.4 -1.8 -2.1 -2.0
-1.4 -0.5 0.6 1.3 1.4 0.7 -0.2 -0.3 1.8

Оскільки параметри зв’язку між системами IGS08 та ITRF2008 дорівнюють нулю, то на початку координати пунктів мережі були наведені на епоху 2005.0. Далі координати перераховувалися із системи ITRF2008 у систему ITRF2005 за офіційними параметрами зв’язку, опублікованими службою IGS [24] за такою формулою:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF\,2005} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF\,2008} + \begin{bmatrix} m & +\varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & m & +\varepsilon_X \\ +\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF\,2008} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Після цього координати пунктів Чернігівської мережі булипереераховані із системи ITRF2005 у Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 за параметрами, визначеними НДІГК за формулою:

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

Після перерахунку у систему УСК-2000 координати станцій мережі перетворювалися із просторових геоцентричних у плоскі прямокутні в проекції Гаусса-Крюгера у відповідні шестиградусні зони. Значення координат пунктів отримано також в СК-42.

За початкові взято значення з каталога координат. Нагадаємо, що на кожному пункті спостереження виконувалися у режимі RTK за різними конфігураціями.

Запишемо систему рівнянь:

$$\delta(a)_{i,j} = \varpi_a(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j);\ \delta(n)_{i,j} = \varpi_n(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j);\ \delta(v)_{i,j} = \varpi_v(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j);$$

$$\delta(Ch)_{i,j} = \varpi_{Ch}(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j);\ \delta(Nz)_{i,j} = \varpi_{Nz}(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j);\ \delta(Kv)_{i,j} = \varpi_{Kv}(X_iY_j) - \kappa(X_iY_j), \quad (3)$$

де $\delta(a)_{i,j}$, $\delta(n)_{i,j}$, $\delta(v)_{i,j}$, $\delta(Ch)_{i,j}$, $\delta(Nz)_{i,j}$, $\delta(Kv)_{i,j}$ - похибки у значеннях координат, виміряних RTK за методами за шести різних конфігурацій; $\varpi_a(X_iY_j)$, $\varpi_n(X_iY_j)$, $\varpi_v(X_iY_j)$, $\varpi_{Ch}(X_iY_j)$, $\varpi_{Nz}(X_iY_j)$, $\varpi_{Kv}(X_iY_j)$ - виміряні значення координат за різних конфігурацій RTK-спостережень; $\kappa(X_iY_j)$ - каталожні значення координат пунктів тріангуляційної мережі Чернігівщини.

Використавши систему рівнянь (3), зведемо результати опрацювання даних у табличному вигляді, представивши у табл. 2 похибки визначення координат пунктів тріангуляційної мережі Чернігівщини за різних конфігураційRTK-знімання.

Таблиця 2

Похибки визначення координат пунктів тріангуляційної мережі Чернігівщини за різних конфігураційRTK-знімання

Конфігурація/ пункти, клас	**auto** $\delta(a)_{i,j}$	**near** $\delta(n)_{i,j}$	**vrs** $\delta(v)_{i,j}$	**Ch** $\delta(Ch)_{i,j}$	**Nz** $\delta(Nz)_{i,j}$	**Kv** $\delta(Kv)_{i,j}$
Київка, 2 кл	-0,016	-0,012	0,009	-0,007	0,030	
	0,019	0,014	0,030	0,019	0,058	
Кроти, 3 кл	0,030	0,006	0,031			
	-0,016	-0,017	-0,005			
Сухоставець, 3 кл	0,231	0,019	0,021			
	-0,032	-0,052	-0,048			
Рудівка, 2 кл	0,009	-0,025	0,007		0,096	
	-0,005	-0,000	0,009		-0,026	
Мал. Дівиця, 2 кл	0,013	-0,082	-0,042		0,081	
	-0,036	-0,009	-0,022		0,008	
Яцеве, 2 кл	0,005	-0,146	0,476		0,001	0,037
	0,007	-0,056	0,034		0,002	-0,227
Вовча Гора, 1 кл	0,011	0,004	0,015	-0,129		-0,003
	-0,009	-0,012	-0,009	-0,054		-0,014
Орлове, 3 кл	-0,054	-0,056	-0,065	-0,079		-0,047

