

**Ключевые слова:** *плановые геодезические сети, стабильность сети, векторы смещений, устойчивость к масштабу, дифференциальное вращение, скалярная деформация.*

**O.V. Melnyk**

## **STABILITY ANALYSIS OF PLANNED GEODETIC NETWORKS DURING OBSERVATIONS ON DEFORMATION OF HYDRAULIC STRUCTURES**

*In order to determine the degree of stability of the geodetic network, it is necessary to examine extent of deformation, which is undergoing network. One of the easiest ways to describe the degree of deformation is to determine the displacement of each of the individual points that make up the network.*

*Analysis of concepts in geometry deformation network is similar to the analysis of deformation in solids which is determined as the ratio or proportion of change (gradient) shift the object relative to its position.*

*Is necessary to notice that resistance is considered only in the horizontal system, thus for GNSS measurements necessary to transform the vector of spatial displacements in the horizontal system using matrix rotation. Local displacement gradient is estimated independently for each coordinate. The basis of the proposed methodology for analyzing the deformation geometry of the geodetic network based on the analysis of deformations in solids, as determined through the expansion, rotation and tilt. Is necessary to notice that the highest value for each parameter correspond to the smallest stability of the network at this point. Therefore in the case stable network necessary to achieve relatively small values for these three parameters.*

*Proposed in the article an alternative approach to the study and analysis of reliability and sustainability of planned geodetic networks provided a sufficiently representative results are in good agreement with the results of classical GPS observations, indicating the feasibility of their use and allows you to get current information about the studied deformation processes.*

**Keywords:** *planned geodetic network, network stability, displacement vectors, resistance to scale differential rotation, scalar deformation.*

Надійшла до редакції

15.04.2014.

УДК 528.48

**В.К. Чибіряков**, *д-р техн. наук, професор кафедри вищої математики,*  
**В.С. Староверов**, *канд. техн. наук, професор кафедри інженерної геодезії,*  
**К. О. Нікітенко**, *асп. кафедри інженерної геодезії,*  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ З ОГЛЯДУ НА ОПІР НАВКОЛИШНЬОГО ҐРУНТУ**

*Розглянуто і проаналізовано загальний порядок визначення напружено - деформованого стану на ділянках магістрального газопроводу «Уренгой – Помари - Ужгород» (УПУ), прокладеному в складному ґрунтовому масиві.*

© В.К. Чибіряков, В.С. Староверов,  
К.О. Нікітенко, 2014

Змодельовано розрахункову модель магістрального газопроводу у вигляді балки на пружній основі в стані вигину. Розглянуто гіпотезу Фусса–Вінклера, що дає змогу визначити місця максимально допустимих напружень.

Розв'язано систему рівнянь з певними граничними умовами за допомогою ефективного чисельного методу С.К. Годунова, що дає можливість диференційовано підходити до обґрунтування точності геодезичних робіт.

Використана методологія дозволяє оцінити динаміку зсувних явищ, визначити стадію руху масиву, розподілення в ньому ділянок розтягувань і стиснень, а також визначити мінімальну довжину в зсувному масиві, за якої можлива поява критичних напружень.

Завдяки отриманим результатам можна чітко простежити закономірність зміщення газопроводу внаслідок зміни шару і властивостей ґрунту і дійти висновку, що величина напружень є змінною по довжині газопроводу.

Ділянки газопроводу, розміщені в зоні переходу слабких ґрунтів і ґрунтів, які мають досить велику несучу здатність, характеризуються підвищеним рівнем напружень характеристик НДС і більшою імовірністю зміщення газопроводу від проектного положення.

Запропоновано рекомендації щодо обґрунтування точності виконання інженерно-геодезичних робіт у процесі спостереження за газопроводом у небезпечних геологічних умовах.

**Ключові слова:** магістральний газопровід (МГ), напружено-деформований стан (НДС), зсув, прогин трубопроводу.

**Постановка проблеми.** Територія України насичена транзитними газотранспортними магістралями. Наприклад, газопровід «Уренгой — Помари — Ужгород» (УПУ) з'єднує уренгойське газове родовище та газові родовища півночі Західного Сибіру із Ужгородом. Далі газ транспортується споживачам у Центральній та Західній Європі. Ці магістралі є джерелами підвищеної небезпеки як погляду екології, так і можливого виникнення надзвичайної ситуації внаслідок аварій на газопроводах.

Отже, актуальним завданням є геодезичний контроль технічного стану газопроводів.

Геодезичний моніторинг напружено-деформованого стану магістральних газопроводів полягає у визначенні характеристик напружено-деформованого стану з метою підвищення точності виконання інженерно-геодезичних робіт.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз й оцінка напружено-деформованого стану на ділянках магістрального газопроводу «Уренгой – Помари – Ужгород» (УПУ) в ґрунтовому масиві. Визначення максимально допустимих значень прогинів трубопроводів дасть змогу вирішити актуальну наукову проблему – моделювання точності геодезичних робіт.

**Виклад основного матеріалу.** В реальних умовах магістральний трубопровід, за умов безканального прокладання, перебуває в деякому об'ємі ґрунту. Напружено-деформований стан труб у зв'язку з цим визначається двома видами впливу навколишнього ґрунту на трубопровід. З одного боку, вище розташований ґрунт справляє тиск на трубопровід, тобто з погляду будівельної механіки зумовлює навантаження на трубопровід. З другого боку, нижче розташований ґрунт забезпечує опір трубопроводу.

Для виявлення функціональних зв'язків між величиною деформацій та властивостями ґрунтового масиву треба брати до уваги всі навантаження і впливи на магістральний газопровід [1].

У гірських умовах можливі зсуви частини ґрунту, що призводить до більших ускладнень у визначенні напружено-деформованого стану (НДС) газопроводу.

Для того щоб проводити геодезичний моніторинг потрібно мати уявлення принаймні про наближений рівень і характер НДС: саме за ними можна визначити потрібну точність геодезичних досліджень та їх оптимальну технологію, загалом.

Для оцінки НДС магістрального газопроводу скористаємося деякими методами будівельної механіки.

У будівельній механіці прогнозування НДС починають із застосування деякої розрахункової моделі. Найпростішою розрахунковою моделлю магістрального газопроводу може бути модель балки під час згинання, тоді НДС газопроводу можна описати одновимірним напружено-деформованим станом балки, тобто одновимірною системою, яка є прямою, що збігається з поздовжньою віссю трубопроводу.

Вплив ґрунту, що знаходиться нижче трубопроводу, враховується за гіпотезою Фусса–Вінклера як сукупність пружних стержнів жорсткістю  $k$ , де  $k$ -коефіцієнт постелі (рис. 1).

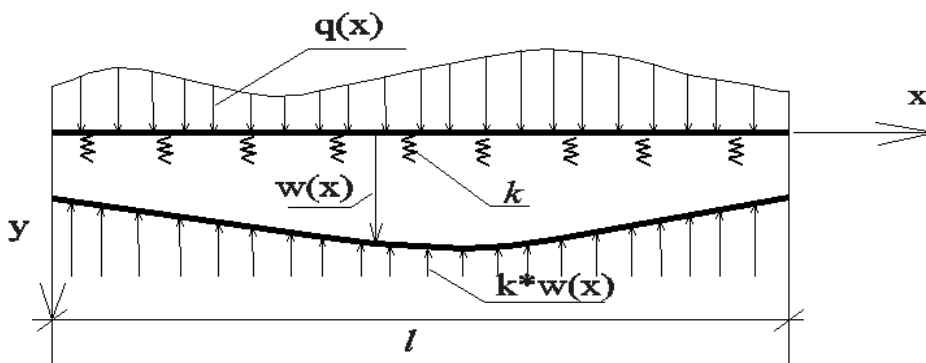


Рис. 1. Розрахункова модель магістрального газопроводу

Моделлю вінклеровської основи може слугувати ряд пружин однакової жорсткості, що спираються на абсолютно жорстку основу і діють незалежно одна від одної. Друге припущення теорії: пружна основа однаково працює на стиск і на розтяг [2].

