



кривих у транспортних лінійних спорудах.

Треба відзначити, що розміщення перехідних кривих можна здійснити при умовах, коли

$$k_1 + \bar{K} + k_2 \leq K \text{ або } \frac{L_1 + L_2}{\sqrt{3}} + \bar{K} \leq K, \quad (13)$$

де  $\bar{K}$  – залишкова колова крива, яка повинна мати відповідну довжину залежно від типу споруди. Якщо ця вимога не задовольняється, то збільшують нормативне значення радіуса, а отже, і довжину колової кривої  $K$ .

У варіанті проектування **симетричних клотоїдних кривих** довжини  $L_1=L_2=L$  на автомобільних магістралях також визначаються описаним вище способом за формулами (5) або (6) з використанням проекції бісектриси колової кривої на вісь ординат і половини колової кривої, тобто при

$$y_k = B \cos \varphi / 2; \quad k \approx K/2 \quad (14)$$

Очевидно, що вказані клотоїдні криві стикуються на середині колової кривої (СК) і є симетричними без залишкової колової кривої (див. праву частину мал. 1).

За тими ж даними, що і в попередньому прикладі, при  $B=13,429$ ;  $y_k=13,077$ ;  $k=K/2=14,610$  і  $R=500$  м отримуємо нецілочислове значення  $L=198,353$  м. Для контролю визначення  $L$  за формулою (3) обчислено значення  $y_L$ , що підтверджує правильність розв'язку задачі. Очевидно, що радіус кривини клотоїди в точці СК згідно з формулою (6) має дорівнювати нормативному радіусу колової кривої. З огляду на це відпадає питання про визначення цілочислового значення довжини клотоїди, що трошки ускладнює її розмічування на місцевості, оскільки із таблиць кривих можна вибрати тільки наближені значення прямокутних координат. Тому для отримання точних координат точок клотоїди доцільне використання комп'ютера.

**Висновки.** 1. Для проектування криволінійної ділянки з коловою кривою, спряженою з двома перехідними кривими, наприклад, клотоїдами, довжину останніх доцільно розраховувати новим способом за формулою (7), що забезпечує з'єднання

клотоїд з коловою кривою без її зміщення. В цьому випадку досягається збіжність дотичних до перехідної і колової кривих та їх радіусів, що забезпечує плавність руху на великих швидкостях.

2. Запропонований спосіб дозволяє застосовувати асиметричне розташування перехідних і залишкових колових кривих, а також влаштовувати винятково клотоїдні криві.

3. Завдяки простому поєднанню перехідної і колової кривих спосіб суттєво спрощує методику розмічування кривих на автошляхах та залізницях і скорочує кількість осей в лінійних транспортних спорудах, особливо в тунелях

### Література

1. Баран, П.І. До теорії та практики розпланування сучасних перехідних кривих / П.І. Баран // Вісн. геодез. та картогр. – 1998. – № 3. – С. 20-26.
2. Баран, П.І. Інженерна геодезія / П.І. Баран. – К.: Віпол. – 2012. – 618 с.
3. Белятинский, А.А. Применение кривых нового типа при проектировании закруглений автомобильных дорог / А.А. Белятинский, А.М. Таранов // Строительство и архитектура. – 1981. – № 2. – С.104-106.
4. Бобков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бобков: учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
5. Бойчук, В.С. Довідник дорожника / В.С. Бойчук. – К.: Урожай, 2002. – 560 с.
6. ДБН В.2.3-4-2000. Автомобільні дороги. – К.: Держ. ком. буд., архітект. та житл. політики України, 2000. – 100 с.
7. Каменецкий, Б.И. Автомобильные дороги / Б.И. Каменецкий, И.Г. Кошкин. – М.: Транспорт, 1979. – 144 с.
8. Левчук, Г.П. Прикладная геодезия / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
9. Сокол, Э.Н. Кривые переменного радиуса и их применение на трубопроводном транспорте / Э.Н. Сокол. – Л.: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1984. – 88 с.
10. Цилль, В. Инженерная геодезия: пер. с 6-го нем. изд. – М.: Недра, 1974. – 430 с.