	0,018	0,013	0,016	0,018		0,012

Закінчення табл. 2

Конфігурація/ пункти, клас	**auto** $\delta(a)_{i,j}$	**near** $\delta(n)_{i,j}$	**vrs** $\delta(v)_{i,j}$	**Ch** $\delta(Ch)_{i,j}$	**Nz** $\delta(Nz)_{i,j}$	**Kv** $\delta(Kv)_{i,j}$
Булахів, 2 кл	-0,019					
	0,102					
Петрівське, 3 кл	0,005	0,012	0,004			0,005
	0,018	0,008	0,013			0,010
Мог. Балачаха, 3 кл	-0,222					-0,011
	-0,045					0,016
Браниця, 2 кл	0,198	-0,025	0,099	0,199	0,192	-0,115
	0,176	0,030	0,101	0,029	0,159	-0,045
Данівка, 2 кл	-0,022	0,119	-0,087	0,298	0,122	-0,100
	0,005	0,083	0,124	0,005	0,125	-0,007
Димерка, 3 кл	0,010	0,020	0,021	0,021	0,016	-0,160
	0,039	0,028	0,036	0,031	0,030	-0,013
Кіпті, 2 кл	0,032	0,039	0,037	0,028	0,034	-0,092
	0,043	0,035	0,038	0,026	0,037	-0,009
Глущець, 3 кл	-0,011	-0,009	-0,006	0,149	-0,112	0,446
	0,013	0,009	-0,006	-0,012	0,103	-0,054
Березівка, 2 кл	-0,009	-0,003	-0,018	-0,002		-0,025
	0,056	0,045	0,050	0,041		0,047

*Примітка.*Дані спостережень наведені не в повному обсязі.

Як видно, не на кожному пункті вдалося досягти фіксованого розв’язку саме через проблеми зі зв’язком. Зазначимо, що в період проведення експериментальних робіт спостерігалися «перебої» в отриманні поправок від станцій «CNIV» та «NIZH».

Аналізуючи дані таблиці 2, можна дійти висновку, що точність RTK вимірювань залежить від довжини векторів, а саме: не варто перевищувати їх значення понад 100 км за похибок планового положення від 2 до 5 см. За потреби отримання вищої точності польових топографо-геодезичних робіт в межах 1–2 см слід використовувати технологію мережевого RTK – automax або nearest - немережеву технологію, поправки якої надходять від найближчої одиночної базової станції. Можна також скористатися поправками, отриманими з відповідних точок монтування, попередньо погодивши їх з оператором мережі. Правда, в таких випадках слід бути добре обізнаним з розміщенням пунктів супутникової перманентної мережі у районі ймовірних польових робіт, оскільки віддаленість базової станції від «ровера» може негативно позначитися на точності спостережень. Похибки 10 см і більше, що деколи трапляються під час спостережень в інших RTK-режимах, на нашу думку, можуть бути спричинені негативним впливом на вимірювання зовнішніх знаків – 4 - або 6 - метрових металевих пірамід, які ще подекуди збереглися. Це, зокрема, стосується пунктів Данівка, 2 кл, Браниця, 2 кл., (рис. 8.) а також Могила Балачаха, 3 кл., на інших пунктах точність визначення координат становить ±5 см.

Рис. 8. Розміщення зовнішніх знаків – металевих пірамід на пунктах тріангуляції: *а* – Данівка, 2 кл;*б* – Браниці, 2 кл.

Нами виконано графічне представлення результатів обробки супутникових спостережень у межах Чернігівської області для усіх шести RTK-конфігурацій. У статті(рис.9 та 10) наводимо розподіл похибок координат $\delta(a)_i$та $\delta(a)_j$тільки у режимі automax як такого, що найчастіше застосовується під час виконання кадастрових робіт.