Відповідно до гіпотези Фусса–Вінклера реакція пружної основи в кожній точці пропорційна прогину балки. Диференціальне рівняння пружної лінії балки має такий вигляд:

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} + kw = q, \quad (1)$$

де  $EI$  – жорсткість балки;  $q$  – навантаження; величина  $k = k_0 \cdot h_{сл}$  називається погонним коефіцієнтом постелі.

Коефіцієнт постелі визначають за усередненими значеннями модуля деформації і коефіцієнта Пуассона для ґрунта:

$$k_0 = \frac{E_{гр}}{H_c(1 - 2m_{гр}^2)}, \quad (2)$$

де  $E_{гр}$  – модуль деформації;  $m_{гр}$  – коефіцієнт Пуассона;  $H_c$  – глибина стислої товщі.

Навантаження і дії, пов'язані з вигинанням осі газопроводу (тиск і реакція ґрунту) слід визначати згідно із СНиП 2.05.06-85 \* [3] на підставі аналізу ґрунтових умов і їх можливої зміни в процесі експлуатації.

Якщо частина ґрунту може зсуватися з деякою швидкістю  $V$ , то можна розглядати такий наслідок як задані кінематичні дії на розрахункову модель газопроводу.

Розрахунковою математичною моделлю газопроводу є система звичайних диференціальних рівнянь, розрахункові функції яких мають бути відповідними певним граничним умовам, які впливають з умов закріплення газопроводу.

Використання досить простої в той же час достатньо адекватної розрахункової моделі магістрального газопроводу дає змогу орієнтуватися щодо рівня його напружено-деформованого стану, що потрібно для визначення оптимальної точності геодезичного моніторингу.

Стан балки на пружній основі описують системою диференціальних рівнянь, у яких використовуються кінематичні фактори:

- вертикальне переміщення  $w(x)$ ;
- горизонтальне переміщення  $U(x)$  (з огляду на зсув);
- кути повороту перерізів  $\varphi(x)$ ;

та статичні фактори:

- нормальна сила  $N(x)$ ;
- перерізуюча сила  $Q(x)$ ;
- згинальний момент  $M(x)$ .

Система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU}{dx} = \frac{N}{EF}; \\ \frac{dw}{dx} = \varphi; \\ \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI_x}; \\ \frac{dN}{dx} = -k \cdot U - q(x); \\ \frac{dQ}{dx} = \begin{cases} -q(x) + k \cdot w(x) & (x < a) \\ -q(x) + k \cdot w(x) + k_3 \cdot w_3(x) & (x > a) \end{cases} \\ \frac{dM}{dx} = Q. \end{array} \right. \quad (3)$$

Розрахункові функції в кінцевих точках розрахункової моделі  $x=0$  та  $x=l$  повинні бути заданими (граничні умови):

$U=0, w=0, \varphi=0$  – якщо кінець жорстко защемлений;

$U=0, w=0, M=0$  – якщо йдеться про шарнірне опирання;

$N=0, Q=0, M=0$  – якщо кінець зовсім не закріплений.

Для розв'язання цієї системи рівнянь з певними граничними умовами використовують ефективний чисельний метод С.К.Годунова, який дає змогу отримувати результати з будь-якою точністю.

У результаті розв'язання цієї системи відповідно до конкретних граничних умов отримуємо різні величини:  $dU, dw, d\varphi, dN, dQ, dM$ , що дає можливість диференційовано підходити до обґрунтування точності геодезичних робіт.

Розроблену спрощену методику реалізовано у вигляді програми для PC-EOM. За допомогою програми написаної алгоритмічною мовою FORTRAN можна проаналізувати рівні НДС за різних неоднорідних умов:

- зміни товщини шару ґрунту над газопроводом,
- зміни фізичних характеристик ґрунту внаслідок замочування,
- можливі зсуви ґрунту в гірських районах та інше.

Можливості розробленої методики ілюструє приклад розрахунку (рис. 2).

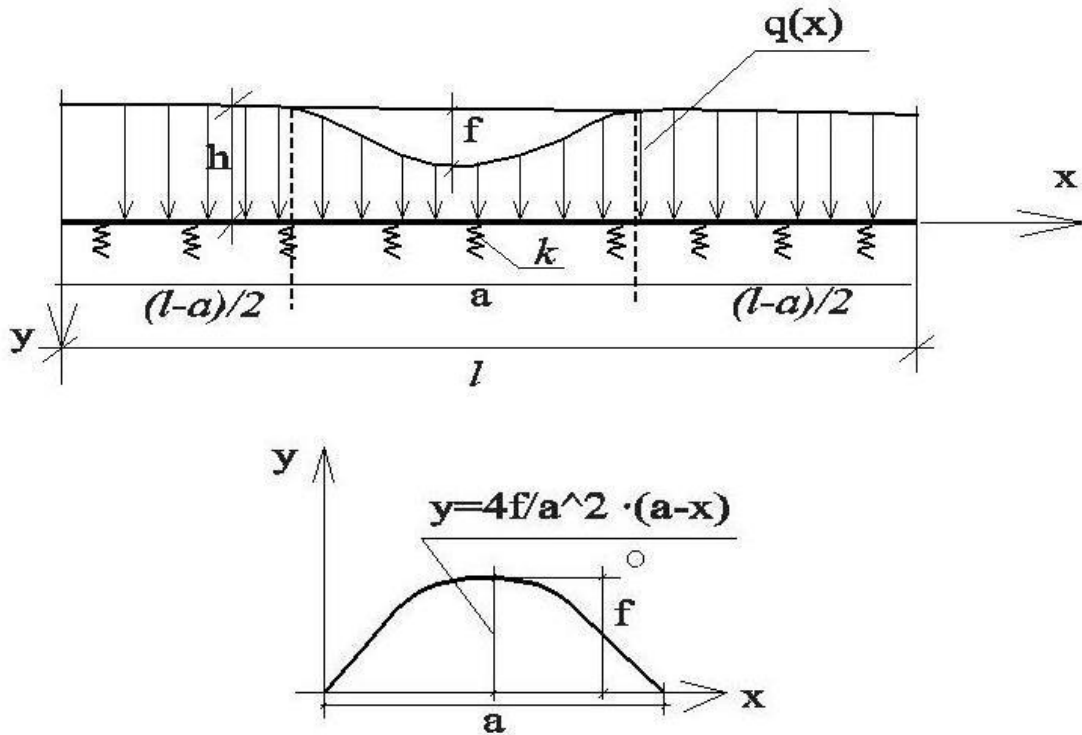


Рис. 2. Розрахункова модель зміни товщини шару ґрунту над газопроводом

Тут  $q(x)$  – зовнішнє навантаження;  $k$  – коефіцієнт постелі ґрунту;  $l$  – розрахункова довжина ділянки газопроводу;  $h$  – шар ґрунту;  $f$  – зміна висоти шару ґрунту.

Приклад розрахунку для визначення прогину газопроводу та приблизна структура аналізу результатів наведені в таблиці та на рис. 3.

Для розрахунку були використані такі дані: довжина прогону ділянки газопроводу  $l=50$  м, довжина прилеглих ділянок –  $\frac{a-l}{2}=17,5$  м.