Надійшла 22.05.13

\* \* \*

УДК 528.3

С. Г. Савчук, О. В. Ланьо

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ RTK-ВИМІРЮВАНЬ У МЕРЕЖІ UA-EUPOS/ZAKPOS ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SPARSE VRS

На основании проведенного экспериментального исследования в сети активных референционных станций UA-EUPOS/ZAKPOS и полученных результатов доказана возможность достижения высокого качества сетевого решения по технологии Sparse VRS на длинных базовых расстояниях.

On the basis of the experimental research in the network of active reference stations UA-EUPOS/ZAKPOS it is proved the possibility of high-quality network solutions by Sparse VRS technology at long base distances.

**Постановка проблеми.** За останні роки кількість постійно діючих референціальних станцій в Ук-

раїні, які утворюють так звану наземну GNSS-інфраструктуру [1], регулярно збільшується і на травень 2013 р. їх налічувалось уже близько 150-ти. Зростають масштаби обміну GNSS-даними між

© С. Г. Савчук, О. В. Ланьо, 2013



провайдерів супутникових послуг (від поодиноких GNSS-станцій) з метою розширення зони власного покриття та надання користувачам уніфікованого комплексного мережевого розв'язку на великих площах передусім у режимі реального часу – RTK.

Провайдери супутникових послуг, обмінюючись між собою GNSS-даними, пропонують користувачам власні розробки методик позиціонування (реальний час, постобробка), трансформування систем координат і т. д.

У сфері послуг позиціонування в реальному часі помітна тенденція працювати виключно з мережевими розв'язками, що й зрозуміло, адже такі розв'язки найвищої якості й надійності. Технології отримання мережових розв'язків залежать від програмних комплексів провайдерів GNSS-послуг. Як правило, перелік технологічних методів стандартний – FKP, VRS, MAX, iMAX, RTCM3Net та ін. Всі вони мають свої плюси й мінуси, але їх об'єднує одна спільна риса – для швидкої та якісної роботи вони потребують достатньо густого покриття території референсними GNSS-станціями. В Україні якогось певного рівня густоти покриття території GNSS-станціями досягають шляхом об'єднання в одну мережу станцій різних власників. І тут виникає негативний момент, який полягає в тому, що один провайдер не в змозі контролювати стабільність роботи референсних станцій партнерів, а це породжує "білі плями" у покритті в окремий період часу і, відповідно, знижує надійність мережевого розв'язку. Для вирішення цього питання зазвичай вживають суто організаційних заходів.

Але для технічного вирішення питання існує мережевий розв'язок за технологією Sparse VRS, який упроваджено у GNSS-мережі UA-EUPOS/ZAKPOS [2,13], що працює в Україні вже понад чотири роки і сьогодні є найбільш "комунікабельною" у плані міжнародного обміну GNSS-даними, а також обміну такими даними з партнерами в Україні.

Актуальною проблемою наразі є дослідження реальної точності RTK-вимірювань за технологією Sparse VRS, яка гарантуватиме швидкий та якісний мережевий розв'язок за звичайною технологією VRS (Virtual Reference Station) у розріджених GNSS-мережах при незначних втратах точності.

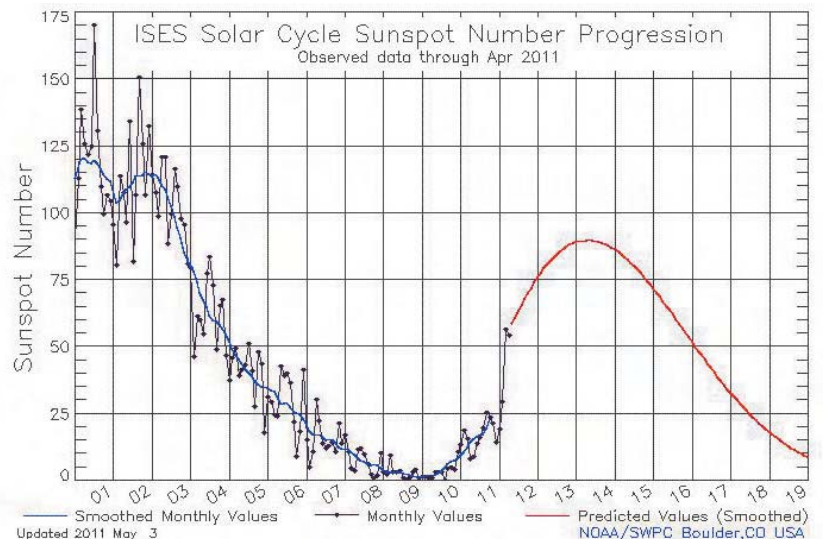
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Густота розташування референсних станцій у звичайних GNSS-мережах обумовлена насамперед рекомендаціями фірм-виробників обладнання й мережевого програмного забезпечення. Як правило, йдеться про відстань між станціями приблизно в 50-70 км [5-7,23], хоч

достатньо якісний результат за технологією "звичайного" VRS досягається й на відстанях понад 100 км [3].