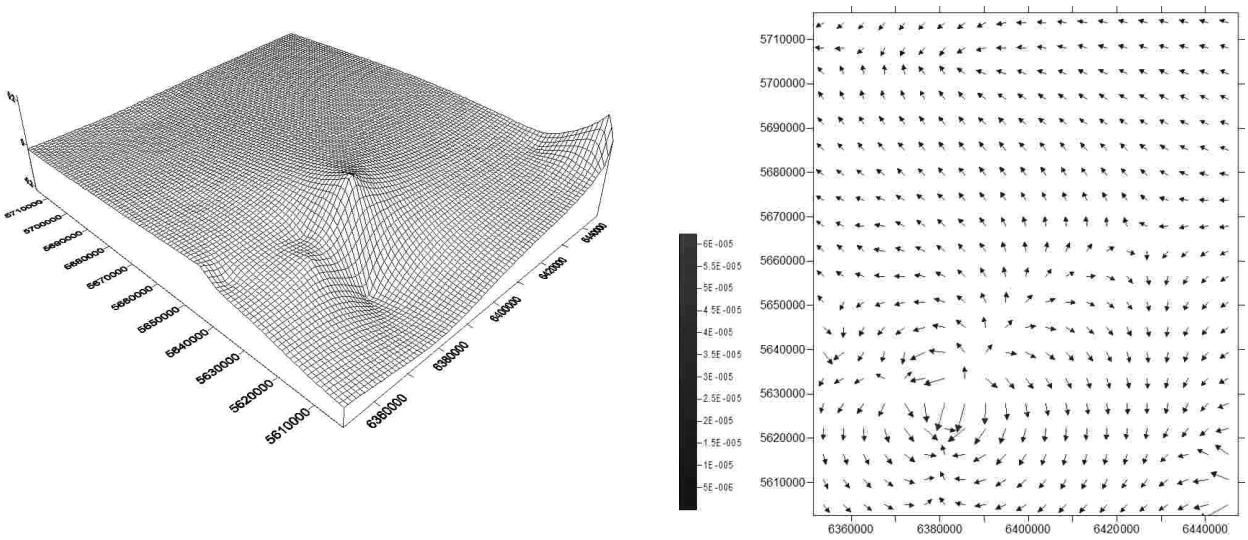


Рис. 9. Графічне зображення розподілу похибок координат $\delta(a)_i$ під час RTK-вимірювань у конфігурації automax на території Чернігівщини

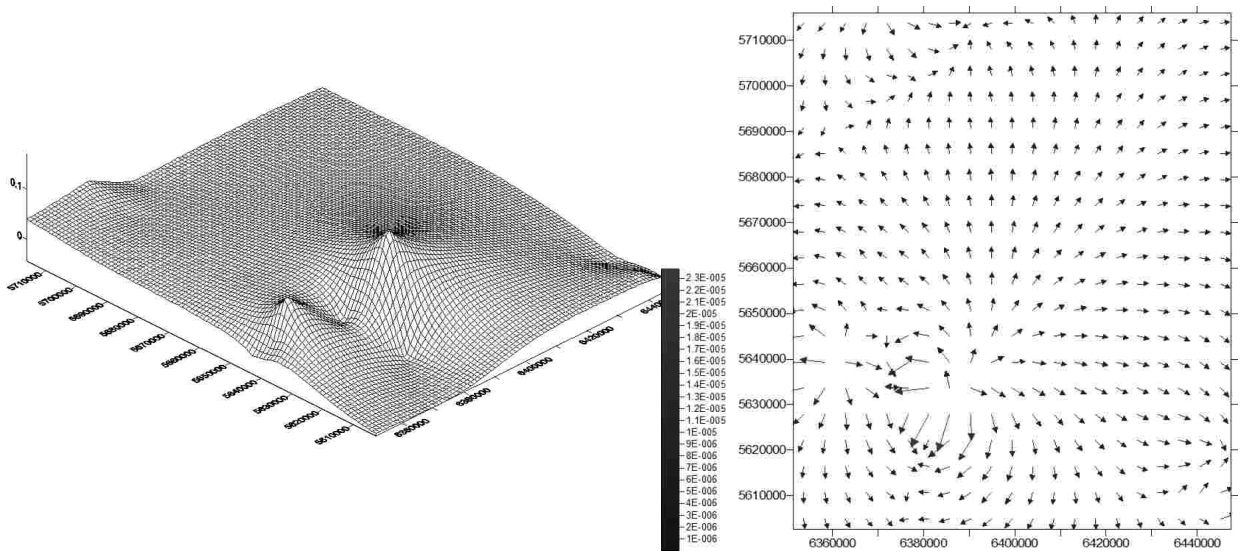


Рис. 10. Графічне зображення розподілу похибок координат $\delta(a)_j$ під час RTK-вимірювань в конфігурації automax на території Чернігівщини

Аналізуючи графічний матеріал, зауважуємо відносно спокійний характер зміни похибок координат як в одному, так і в другому випадках. Помітно рівновеликий «стрибок» точності планового положення, як на осі абсцис X, так і на осі ординат Y, пунктів, у координатному відношенні відповідних пунктам тріангуляції 2-го класу (Браниця, а також Данівка) та точність визначення координат яких становить близько 0,2 м. На нашу думку, таке локальне спотворення завбільшки 20 см, не може суттєво вплинути на результати топографічних та кадастрових знімань у межах фрагмента Чернігівської області з розмірами 100х120 км.