Відстань від осі трубопроводу до верху засипки  $h_{сл}=5$  м.

Газопровід УПУ виконаний з труб діаметром  $D= 1,42$  м та товщиною стінки  $\delta=0,018$  м; метал труби - сталь  $E = 2.10 \cdot 10^8$  кПа.

Питома вага ґрунту, який складається з суглинку легкого пилюватого твердого та напівтвердого становить  $\gamma=19,4 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$ .

У розрахунках вертикальна складова навантаження на одиницю довжини трубопроводу дорівнює  $q = 1,42\text{м} \cdot 19,4 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3} = 27,548 \frac{\text{кН}}{\text{м пог}}$ .

**Розрахунок моделі магістрального газопроводу**

Кількість точок	1	2	3	4	5
Горизонтальне переміщення	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Прогин	0,02400	0,02352	0,02300	0,02234	0,02139
Кут повороту	-0,00019	-0,00019	-0,00023	-0,00031	-0,00045
Нормальна сила	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Перерізуюча сила	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001
Згинальний момент	0,00000	0,00001	0,00002	0,00004	0,00006

Кількість точок	6	7	8	9	10
Горизонтальне переміщення	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Прогин	0,02005	0,01826	0,01610	0,01391	0,01226
Кут повороту	-0,00063	-0,00080	-0,00090	-0,00081	-0,00048
Нормальна сила	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Перерізуюча сила	0,00000	-0,00001	-0,00003	-0,00004	-0,00003
Згинальний момент	0,00007	0,00006	0,00001	-0,00009	-0,00017

11	12	13	14	15	16
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,01164	0,01226	0,01391	0,01610	0,01826	0,02005
0,00000	0,00048	0,00081	0,00090	0,00080	0,00063
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,00000	0,00003	0,00004	0,00003	0,00001	0,00000
-0,00020	-0,00017	-0,00009	0,00001	0,00006	0,00007

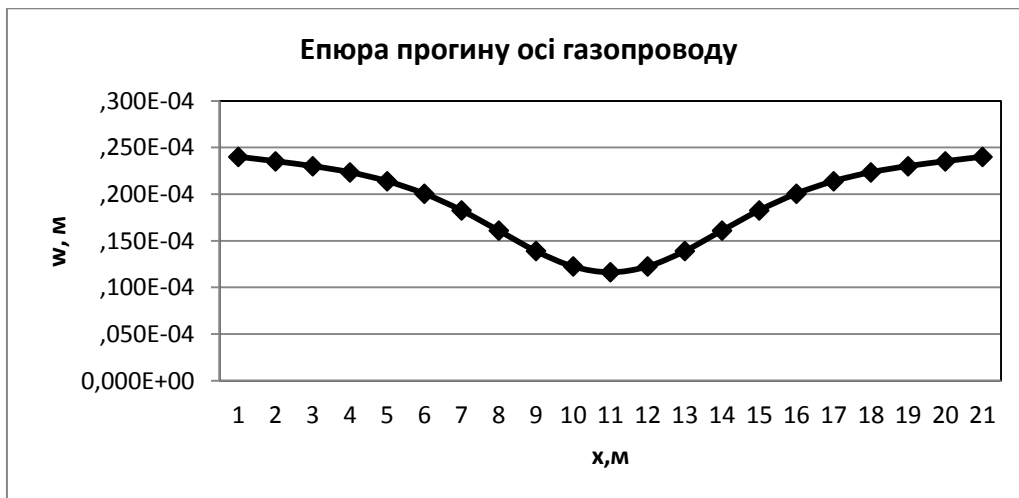


Рис. 3. Епюри НДС газопроводу УПУ в ґрунтовій основі (закінчення на с. 54)

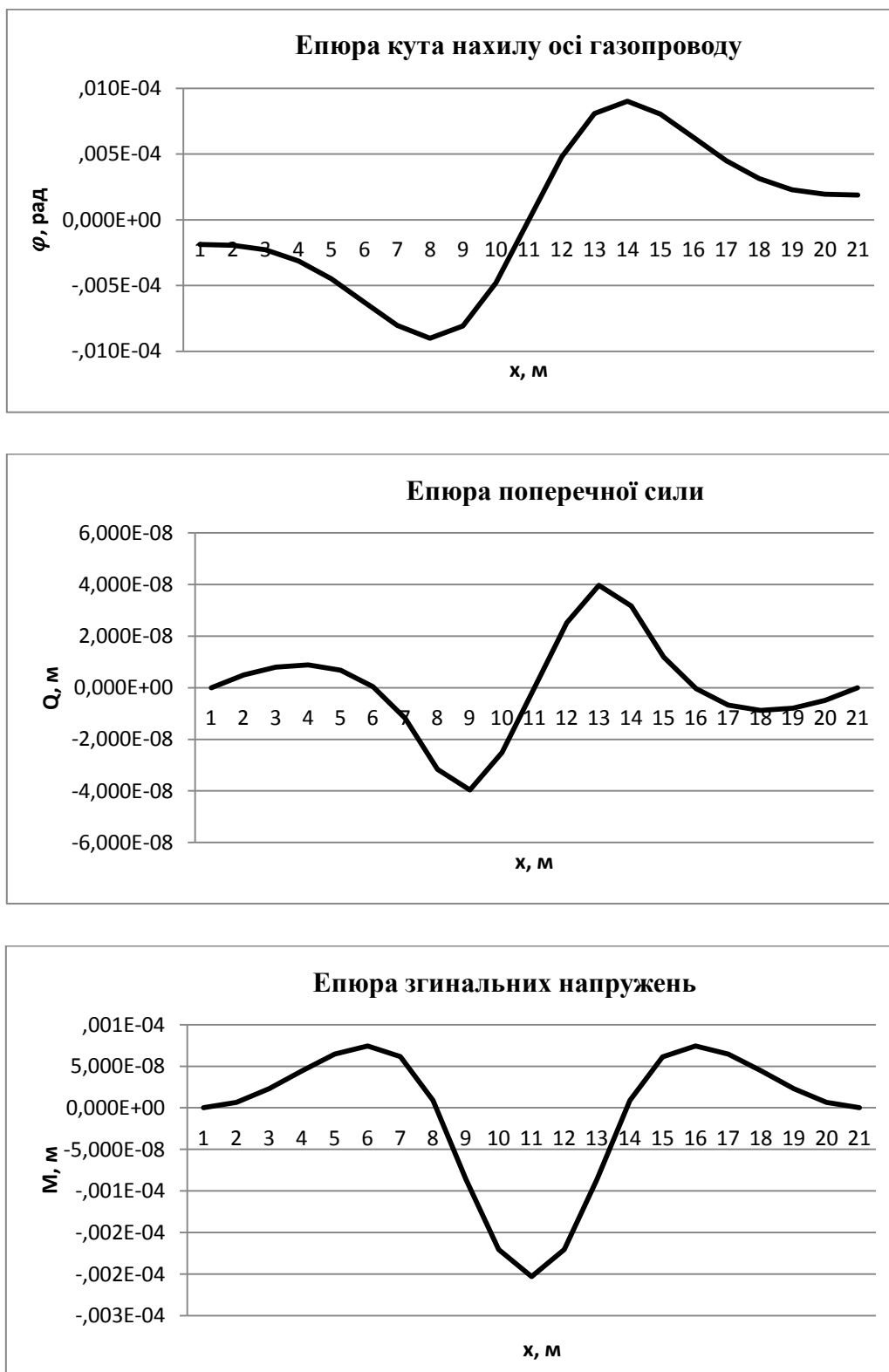


Рис. 3. Закінчення

Дослідження прогину газопроводу дає можливість перейти до моделювання деформації газопроводу, на підставі якого можна обґрунтувати точність геодезичних спостережень за деформаціями і точність виконання геодезичних робіт.