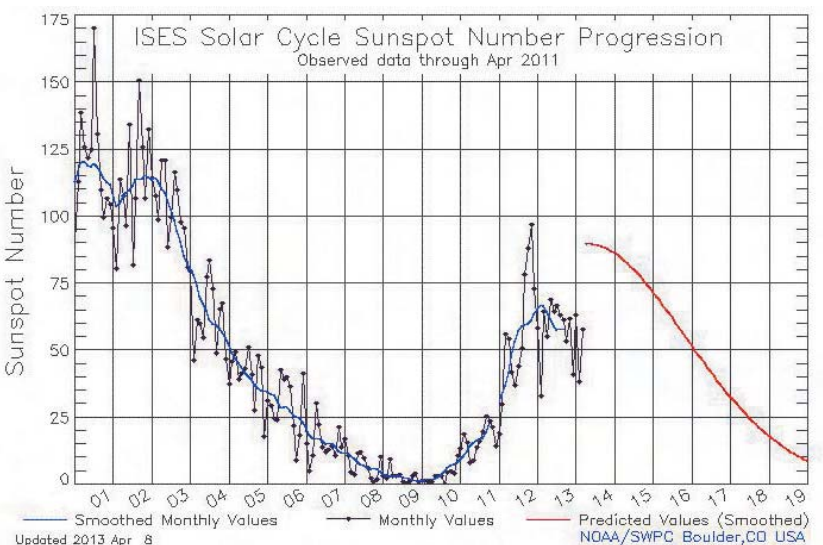
Так, рекомендації від NGS [20] щодо розташування нової станції з точки зору зручності для обчислень – не ближче 70 км (допустима і більша відстань) від існуючих станцій.

Також виробники інфраструктурного GNSS-обладнання й програмного забезпечення радять ще більше згущувати мережі у зв'язку з циклічним збільшенням сонячної активності [5,6], пік чергового з яких очікується у найближчі місяці поточного року (див. мал.1 і 2) [24].

Користувачам технології Sparse VRS від Trimble рекомендується як базові відстані обирати до 120 км [11]. Однак у публікаціях інфраструктурного підрозділу Trimble [12] йдеться про потенційну можливість отримання точності до 10 см у плані при базових відстанях від 100 до 300 км.



Мал. 1. Графік прогнозування сонячної активності від травня 2011 р.



Мал. 2. Графік прогнозування сонячної активності від квітня 2013 р.



Як видно з мал.1 та 2, пік сонячної активності виявився значно м'якшим у порівнянні з позами-нулорічним прогнозуванням [24], тому капітало-вкладення у згущення GNSS-мереж у 2011-2012 рр. для прогнозованого досягнення певної точності позиціонування однозначно не є оптимальними. Але ж необхідна кількість GNSS-станцій на одиницю площі безумовно покращує надійність роботи мережі.

І тут доречно буде зазначити, що фундамен-тальні технічні положення стосовно розміщення постійно діючих станцій не переглядались остан-німи роками, отже, на сьогодні не існує одно-значних вимог щодо базових відстаней [23].

**Постановка завдання.** Основна мета роботи – дослідити точність мережевого розв'язку за техноло-гією Sparse VRS у розріджених GNSS-мережах.

**Виклад основного матеріалу.** Технологія Sparse VRS від Trimble – це способи генерування мереже-вого розв'язку методом VRS у розріджених GNSS-мережах, тобто в мережах з великими відстанями між референцними станціями [5,11,12]. Наразі вона прак-тично реалізована в останніх програмних інфра-структурних рішеннях від Trimble [11].

Метод VRS, базовий алгоритм яко-го розробила німецька фірма "Terra-  
sat" наприкінці минулого століття, по-лягає у формуванні поправок відносно умовної точки – віртуальної референц-ної станції. Цей метод до сьогодніш-нього дня є основою для отримання ме-режевого розв'язку у програмних ком-плексах провідних фірм-виробників GNSS-обладнання та програмного за-безпечення (Trimble, Leica Geosystems, Topcon та ін.) [22].