Висновки. Подана оцінка точності стосується до пунктів Державної геодезичної мережі другого класу, хоча на практиці у більшості випадків доводиться використовувати також пункти розрядних мереж. У такому випадку слід очікувати більших розбіжностей, і наші дослідження містять таку інформацію.

Отже, доцільність застосування сучасних супутникових технологій в практиці геодезичного та кадастрового забезпечення є очевидною. Для успішної роботи RTK-технології з метою визначення координат пунктів можна застосовувати різні способи моделювання поправок у референцній GNSS-мережі. При цьому практична точність методу RTKза різних моделювань (конфігурацій) поправок цілком задовольняє вимогам кадастрового знімання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Горб А.И.* Анализ точности GPS измерений в сети базовых станций / А.И. Горб, Р.В. Нежальский, Р.Н. Федоренко [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук.праць. – Львів: Львівська Політехніка, 2006. – С.97–102.

2. *ГорбА.И.* Использованиеметодаанализа иерархийдля оптимальноговыбора канала информационного обмена в локальной сети GPSстанций / А.И. Горб, А.В. Прокопов,Р.В. Нежальский [Текст] // Сучасні досягнення геодезичноїнауки та

виробництва: зб. наук.праць. – Львів: Львівська Політехніка, 2007. -Вип.II (14). – С.118-122.

3. *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.– 2007.–С. 185.

4. *Інформаційно-вимірювальна*GNSS система та мережна VRS технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок /Я.С.Яцків, В.П. Харченко, В.М. Шокало, О.І. Терещук та ін.:зб. наук. праць міжнар. конф. «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід». – Чернігів: Чернігівські обереги, 2008. – Вип.4. – С.5-24.

5. *Гринишина-Полюга О.Я.* Порівняльна характеристика визначення координат активних референцних станцій мережіZAKPOS/UA – EUPOSза даними спостережень 2009 / 2010 рр. [Текст] /О.Я. Гриншина-Полюга //Геодезія, картографія, аерофотознімання, 2010. – Вип.73. – С.7-13.

6. *Калинич І.В.* Проектування супутникової системи координатного забезпечення задач земельного кадастру на прикладі Закарпатського регіону / І.В. Калинич, С.Г. Савчук, К.Р. Третяк // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід: зб. наук. праць. – Чернігів: Чернігівські обереги, 2007. – Вип.3. – С.87–91.

7. *Савчук С.Г.* Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат / С.Г. Савчук //Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка, 2007. – Вип.69. – С.20–33.

8. *Савчук С.Г.* Дослідження точності визначення координат базової GNSS-станції Львівського національного аграрного університету / С.Г. Савчук, В.В. Петак, С.П. Перій// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць – Львів: Львівська політехніка. – 2012. – Вип.2 (24). – С.51–56.

9. *Савчук С.Г.* Використання технології віртуальних референцних станцій для координатного забезпечення геодезичних та кадастрових робіт/ С.Г. Савчук, Р.М. Гошовський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка. – 2010.– Вип.11 (20). — С.102–107.

10. *Савчук С.Г.* Визначення координат пунктів у системі УСК-2000 із GPS-спостережень/ С.Г. Савчук, А.Р. Задемленюк, Р.В. Вовк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка. – Вип. II(24). – 2012. – С.57-60.

11.*Савчук С.Г.* Методика і попередні результати експериментальних досліджень ефективності використання сигналів GLONASS під час RTK вимірювань / С.Г. Савчук, В.Б. Керкер // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка. – 2011. – Вип.75. – С.25–30.

12.*Савчук С.Г.* Перша мережа активних референцних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи становлення та початок діяльності / С.Г. Савчук, І.І. Проданець, І.В. Калинич // Геопрофиль. – К.: 2010. –Вип.I (10). – С. 16-23.

13. *Терещук О.І.* ПроектмережіактивнихперманентнихGPS-станційПівнічногорегіонуУкраїни [Текст] / О.І. Терещук, С.Г. Савчук:зб. наук.

працьміжнар. конф. «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід». – Чернігів: Чернігівські обереги. – 2007. – С. 16-23.