Функція прогину і її похідні повністю описують напружено-деформований стан газопроводу що знаходиться в ґрунтовому масиві [4]. На графіках епюр легко проглядаються проміжки зростання та спадання функцій прогинів, точки локального максимуму і мінімуму, а також інтервали опуклості й увігнутості графіків цих функцій.

Таким чином, точність геодезичних робіт під час моніторингу магістральних газопроводів залежить від того, наскільки повно відображено фактори, що позначалися на моделюванні напружено-деформованого стану, зокрема й ті, які були під час будівництва.

На підставі розрахунків й аналізу графіків можна дійти такого висновку:

1. За незначних розмірів провалу і висоти засипки ґрунту над трубою характеристики напружено-деформованого стану газопроводу можна визначити, розв'язавши задачі в лінійній постановці.

2. Кінці труби, що знаходиться в ґрунті, просідають пропорційно вазі труби з газом і вазі ґрунту над трубою. Глибина просідання може бути оцінена за значенням коефіцієнта постелі для цього типу ґрунту.

3. Джерелом максимальних напружень є не вага труби, а її защемлення в ґрунті.

Наведена методологія дає можливість прогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід і розробити рекомендації та обґрунтувати точність виконання геодезичних робіт, тобто виконати моделювання точності на такому рівні, який сприяє фіксації деформацій конструкції та ґрунтового масиву.

Зважаючи на викладене, можна запропонувати рекомендації з організації геодезичних спостережень за напружено-деформованим станом магістральних газопроводів в ґрунтовій основі.

1. Якщо в процесі рекогностування траси газопроводу виявлено ділянки з рухом ґрунту, то на цих ділянках потрібно встановити постійні станції спостереження, розмістивши їх в зоні без впливу переміщень ґрунту.

2. У разі значних ґрунтових зрушень перед початком детальних досліджень потрібно попередньо закріпити ряд контрольних марок в місцях прояву НДС газопроводу.

3. Для виконання спостережень за деформаціями створити планово – висотну локальну геодезичну мережу. Схема і точність геодезичної мережі та методика спостережень залежать від розміру досліджуваної ділянки, протяжності небезпечної в деформаційному відношенні частини ділянки. Для дослідження деформацій газопроводів потрібно створювати планову геодезичну основу, точність якої визначають на підставі напружено - деформованого стану .

**Висновок.** Визначення напружено-деформованого стану магістральних газопроводів з використанням методів фізичного та математичного моделювання з подальшим розв'язанням крайових задач дає змогу визначити місця максимально допустимих напружень, а щодо кожної ділянки газопроводу – можливі характеристики деформацій. Отримані дані дають можливість обґрунтовано обрати місця для контрольних марок, визначити потрібну точність вимірювань і дійти висновку про стан будівельної конструкції та споруди в цілому на момент спостережень.



**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Рудаченко А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов / А. В.Рудаченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. – 136 с.
2. Антонович П.Б. К расчету балок и плит, опирающихся на упругое основание / П.Б. Антонович. – Томск: Известия Томского политехнического ин-та им. С.М. Кирова, 1954. – Т. 76. – 150 с.
3. Магистральные трубопроводы: СНиП III-42-80\*. – М.: М-во регион. развития Российской Федерации, 2012.
4. Расчет напряженно-деформированного состояния и прочности газопровода, проходящего по карстовой территории /Р.М. Зарипов, Г.Е. Коробков, В.А. Чичелов, Р.А. Фазлетдинов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999 – 74 с.

**REFERENCES**

1. Rudachenko, A.V. (2011). *Issledovanie napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda [Investigation of the stress-strain state of the pipelines]*. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University [in Russian].
2. Antanovych P.B. *Kraschety balok i plit, opirayushchikhsya na uprugoe osnovanie [By calculation beams and plates, based on elastic cushion]*. Tomsk: Tomsk Polytechnic Institute Proceedings behalf S.M. Kyrova, [in Russian].
3. *SNIP III-42-80 \*(2012). Magistralnue tryboprovodu [Major Pipelines]*. Moscow: Ministry of Regional Development [in Russian].
4. Zarypov P.M., Korobkov G.E., Chychelov V.A., Fazletdinov R.A. (1999) *Raschet napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya i prochnosti gazoprovoda [Calculation of stress-strain state and Strength pipeline, transmitted on karstovoy territory]*. Ufa: UGNTU [in Russian].

**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 грунтовой 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 результатам можно 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 monitoring the pipeline in dangerous geological conditions.*

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

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 зніманих у межах фрагмента Чернігівської області розміром 100x120 км.

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

**Постановка проблеми.** Система супутникового позиціонування на основі наземної мережі активних референційних GNSS-станцій дає змогу точно визначати координати під час статичних спостережень та в режимі 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, застосований у мережі RTK, як зазначалося, значною мірою залежить від мінімізації похибки, зумовленої відстанню. Моделювання за методами, наприклад MAX, FKP та Virtual Reference Station (рис. 1), виконується або на сервері мережі, або ровером.

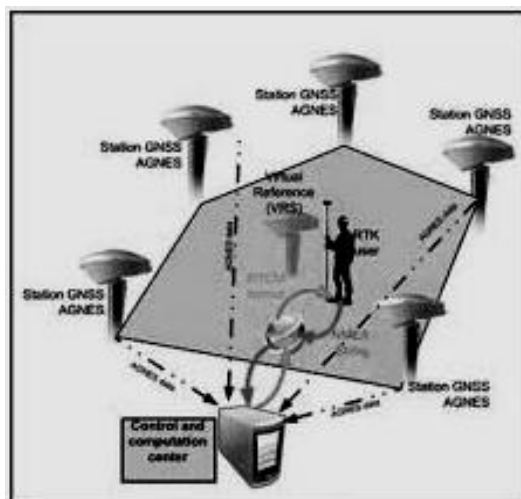


Рис. 1. Метод VRS

**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 разі використання 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<sup>2</sup> 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).

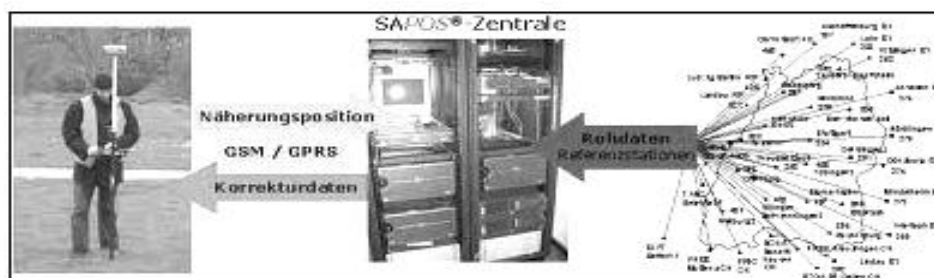


Рис. 2. Принцип роботи RTK-технологій у GNSS-мережі SAPOS

Спеціально для реалізації RTK-режиму була розроблена технологія NTRIP (Networked Transport of RTC Mvia Internet Protocol) [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 референційних станцій.

Нині технологія RTK широко впроваджується і на території нашої держави. Зокрема, у Закарпатській області створена перша в Україні мережа референційних станцій UA-EUPOS/ZAKPOS, яка вже введена 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 проєктів 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 вискоефективної 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.