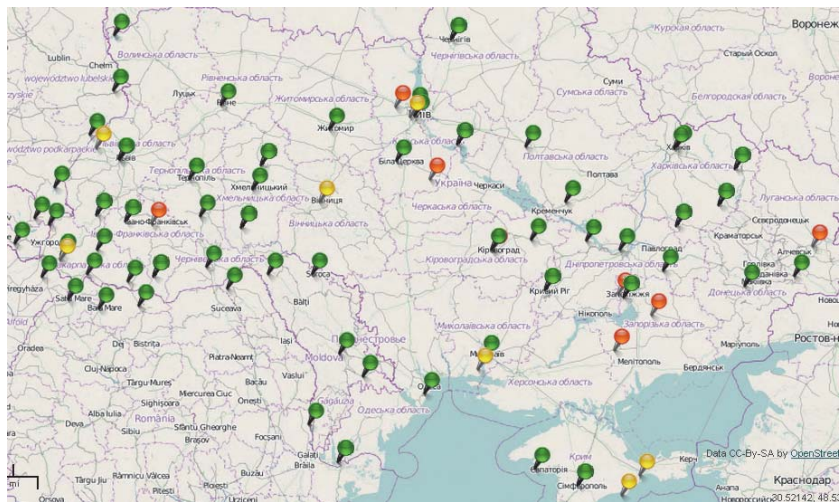
Фактично на фоні "густої забудови" GNSS-станціями Європи й Аме-рики анонсування технології Sparse VRS від Trimble виявилось достат-ньо несподіваним, проте при деталь-нішому ознайомленні виявилось, що основне призначення технології Sparse VRS – це свого роду перехід-ний етап при побудові звичайної ("густої") мережі. Тобто на етапі розгортання "пов-ноцінної" GNSS-мережі, коли референцних GNSS-станцій ще недостатньо для звичайного методу VRS, потреба в них відчувається все більше, адже цю технологію можна використовувати і для досліджень у звичайній мережі як свого роду резервний варіант – на випадок тимчасового виключення окремих стан-цій з обробки. У разі відсутності звичайного мереже-вого розв'язку користувач має можливість обрати точку під'єднання за методом Sparse VRS, хоча при цьому і дещо знижується точність [11,12].

Крім того, використання методу Sparse VRS мо-же виявитись основним методом роботи на певних ділянках (у розумінні покриття) GNSS-мереж, де кількість та геометрія розташування станцій не да-ють можливості використовувати звичайний мере-жевий розв'язок.

Оскільки мережевий розв'язок методом VRS є математичним моделюванням актуальних умов у зоні покриття GNSS-мережі за одиницю часу, не варто забувати, що технологія Sparse VRS ґрунту-ється на тому самому базовому алгоритмі. Тобто критичним може виявитись кількість "спільних" супутників [3], адже відстані між референцними GNSS-станціями, які задекларовані розробником технології, можуть досягати 300 км [12].

Суть нашого дослідження полягала у взаємно-му порівнянні координат будь-якої відомої станції з координатами, які отримані в результаті мереже-вого розв'язку в режимі реального часу за техноло-гією Sparse VRS при різних конфігураціях створе-них штучно тестових GNSS-мереж з великими від-станями між референцними станціями.

Зараз єдиною мережею на території України, яка пропонує користувачам мережеві розв'язки методом Sparse VRS, є GNSS-мережа активних ре-ференцних станцій UA-EUPOS/ZAKPOS (див. мал. 3). На цьому малюнку відображено власні станції GNSS-мережі UA-EUPOS/ZAKPOS, а та-кож станції партнерів в Україні та за кордоном.



Мал. 3. Загальна схема GNSS-мережі UA-EUPOS/ZAKPOS станом на квітень 2013 р.

Для дослідження точності мережевого розв'язку за технологією Sparse VRS було створено окремі тес-тові GNSS-мережі, до складу яких увійшли станції з різних європейських мереж, з якими налагоджено взаємовигідний обмін GNSS-даними з метою покращення покриття прикордонних з Україною районів.