14. *Терещук О.І.* Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України/ О.І. Терещук, Я.С. Яцків, О.О. Хода та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка – 2012. – Вип. І(23). – С. 38–40.

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

16. *Терещук О.І.* Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині/ О.І. Терещук, І.О. Нисторяк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка, 2013. – Вип. ІІ(26). – С. 58-61.

17. *Терещук О.І.* Аналіз проведення першої кампанії у Північному регіоні України / О.І. Терещук, І.О. Нисторяк// Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа: ел. зб. наук. праць. – 2012 – Вип.1 (3). – С.18-22. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.chasopis.geci.cn.ua/index.php/uk/current-issue/item/40-seriya-2-tehnika-i-priroda-elektronniy-zbirnik-naukovih-prats.html. – Назва з екрана.

18. *Результати* експериментальних досліджень реалізації DGPS/RTK режиму супутникового позиціонування з використанням NTRIP-технології/ Д.О. Шелковєнков, О.О. Желанов, О.О. Жаліло та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська політехніка. – 2008. – Вип. І (15). – С.125–132.

19.*Šimek*Jaroslav(2000) ModernGeodeticnetworkanddatuminEurope / *Šimek*Jaroslav, Jan Kostelecky // FIGWorkingWeek 2000, 21-26 May, Prague. Retrieved from http://www.fig.net/pub/proceedings/prague-final-papers/simek-kostelecky.htm.

20. *PetrovskiI.*(2001) The Issues of Practical Implementation of the Commercial RTK Network Service/I.Petrovski, S. Kawaguchi, H. Torimoto [et al.]//ION GPS-01. September, 11 – 14, 2001, Salt Lake City. Retrieved from: http://www.academia.edu/4426357/The_Issues_of_Practical_Implementation_of_the_Commercial_RTK_Network_Service.

21. *SavchukS.*, KalynychI., 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.

22. *Сайт* «Systemsolution» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/map-ukr.

23. *Сайт*«GNSSDataCenter» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf

NetworkedTransportofRTCMviaInternetProtocol (NTRIP)// http://igs.bkg.bund.de /root_ftp/TRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf.

24.*Site* Map. – Retrieved from http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php.

REFERENCES

1. GorbA.I., NezhalskyiR.V., FedorenkoR.N. (2006). AnaliztochnostiGPSizmerenyivsetibazovykhstantsyi [Analysis of the accuracy of GPS

measurements in the network of base stations]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry*, (pp. 97 – 102). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Russian].

2. GorbA.I., NezhalskyiR.V., Prokopov A.V. (2007). Ispolzovanie metoda analiza ierarhiy dlya optimalnogo vyibora kanala informatsionnogo obmena v lokalnoy seti GPS stantsiy [Using the analytic hierarchy process for optimum selection of the channel for information exchange in the local network GPS stations] *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry,* (issue II(14)), (pp. 118 – 122). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Russian].

3. Informatsiino-vymiriuvalna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiia zabezpechennia heodezychnykh i kadastrovykh ziomok u Zakarpatti ta Chernihivshchyni [Information-measuring GNSS system and technology of VRS network providing geodetic and cadastral surveying in Zakarpattia and Chernihiv](2007). *Zakliuchnyi zvit pro vykonannia naukovo-tekhnichnoho proektu, HAO NANU - Final Report on the development project, MAO NASU* [in Ukrainian].

4. Ya.S.Yatskiv, V.P. Kharchenko, V.M. Shokalo, O.I.Tereshchuk et al. (2008). Informatsiyno-vymiryuvalna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiya zabezpechennya heodezychnykh i kadastrovykh zyomok [Information-measuring GNSS system and technology of VRS network providing geodetic and cadastral surveying]. *Novitni dosyahnennya heodeziyi, heoinformatyky ta zemlevporyadkuvannya – Yevropeys'kyy dosvid. - Latest achievements of geodesy, geoinformatics and land management - European experience*, (issue 4), (pp. 5 - 24). Chernihiv: Chernihivski oberehy [in Ukrainian].

5. Hrynyshyna-Polyuha O.Ya. (2010). Porivnyalna kharakterystyka vyznachennya koordynat aktyvnykh referentsnykh stantsiy merezhi ZAKPOS/UA – EUPOS za danymy sposterezhen 2009 / 2010 rr. [Comparative characteristics of determining the coordinates of active reference stations network ZAKPOS/UA - EUPOS according to observational data 2009/2010]. *Heodeziya, kartohrafiya, aerofotoznimannya – Geodesy, cartography and aerial photographic survey*, 73, 7 – 13 [in Ukrainian].