**Метою** пропонованої роботи є дослідження точності визначення координат пунктів за методикою RTK, із застосуванням різних способів моделювання поправок у референційній 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. Белова, 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 належать до мережі полігонометричних ходів навчально-геодезичного

полігону інженерно-будівельного факультету. Доступ до сервера мережі System.NET відбувався через протокол NTRIP, а поправки передавалися в форматі RTCMv3.

Таблиця 1

## Характеристика GNSS-приймачів та антен

№ бригади	Система GNSS	Приймач	Антенa	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 здебільшого GPS-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 розпізнавальних 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 передавання RTK-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 передаванні RTK-поправок у форматі RTCMv3 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.

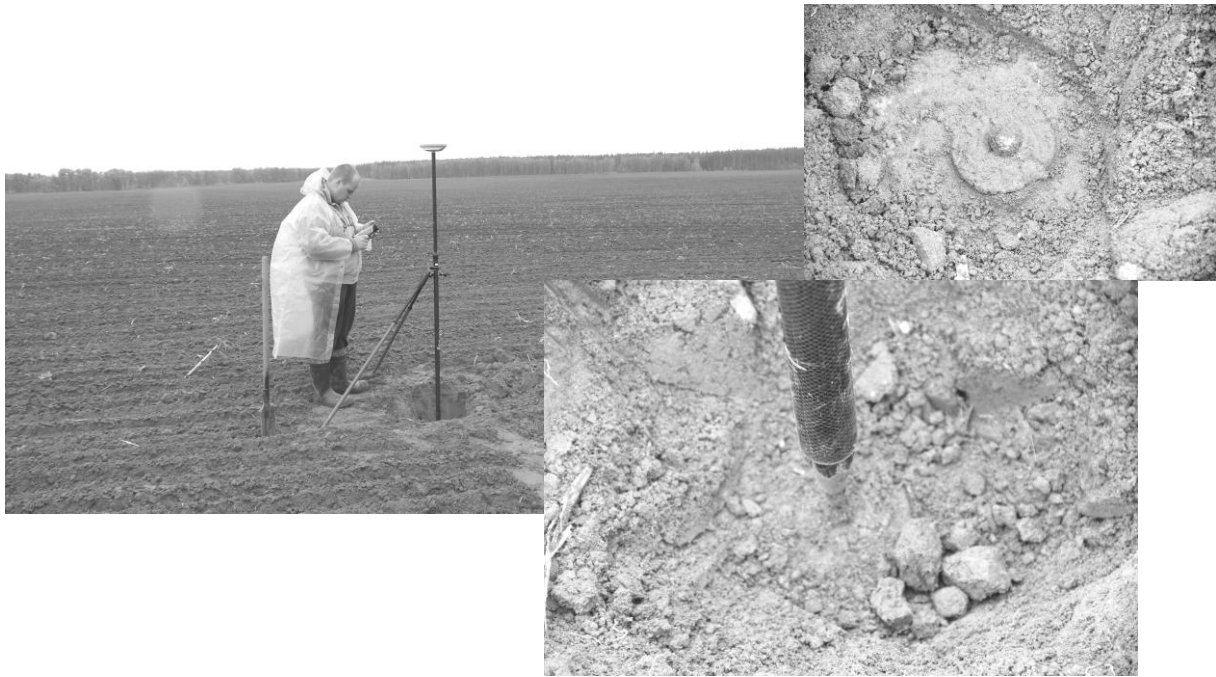


Рис. 3. Знаходження пункту триангуляції Петрівське, 3 кл.

Роботи на пунктах розпочинали зі статичних спостережень (протягом не менш як 1 год) для отримання контрольних значень координат. Були вибрані пункти триангуляції навколо Чернігова як базові – Киїнка (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.a та визначали місце, де буде зберігатися база даних цього проекту. Перше позначення 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 (virtual reference station); 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 RTK за наддовгих баз (до 200км).

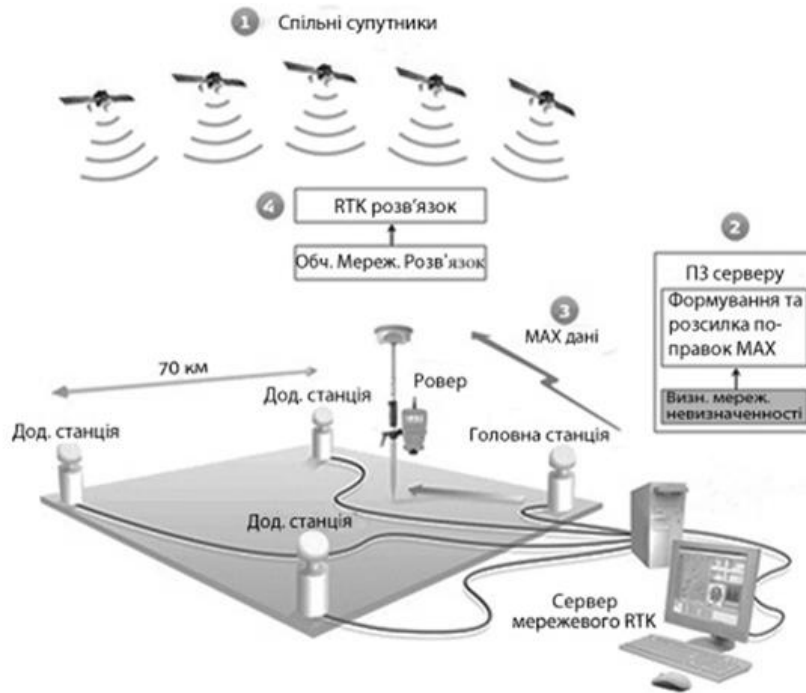


Рис. 4. Схема роботи методу automax

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*, *sniv*. Доступ до сервера мережі System.NET відбувався через протокол NTRIP, а поправки передавалися в форматі RTCMv3.

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 схематично показано розміщення пунктів полігонометрії та триангуляції на території міста Чернігова.