До тестових мереж було включено активні ре-ференцні GNSS-станції, обладнані переважно сучасними мультисистемними (GPS, ГЛОНАСС) приймачами: SULP, СНТК (Україна), SKVK (Сло-ваччина), VISE (Румунія), USDL (Польща), EDIN (Молдова), а також одну станцію з односистемним GPS-приймачем HOZD (Польща). Як роверний комплект було використано сучасний мультисис-темний приймач Trimble R7 [8] з контролером Trimble TSC2. Характеристики обладнання наве-дено в табл.1.

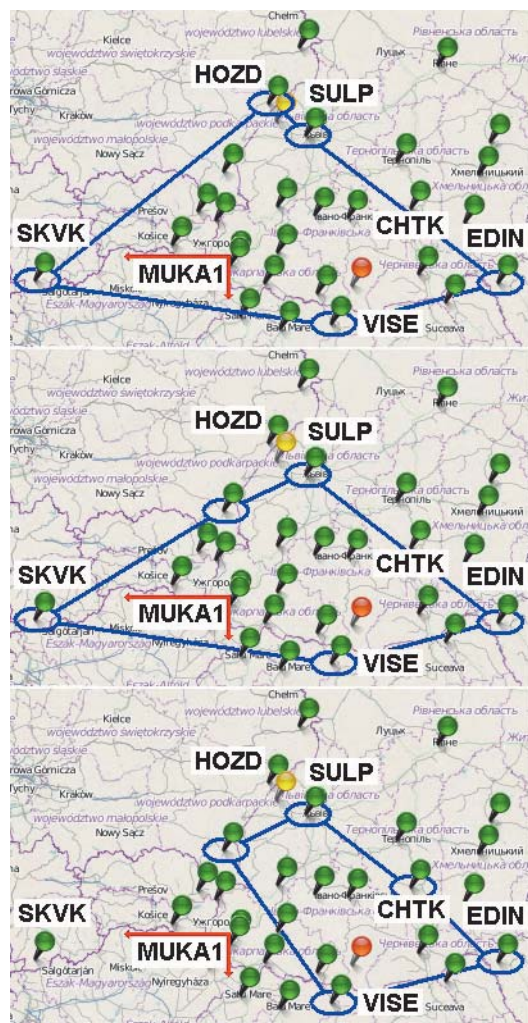


Таблиця 1. GNSS-обладнання для проведення дослідження

Призначення приймача	Назва станції	Фірма-виробник	Модель приймача	Система	Розміщення станції
Референцна станція	SULP	Topcon	NET-G3a	GPS+GLO	Україна
Референцна станція	CHTK	Topcon	GB1000	GPS+GLO	Україна
Референцна станція	SKVK	Trimble	NET-R5	GPS+GLO	Словаччина
Референцна станція	WISE	Leica	GRX1200GGPro	GPS+GLO	Румунія
Референцна станція	USDL	Trimble	NET-R5	GPS+GLO	Польща
Референцна станція	HOZD	Trimble	NET-RS	GPS	Польща
Референцна станція	EDIN	Leica	GR10	GPS+GLO	Молдова
Ровер	MUKA1	Trimble	R7	GPS+GLO	Україна

Для проведення дослідження референцні станції було об'єднано в три GNSS-мережі на програмному рівні. Станції обирали за принципом зручності розташування для проведення дослідження – великі відстані між референцними станціями (імітація Sparse-мережі) та зручне розташування тестової станції MUKA1 по відношенню до інших (мал. 4).

розгалужувача високочастотного антенного сигналу TW150 від фірми "Tallysman Wireless" [4] було під'єднано до роверного приймача Trimble R7 (паралельно до базового приймача Trimble NET-R5, яким обладнано референцну станцію). Тобто роверний комплект для досліджень складався з приймача Trimble R7 з антеною Trimble Zephyr Geodetic II та контролера Trimble TSC2 (мал. 5).