6. Kalynych I.V. (2007) Proektuvannya suputnykovoyi systemy koordynatnoho zabezpechennya zadach zemelnoho kadastru na prykladi Zakarpatskoho rehionu [The desining of coordinate software satellite system of cadastre problems in Zakarpattya region].*Novitni dosyahnennya heodeziyi, heoinformatyky ta zemlevporyadkuvannya – Yevropeys'kyy dosvid - Latest achievements in geodesy, geoinformatics and land management - European experience*, (issue 3), (pp. 87 – 91). Chernihiv: Chernihivski oberehy [in Ukrainian].

7. Savchuk S.H. (2007) Problemni pytannya pid chas vykorystannya suchasnykh suputnykovykh tekhnolohiy vyznachennya koordynat [Problematic issues when using modern satellite technology of coordinate determination]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue 69), (pp. 20 - 33). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

8. Savchuk S.H. (2012) DoslidzhennyatochnostivyznachennyakoordynatbazovoyiGNSS-stantsiyiLvivskohonatsionalnohoahrarnohouniversytetu[Investigation of accuracy positioning of base GNSS-station of Lviv National Agrarian University]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi*

nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry, (issue 2 (24)), (pp. 51 - 56). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

9. Savchuk S.H., R.M. Hoshovskyy (2010) Vykorystannya tekhnolohiyi virtualnykh referentsnykh stantsiy dlya koordynatnoho zabezpechennya heodezychnykh ta kadastrovykh robit [Using technology of virtual reference stations for the coordinate assurance geodetic and cadastral works]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue II (20)), (pp. 102 - 107). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

10. S. Savchuk, A. Zademlenyuk, R. Vovk (2012) Vyznachennya koordynat punktiv u systemi USK-2000 iz GPS-sposterezhen [Determination of item in the system USK-2000 with GPS observations]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue II (24)), (pp. 57 - 60). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

11. Savchuk S.H., Kerker V.B. (2011) Metodyka i poperedni rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen efektyvnosti vykorystannya syhnaliv GLONASS pid chas RTK vymiryuvan [Methodology and preliminary results of experimental trials of the use of GLONASS signals during RTK measurements]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva. – Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue 75), (pp. 25 – 30). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

12. Savchuk S.H., ProdanetsI.I., Kalynych I.V. (2010) Persha merezha aktyvnykh referentsnykh stantsiy v Ukrayini ZAKPOS. Etapy stanovlennya ta pochatok diyalnosti [The first active network of reference stations in Ukraine ZAKPOS. Development stages and start up]. *Heoprofyl – Geoprofil*, I(10), 16-23 [in Ukrainian].

13. Tereshchuk O.I., Savchuk S.H. (2007) Proekt merezhi aktyvnykh permanentnykh GPS-stantsiy Pivnichnoho rehionu Ukrayiny [The project of active network of permanent GPS-stations of the Northern Region of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh. prats mizhnarodna konferentsiia "Novitni dosyahnennya heodeziyi, heoinformatyky ta zemlevporyadkuvannya – Yevropeyskyy dosvid" - Collected Works of the International Conference "Latest achievements of geodesy, geoinformatics and land management - European experience"*. (pp. 16 - 23). Chernihiv: Chernihivski oberehy [in Ukrainian].

14. Tereshchuk O.I., Yatskiv Ya.S., Khoda O.O. et al. (2012) Persha GNSS-kampaniya u Pivnichnomu rehioni Ukrayiny[The first GNSS-campaign in the North region of Ukraine]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva. – Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue I(23)), (pp. 38 – 40). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].

15. Tereshchuk O.I., Yatskiv Ya.S., Khoda O.O. (2012) Tretya na Chernihivshchyni permanentna GPS-stantsiya [The third permanent GPS-station in Chernihiv region]. *Visnyk heodeziyi ta kartohrafiyi - Journal of Surveying and Mapping*, 2, 18 – 19.

16. Tereshchuk O.I., Nystoryak I.O. (2013) Poperedni rezultaty ta analiz GNSS-sposterezhen na Chernihivshchyni [The preliminary results and analysis of GNSS-observations in Chernihivregion]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva. – Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue II(26)), (pp. 58 – 61). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].