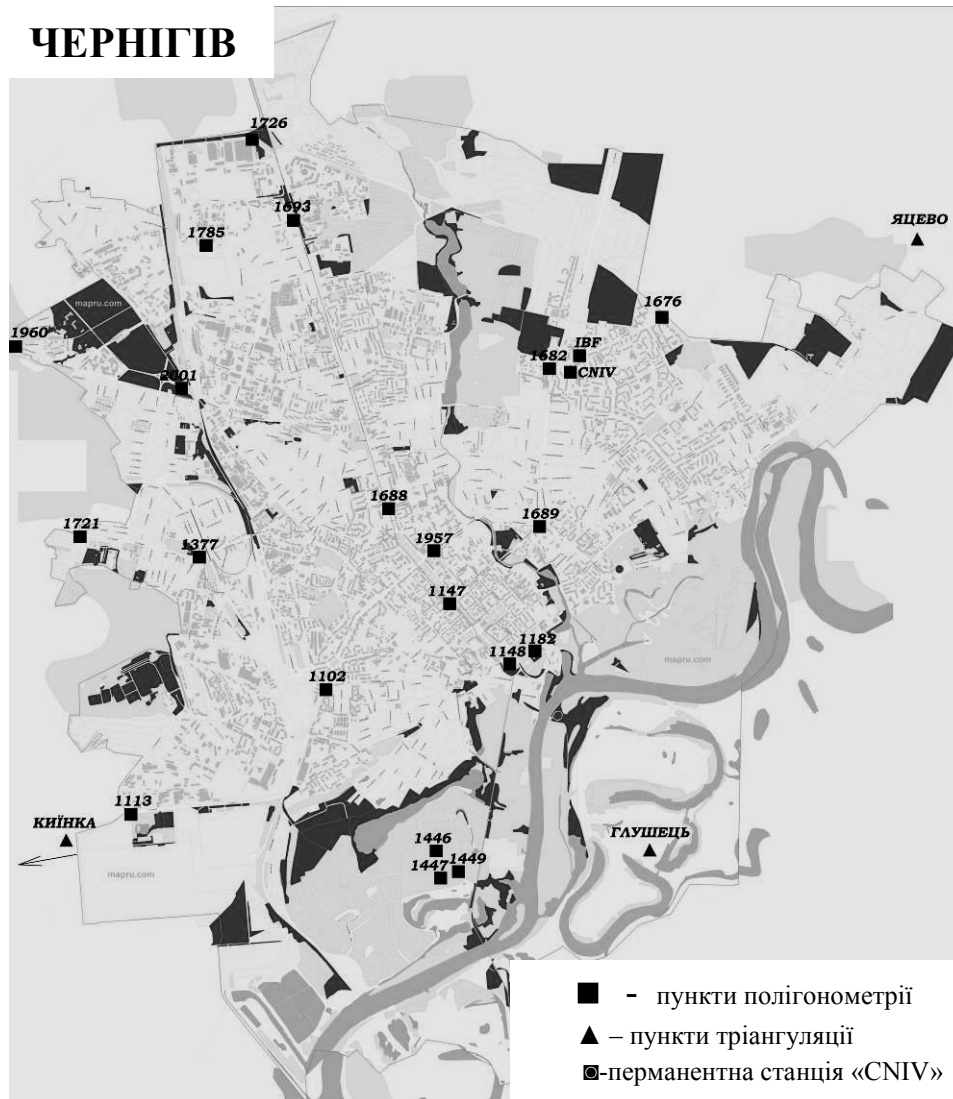


Рис.5. Схема розміщення пунктів у Чернігові

Наступного дня за програмою досліджень було заплановане GNSS-спостереження на пунктах триангуляції 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 триангуляції, які спостерігалися нами у 2011 році. Після годинної «стативи» на цих пунктах переходили до RTK-вимірювань на решті пунктів триангуляції, які кожна бригада підготувала для себе напередодні. В області працювало чотири бригади, дві – у Чернігові за описаною програмою.



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

Під час супутникових вимірювань методом RTK використано GSM/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 референційною 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).

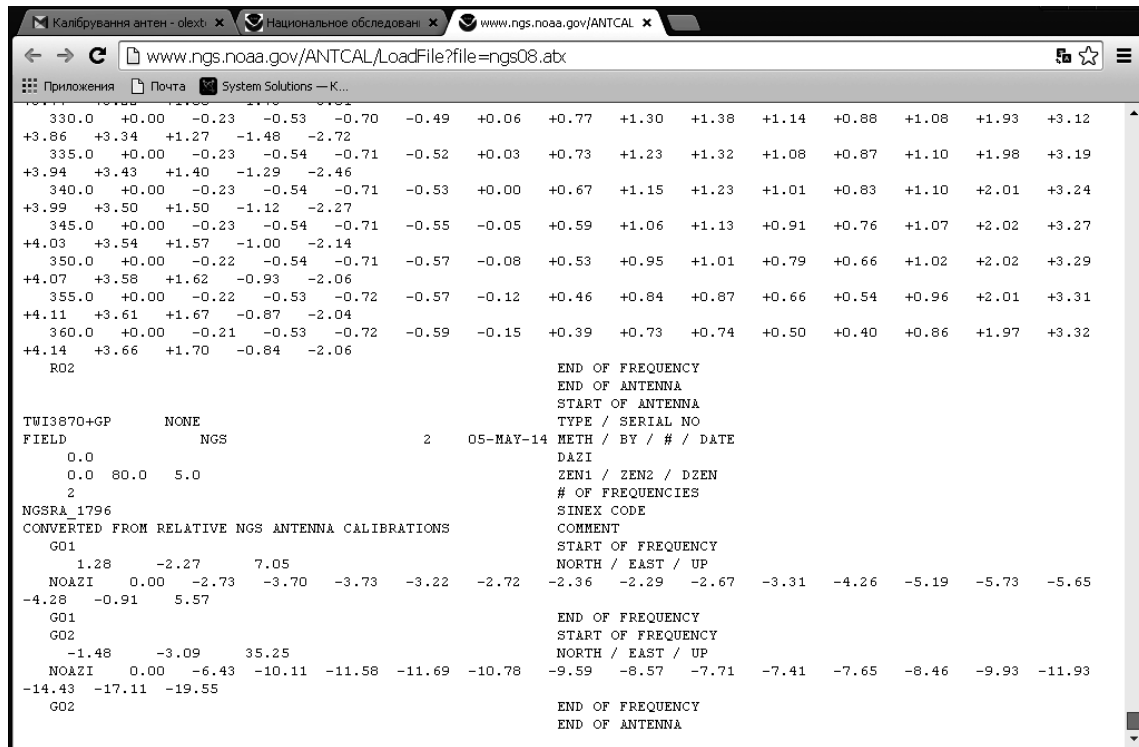


Рис. 7. Web-сторінка NGS з калібруванням для антени приймача LeicaGS08 plus

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:

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

Після цього координати пунктів Чернігівської мережі були перераховані із системи ITRF2005 у Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 за параметрами, визначеними НДПК 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:

$$\begin{aligned} \delta(a)_{i,j} &= \varpi_a(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j); \quad \delta(n)_{i,j} = \varpi_n(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j); \quad \delta(v)_{i,j} = \varpi_v(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j); \\ \delta(Ch)_{i,j} &= \varpi_{Ch}(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j); \quad \delta(Nz)_{i,j} = \varpi_{Nz}(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j); \quad \delta(Kv)_{i,j} = \varpi_{Kv}(X_i Y_j) - \kappa(X_i Y_j), \end{aligned} \quad (3)$$

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, вимірних RTK за методами за шести різних конфігурацій;  $\varpi_a(X_i Y_j)$ ,  $\varpi_n(X_i Y_j)$ ,  $\varpi_v(X_i Y_j)$ ,  $\varpi_{Ch}(X_i Y_j)$ ,  $\varpi_{Nz}(X_i Y_j)$ ,  $\varpi_{Kv}(X_i Y_j)$  - вимірні значення координат за різних конфігурацій RTK-спостережень;  $\kappa(X_i Y_j)$  - каталожні значення координат пунктів триангуляційної мережі Чернігівщини.

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

Таблиця 2

**Похибки визначення координат пунктів триангуляційної мережі Чернігівщини за різних конфігурацій RTK-знімання**

Конфігурація/ пункти, клас	<b>auto</b> $\delta(a)_{i,j}$	<b>near</b> $\delta(n)_{i,j}$	<b>vrs</b> $\delta(v)_{i,j}$	<b>Ch</b> $\delta(Ch)_{i,j}$	<b>Nz</b> $\delta(Nz)_{i,j}$	<b>Kv</b> $\delta(Kv)_{i,j}$
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	<b>auto</b> $\delta(a)_{i,j}$	<b>near</b> $\delta(n)_{i,j}$	<b>vrs</b> $\delta(v)_{i,j}$	<b>Ch</b> $\delta(Ch)_{i,j}$	<b>Nz</b> $\delta(Nz)_{i,j}$	<b>Kv</b> $\delta(Kv)_{i,j}$
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
Глушець, 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 – *automa* 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  $\pm 5$  см.