Станція 1	Станція 2	Відстань між ними, км
SKVK	HOZD	365
HOZD	SULP	61
SULP	EDIN	303
EDIN	WISE	220
WISE	SKVK	383
SKVK	MUKA1	251
HOZD	MUKA1	199
SULP	MUKA1	181
EDIN	MUKA1	340
WISE	MUKA1	151

Станція 1	Станція 2	Відстань між ними, км
SKVK	USDL	273
USDL	SULP	112
SULP	EDIN	303
EDIN	WISE	220
WISE	SKVK	383
SKVK	MUKA1	251
USDL	MUKA1	110
SULP	MUKA1	181
EDIN	MUKA1	340
WISE	MUKA1	151

Станція 1	Станція 2	Відстань між ними, км
USDL	SULP	112
SULP	CHTK	158
CHTK	EDIN	145
EDIN	WISE	220
WISE	USDL	235
USDL	MUKA1	110
SULP	MUKA1	181
CHTK	MUKA1	234
EDIN	MUKA1	340
WISE	MUKA1	151

Мал. 4. Схематичне зображення тестових мереж та відстані між станціями

У ході дослідження було виділено окремий синхронізатор на віддаленому сервері для побудови тестових мереж. До складу кожної з трьох мереж було включено по п'ять референцних стан-

цій відомі, у т. ч. й координати станції MUKA, які було прийнято за контрольні для порівняння з результатами мережевих RTK-розв'язків за технологією Sparse VRS від створених тестових мереж.

Тестову станцію ми назвали MUKA1.

Сенс поєднання для дослідження MUKA1 з референцною станцією MUKA простий – зручне "офісне" дослідження на станції з відомими координатами.

Як контролер було обрано польовий прилад TSC2 від фірми "Trimble" з програмним забезпеченням Trimble Survey Controller версії 12.49, який має суттєву перевагу над іншими подібними контролерами щодо гнучкості підключення до Інтернету – програмне забезпечення контролера "бачить" зв'язок (при його наявності) з Інтернетом базової операційної системи Windows Mobile через технологію синхронізації мобільних пристроїв (фізично через інтерфейс USB) та має можливість його використання. Це дозволило встановити якісний швидкий зв'язок з кастером через Інтернет для проведення досліджень.

Координати активних референцних GNSS-стан-



Мал. 5. Схема підключення роверного комплекту

Слід зауважити, що порівняння з контрольними координатами референційної станції МУКА є цілком коректним, адже всі станції мережі мають високу узгодженість координат між собою [3]. Від кожної з трьох тестових мереж отримувались три фіксовані розв'язки з інтервалом у 10 хв. Результати вимірів (Ш, Д, В) та різниці координат зведено у табл. 2. Зауважимо, що наведені різниці координат перетворені у топоцентричну систему, де за точку відліку прийнято координати референційної станції МУКА.

Таблиця 2. Результати дослідження

Станції мережі	№ розв'язку	Референційна станція МУКА	Тестова станція МУКА1	Різниці координат, см
SKVK HOZD SULP EDIN VISE	1	Ш 44.86504"	Ш 44.86326"	-5.5
		Д 20.57761"	Д 20.57614"	-3.0
		В 170.418 м	В 170.487 м	6.9
	2	Ш 44.86504"	Ш 44.86292"	-6.6
		Д 20.57761"	Д 20.57688"	-1.5
		В 170.418 м	В 170.503 м	8.5
	3	Ш 44.86504"	Ш 44.86673"	5.2
		Д 20.57761"	Д 20.57114"	-13.3
		В 170.418 м	В 170.655 м	23.7
SKVK USDL SULP EDIN VISE	1	Ш 44.86504"	Ш 44.86445"	-1.8
		Д 20.57761"	Д 20.56985"	-15.9
		В 170.418 м	В 170.760 м	34.2
	2	Ш 44.86504"	Ш 44.86544"	1.2
		Д 20.57761"	Д 20.57098"	13.6
		В 170.418 м	В 170.784 м	36.6
	3	Ш 44.86504"	Ш 44.87077"	17.7
		Д 20.57761"	Д 20.57202"	-11.5
		В 170.418 м	В 170.354 м	-6.4
USDL SULP CHTK EDIN VISE	1	Ш 44.86504"	Ш 44.86429"	-2.3
		Д 20.57761"	Д 20.57793"	0.7
		В 170.418 м	В 170.675 м	25.7
	2	Ш 44.86504"	Ш 44.86494"	-0.3
		Д 20.57761"	Д 20.57701"	-1.2
		В 170.418 м	В 170.528 м	11.0
	3	Ш 44.86504"	Ш 44.86411"	-2.9
		Д 20.57761"	Д 20.57800"	0.8
		В 170.418 м	В 170.591 м	17.3

**Висновки.** 1. Отримані результати свідчать про можливість отримання мережевого розв'язку за технологією Sparse VRS. 2. Зважаючи на відстані між обраними референційними GNSS-станціями та їх віддаленість від тестової, ці результати слід вважати достатньо якісними, а технологію Sparse VRS цілком придатною для використання в окремих видах інженерно-вишукувальних та кадастрових робіт. 3. З практичної точки зору впровадження сервісу RTK за технологією Sparse VRS даватиме на практиці кращий результат, адже "в середині" покриття тестових мереж знаходиться велика

кількість "виключених" GNSS-станцій, одночасна відмова яких є маловірогідною. 4. Судячи з результату по третій тестовій мережі, технологію Sparse VRS можна було б використовувати і "за межами" мережі, але це ще потребує додаткового дослідження в плані віддаленості від мережі тестової станції.