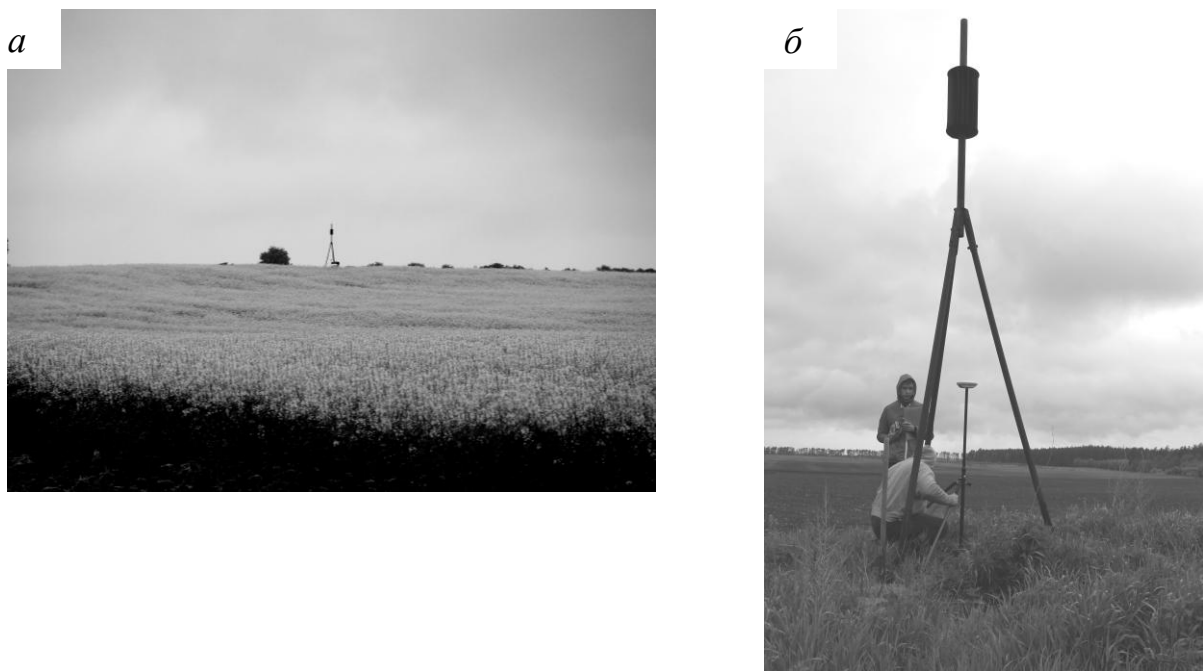


Рис. 8. Розміщення зовнішніх знаків – металевих пірамід на пунктах триангуляції:  
 а – Данівка, 2 кл; б – Браниці, 2 кл.

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 autotax як такого, що найчастіше застосовується під час виконання кадастрових робіт.

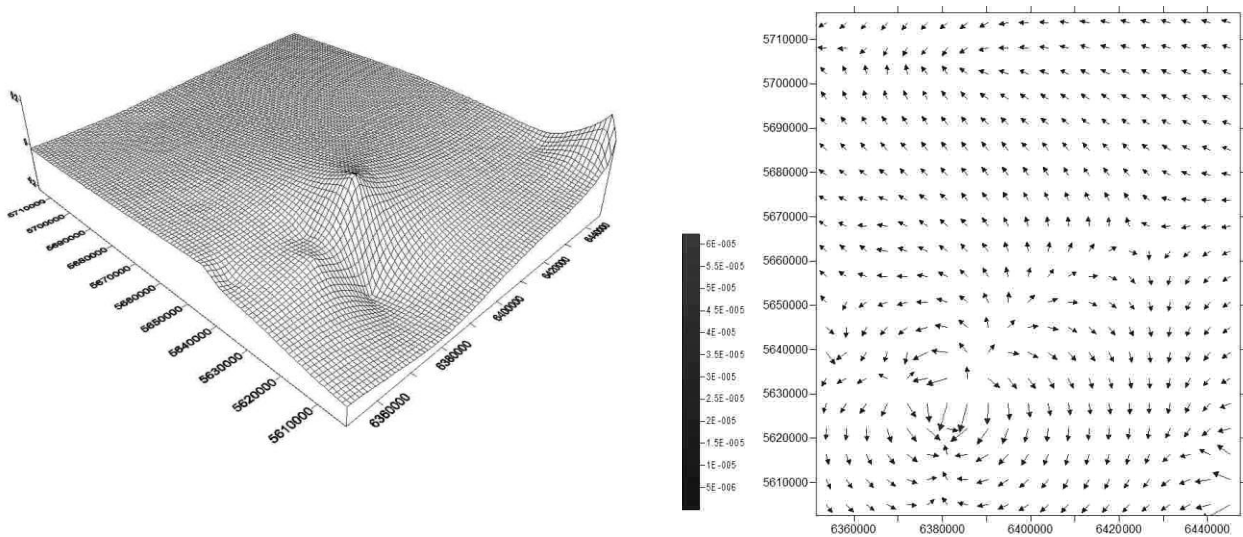


Рис. 9. Графічне зображення розподілу похибок координат  $\delta(a)_i$  під час RTK-вимірювань у конфігурації autotax на території Чернігівщини

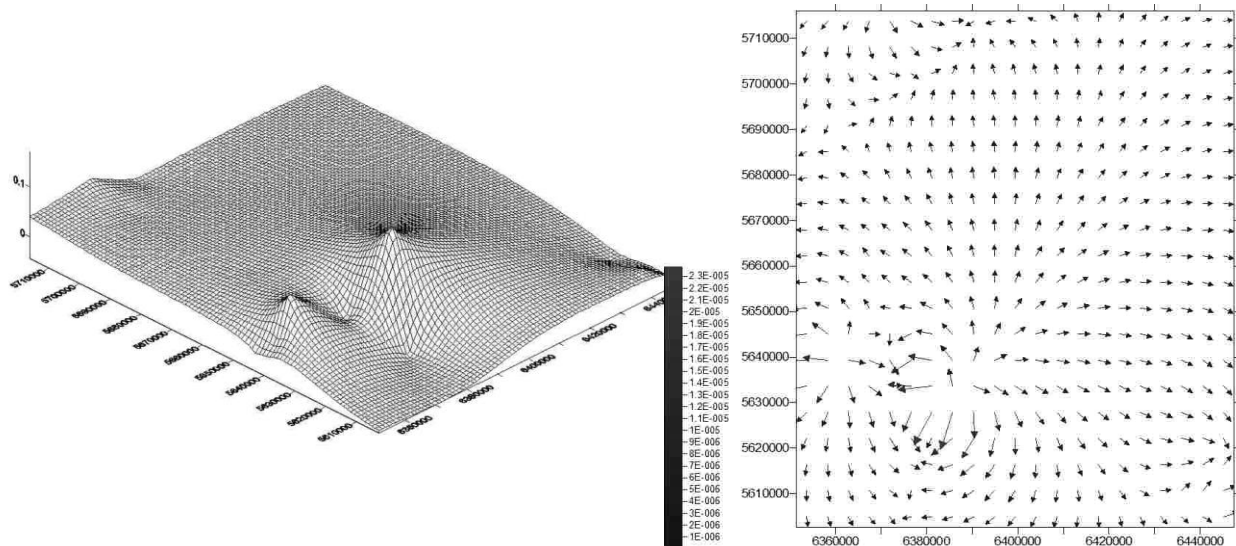


Рис. 10. Графічне зображення розподілу похибок координат  $\delta(a)_j$  під час RTK-вимірювань в конфігурації automax на території Чернігівщини

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 триангуляції 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 зніманих у межах фрагмента Чернігівської області з розмірами 100x120 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 референційній GNSS-мережі. При цьому практична точність методу RTK за 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. Горб А.И. Использование метода анализа иерархий для оптимального выбора канала информационного обмена в локальной сети GPS станций / А.И. Горб, А.В. Прокопов, Р.В. Нежальский [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Львівська Політехніка, 2007. - Вип. II (14). – С. 118-122.

3. *Інформаційно-вимірвальна 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-вимірвальна 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 береги, 2008. – Вип. 4. – С. 5-24.*
5. *Гриншина-Полюга О.Я. Порівняльна характеристика визначення координат активних референцних станцій мережі ZAKPOS/UA – EUPOS за 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 береги, 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 // Геопрофіль. – К.: 2010. – Вип. I (10). – С. 16-23.*
13. *Терещук О.І. Проектмережіактивнихперманентних GPS-станцій Північного регіону України [Текст] / О.І. Терещук, С.Г. Савчук: зб. наук. праць міжнар. конф. «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід». – Чернігів: Чернігівські береги. – 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. Шелковенков, 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) Modern Geodetic network and datum in Europe / Šimek Jaroslav, Jan Kostecky // FIG Working Week 2000, 21-26 May, Prague. Retrieved from <http://www.fig.net/pub/proceedings/prague-final-papers/simek-kostecky.htm>.*
20. *Petrovski I. (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](http://www.academia.edu/4426357/The_Issues_of_Practical_Implementation_of_the_Commercial_RTK_Network_Service).*
21. *Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. Creation of ZAKPOS active Network Reference Stations for Transcarpatian Region of Ukraine: International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications. – Berlin, 11–14 November 2008. EUPOS Presentations.*
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](http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf)  
NetworkedTransportofRTCMviaInternetProtocol (NTRIP)// [http://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/TRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf](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](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php).*

## REFERENCES

1. Gorb A.I., Nezhalskyi R.V., Fedorenko R.N. (2006). Analiz tochnosti GPS izmereniy v setibazovykhstantsiyi [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 Politekhnikha [in Russian].

2. Gorb A.I., Nezhalskyi R.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 Politekhnikha [in Russian].
3. Informatsiino-vymiriuvalna GNSS systema ta merezhna VRS tekhnolohiia zabezpechennia heodezychnykh i kadastryvykh 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 zabezpechennia heodezychnykh i kadastryvykh zyomok [Information-measuring GNSS system and technology of VRS network providing geodetic and cadastral surveying]. *Novitni dosyahnennya heodeziyi, heoinformatsyky ta zemlepyoryadkuvannya – 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 Zakarpattia region]. *Novitni dosyahnennya heodeziyi, heoinformatsyky ta zemlepyoryadkuvannya – 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 Politekhnikha [in Ukrainian].
8. Savchuk S.H. (2012) Doslidzhennya tochnosti vyznachennya koordynat bazovoyi GNSS-stantsiyi Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [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 Politekhnikha [in Ukrainian].
9. Savchuk S.H., R.M. Hoshovskyy (2010) Vykorystannya tekhnolohiyi virtualnykh referentsnykh stantsiy dlya koordynatnoho zabezpechennya heodezychnykh ta kadastryvykh 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., Prodanets I.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].

17. Tereshchuk O.I., Nystoryak I.O. (2012) Analiz provedennya pershoi kampaniyi u Pivnichnomu rehioni Ukrayiny [The first GNSS-campaign analysis in the northern region of Ukraine]. *Chernihivskyy naukovyy chasopys. Seriya 2, Tekhnika i pryroda - Collected scientific articles. Series 2, Technique and nature*, 1(3), 18 – 22. Retrieved from <http://www.chasopis.geci.cn.ua/index.php/uk/current-issue/item/40-seriya-2-tehnika-i-priroda-elektronniy-zbirnik-naukovih-prats.html> [in Ukrainian].

18. Shelkovenkov D.O., Zhelanov O.O., Zhalilo O.O., Shokalo V.M., Kondratyuk V.M., Lytvyn M.O., Flerko S.N., Cherevko V.S. (2008) Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen realizatsiyi DGPS/RTK rezhymu suputnykovoho pozytsionuvannya z vykorystannyam NTRIP-tekhnolohiyi [The results of experimental research of implementation DGPS / RTK mode of satellite positioning using NTRIP-technology]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva. – Modern achievements of geodetic science and industry*, (issue I(15)), (pp. 125 – 132). Lviv: Lvivska Politekhnika [in Ukrainian].
19. . Jaroslav Šimek, Jan Kostecky (2000) Modern Geodetic network and datum in Europe. FIG Working Week (May, 21-26, 2000, Prague). Retrived from <http://www.fig.net/pub/proceedings/prague-final-papers/simek-kostecky.htm> [in English].
20. I. Petrovski, S. Kawaguchi, H. Torimoto, K. Fuji, M.E. Cannon, G. Lachapelle (2001) The Issues of Practical Implementation of the Commercial RTK Network Service //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](http://www.academia.edu/4426357/The_Issues_of_Practical_Implementation_of_the_Commercial_RTK_Network_Service).
21. Savchuk S, I. Kalynych, I. Prodanets (2008) *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 (November, 11 – 14, 2008, Berlin). EUPOS Presentations.
22. Sait «System solution» [Site of «System solution»]. [www.systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/map-ukr](http://www.systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/map-ukr). Retrieved from <http://www.systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/map-ukr>
23. Sait«GNSSDataCenter» [Siteof«GNSSDataCenter»]. <http://igs.bkg.bund.de> /Retrieved from [http://igs.bkg.bund.de/root\\_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf](http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf)
24. Site Map. [http:// itrf.ensg.ign.fr/site\\_map.php](http://itrf.ensg.ign.fr/site_map.php). Retrieved from [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2008/tp\\_08-05.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/tp_08-05.php)

**Р.В. Шульц,  
А.И. Терещук,  
А.А. Анненков,  
И.А. Нысторяк**

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СПУТНИКОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*В статье освещены вопросы точности координатного обеспечения с помощью RTK-технологий. Исследована эффективность применения шести моделей поправок при наблюдениях на пунктах Государственной геодезической сети в УСК-2000. Установлено, что локальные искажения, не превышающие в 20 см, не могут существенно повлиять на результаты топографических и кадастровых съемок в пределах фрагмента Черниговской области размеом 100x120 км.*

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

**R.V. Schultz,  
O.I. Tereshchuk,  
A. O. Annenkov,  
I.O. Nystoryak**

## **RESEARCH ACCURACY OF THE COORDINATES SATELLITE TECHNOLOGY IN REAL TIME**

*The analysis of the modern state of RTK technology and their application for the decision of different tasks of geodesy and cadastre is executed . The questions of coordinates accuracy providing by RTK technology is explored. On the practical example of GNSS observations in the Chernigov area the possibilities of RTK technology were investigational for the aims of the land cadastre. Description of implementation technology of works and technical descriptions of used equipment is resulted. The efficiency of application of correction six models is investigational at observations on the points of the State geodetic network in USK-2000. The following models of corrections is were investigational: automax Leica Geosystems; Virtual reference station; nearest – corrections of the nearest station; (kvda); (nizh); (cniv) are corrections from one base permanent stations of Kiev or Nezhin or Chernigov. For all of correction models decisions which was compared to the values of coordinates from a catalogue were got. In all of cases the got accuracy suited to cadastre works. It is set that for achievement of position accuracy in a plan at the level of 2-5 cm distance to the base station must not exceed a 100 km Supposition is done, that the unfavorable conditions of observations influence on local distortions of coordinates. It is set that local distortions in 20 cm will not be able substantially to influence on the results of topographical and cadastre surveys within the limits of fragment of the Chernigov area with sizes a 100x120 km.*

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

Надійшла до редакції

15.11.2014.