Зазначимо також, що отримані результати значно кращі за ті, які декларує метод DGPS.

І щодо недоліків: технологія Sparse VRS (як і звичайний VRS-метод) потребує певної кількості (як правило, більше п'яти) "спільних" супутників [3], що значно гостріше відчувається на довгих базових відстанях. У ході дослідження побіжно було виявлено, що надійний і швидкий мережевий розв'язок у тестових мережах фіксувався за наявності семи і більше "спільних" супутників. З цього випливає, що ефективне використання на практиці технології Sparse VRS в розріджених GNSS-мережах можливе тільки за наявності мультисистемного (GPS+ГЛОНАСС) роверного комплекту й мультисистемних референційних GNSS-станцій.

## Література

1. *Евстафьев, О.* Наземная инфраструктура для точного позиционирования / О. Евстафьев // Геопроефи. – 2008. – № 1. – С. 21-24; № 2. – С. 24-28; № 3. – С.15-18.
2. *Савчук, С.* Перша мережа активних референційних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи становлення та початок діяльності / С. Савчук, І. Проданець, І. Калинич // Геопроефиль. – 2010. – № 1. – С. 16-23.
3. *Савчук, С.Г.* Аналіз якості мережевого розв'язку в активних GNSS-мережах / С.Г. Савчук, О.В. Ланько // Геодез., картогр. і аерофотознім.: міжвідом. наук.-техн. зб.; відп. ред. проф., д-р техн. наук К.Р.Третьак. – 2011. – № 74. – С. 23-29.

## Інтернет-джерела

4. Сайт фірми "Tallysman Wireless". – [www.tallysman.com](http://www.tallysman.com)
5. Сайт фірми "Trimble". – [www.trimble.com](http://www.trimble.com)
6. Сайт фірми "Leica geosystems". – <http://www.leica-geosystems.com>
7. Сайт фірми "Topcon". – <http://www.topconpositioning.com/>
8. Сайт National Marine Electronics Association (NMEA). – [www.nmea.org](http://www.nmea.org)
9. Сайт Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP). – <http://igs.bkg.bund.de/ntrip>
10. Технічні дані на GPS-приймач Trimble R7. – [http://www.trimble.com/trimbler7gnss\\_ds.asp](http://www.trimble.com/trimbler7gnss_ds.asp)
11. Технічні дані програмного модуля Trimble SparseVRS App. – [http://www.trimble.com/infrastructure/pdf/022506-154\\_Trimble\\_sVRS\\_App\\_TN\\_0712\\_LR.pdf](http://www.trimble.com/infrastructure/pdf/022506-154_Trimble_sVRS_App_TN_0712_LR.pdf)
12. EPN – Європейська перманентна мережа. – <http://www.epncb.oma.be/>
13. GNSS-мережа Західної України – UA-EUPOS/ZAKPOS. – [www.zakpos.zakgeo.com.ua](http://www.zakpos.zakgeo.com.ua)
14. GNSS-мережа від фірми "Topcon" в Україні – TNT



GNSS Network. – [www.net.tnt-tpi.com](http://www.net.tnt-tpi.com)

15. GNSS-мережа Польщі – ASG-EUPOS. – [www.asgeupos.pl](http://www.asgeupos.pl)

16. GNSS-мережа Словаччини – SKPOS. – [www.skpos.gku.sk](http://www.skpos.gku.sk)

17. GNSS-мережа Румунії – ROMPOS. – [www.rompos.ro](http://www.rompos.ro)

18. GNSS-мережа Угорщини – GNSSnet.hu. – [www.gnssnet.hu](http://www.gnssnet.hu)

19. GNSS-мережа Молдови – MOLDPOS. – [www.moldpos.md](http://www.moldpos.md)

20. Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS) // National Geodetic Survey, National Ocean Survey, NOAA. – January 2013, Silver Spring, MD 20910. – [http://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/CORS\\_guidelines.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/CORS_guidelines.pdf)

CORS\_guidelines.pdf

21. Pierre DESJARDINS / Multipurpose Nation-wide Real-Time Reference Station Network – From Geodetic Control to Precise Positioning and Much More... // FIG Working Week 2011. – [http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts02a/ts02a\\_desjardins\\_5377.pdf](http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts02a/ts02a_desjardins_5377.pdf)

22. Schrock G. The Birthplace of VRS // The American Surveyor Magazine Online. – Vol. 7. – No 3. – <http://www.amerisurv.com/content/view/7259/153/>

23. Standards and Guidelines EUPOS. – <http://www.eupos.org>

24. Solar Cycle Progression // Space Weather Prediction Center, NOAA. – Updated April 2011. – <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle>

Надійшла 08.05.13

\* \* \*

УДК 528.3

Н. І. Каблак, С. Г. Савчук

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ АТМОСФЕРИ ТА ЇЇ ВПЛИВУ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ У МЕРЕЖІ АКТИВНИХ РЕФЕРЕНЦІЙНИХ СТАНЦІЙ UA-EUPOS/ZAKPOS

*Изложена сущность технологии построения изоповерхностей тропосферных задержек в режиме реального времени наблюдений в сети активных референционных станций UA-EUPOS / ZAKPOS. Доказано, что из-за пространственно-временной нестабильности атмосферы при построении изоповерхностей необходимо в координаты роверного приемника вводить значения поправок остаточных некомпенсированных тропосферных задержек.*

*It is considered the technology of creation of isosurfaces of tropospheric delays on the basis of real-time observations in the network of active reference stations UA-EUPOS/ZAKPOS. It is shown that because of spatio-temporal instability of the atmosphere, when creating the isosurfaces it is necessary to input in the coordinates of a rover receiver the correction for uncompensated residual tropospheric delay.*

**Постановка проблеми.** Поява RTK-технології в процесі розвитку систем точного супутникового позиціонування забезпечило широке впровадження її у різні сфери – навігацію, геодезію, кадастрування тощо. Вона дає змогу добиватися сантиметрового рівня точності визначення координат безпосередньо в ході спостережень у режимі реального часу, у т. ч. й на пунктах мережі активних референційних станцій UA-EUPOS/ZAKPOS [5,8].

Мережа UA-EUPOS/ZAKPOS з обчислювальним центром у м. Мукачеве (Закарпатська область) пропонує користувачам технологічні послуги RTK з 2008 р. Сервери мережі обробляють дані від 13-ти GNSS-станцій, розташованих на території Західної України, а також від 12-ти станцій своїх партнерів у Польщі, Словаччині, Угорщині, Румунії та Молдові. Мережа покриває територію восьми західних областей України [8-12].

Одною з технічних проблем, яка на сьогодні ще не вирішена при використанні технології RTK, є обмеження на відстані між GNSS-станціями, викликане впливом земної атмосфери.

**Аналіз попередніх досліджень та публікацій.** Багатий досвід створення та організації роботи

інфраструктури в режимі реального часу мають деякі країни Європи, США, Австралія. Серед європейських країн у цьому питанні передує Німеччина. Її досягнення фактично стали стандартами у справі функціонування RTK-технологій.

Густота розташування базових станцій у GNSS-мережах насамперед визначається рекомендаціями фірм-виробників обладнання й мережевого програмного забезпечення. В інструктивних документах про налаштування програмного забезпечення, як правило, за замовчуванням, вказується відстань у 100 км між користувачем та найближчою базовою станцією. Проте в основних положеннях стосовно розміщення та експлуатації постійно діючих референційних GNSS-станцій немає конкретних вказівок на відстані між ними та їх взаємне розташування. Вказується лише, що коли відстані між станціями не перевищують 70-80 км, то це може практично гарантувати отримання достовірного результату щодо точності [2,13,14].

У працях [4,6] на основі експериментального дослідження на активній мережі UA-EUPOS/ZAKPOS доведено залежність якості мережевого рішення од відстані між базовими станціями GNSS. Одержані результати свідчать про фактичну придатність алгоритмів моделювання мережевого

© Н. І. Каблак, С. Г. Савчук, 2013