

## МЕТОДИКА І ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛІВ GLONASS ПІД ЧАС RTK ВИМІРЮВАНЬ

© Савчук С.Г., Керкер В.Б., 2011

*Приведены предварительные результаты исследований эффективности использования сигналов ГЛОНАСС при выполнении RTK измерений. Показано, что при использовании сигналов ГЛОНАСС существенный эффект наблюдается только на малых расстояниях от базовой станции (30 км). На больших расстояниях (121 км) эффект от сигналов ГЛОНАСС практически не проявляется.*

*The preliminary results of research on the effectiveness of GLONASS when performing RTK measurements. It is shown that a significant effect on the use of GLONASS is observed only at short distances from the base station (30 km). At large distances (121 km), it makes almost no effect or no shows.*

**Актуальність проблеми.** Одним з перспективних напрямків подальшого розвитку сучасних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) є спільне комплексне використання інформаційних радіосигналів, що надходять від супутників, які входять до складу систем GPS і ГЛОНАСС. Проведені в цій галузі дослідження свідчать про можливість підвищення точності і надійності результатів вимірювань під час навігаційного використання таких систем [1–4].

До передумов розв'язання такої проблеми можуть бути віднесені як доволі близька ідеологія побудови згаданих систем, так і близькість часових відрізків їх створення. За результатами численних спільних досліджень встановлено, що за рахунок поліпшення геометричного фактора, який залежить від кількості супутників, які можуть одночасно використовуватися, та їх розподілу в межах видимого небосхилу, точність визначення координат як у плані, так і за висотою може бути поліпшена приблизно в 1,5 раза [6]. При цьому цього додаткового підвищення точності при спільному використанні GPS і ГЛОНАСС сигналів досягають за рахунок збільшення обсягу оброблюваної інформації та відповідного зменшення залишкових впливів систематичних помилок, що властиві кожній з цих систем окремо, тобто діє добре відоме в геодезії правило – що більша кількість даних вимірювань, то вища точність отриманих результатів.

Поряд із зазначеними факторами поліпшується також автономний контроль цілісності сигналів у приймачі. За використання розглянутих систем у навігації встановлено, що їх комплексування можна підвищити за достійкістю в умовах існування природних і штучних перешкод, а також безперервність і надійність результатів навігаційних визначень.

Проте стосовно вирішення геодезичних завдань проблема комплексування систем GPS і ГЛОНАСС на характерному для геодезії високому рівні точності виявляється складнішою. Відпрацювання методів комплексування таких систем ґрунтується на використанні розроблених в останні роки високоточних двосистемних і двочастотних приймачів, пристосованих для приймання радіосигналів від обох вищезгаданих систем.

Якщо під час тривалих статичних спостережень відчутного ефекту від використання сигналів ГЛОНАСС практично не виявлено, то згідно із загальноприйнятим твердженням надійна і швидка кінематика в режимі реального часу (RTK) сьогодні просто неможлива без поєднання сигналів супутників GPS і ГЛОНАСС.

**Зв'язок з науковими і науково-технічними програмами, проектами, планами.** Планово-висотна основа країни є невід'ємною частиною загальнодержавної системи геодезичного забезпечення. Тому концепцію її розвитку необхідно розглядати в контексті сучасного розвитку супутникових технологій визначення місцеположення, особливо тих, які пов'язані із повнофункціональною мережею

базових станцій, як інфраструктурою точного позиціонування [5]. За таких умов під час виконання топографо-геодезичних робіт необхідно забезпечити, з одного боку, максимальну ефективність застосування сучасних супутникових технологій, а з іншого, зберегти і реалізувати весь потенціал системи координатного забезпечення, створеної на основі традиційних методів геодезичних вимірювань.

Створення такої системи координатного забезпечення напряму пов'язане з планами та пропозиціями EUPOS – європейської громадської ініціативи зі створення однорідної інфраструктури у Центральній та Східній Європі, що ґрунтується на диференційному методі DGNSS. Ця фундаментальна інфраструктура технічно складається із мережі референсних GNSS станцій та відповідних їй комунікаційних ліній, а її послуги – це координатне забезпечення різної точності. Послуги, що надаються такою мережею, можуть використовуватися у багатьох застосуваннях, де вимагається точність від 1 м і навіть до 1 см в реальному часі та субміліметрова точність у режимі постобробки.

Структури Національного космічного агентства України ведуть роботи з розгортання наземної мережі контрольно-корегуючих станцій та введення в дослідну експлуатацію системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України з використанням систем GPS, ГЛОНАСС та інших глобальних навігаційних супутникових систем. Так, наприклад, проектом “Навігація” передбачено створення наземної диференційної підсистеми координатно-часового та навігаційного забезпечення із застосуванням глобальних навігаційних систем GPS та ГЛОНАСС для надання послуг, які б задовольняли сучасні вимоги користувачів щодо похибок навігаційних визначень на території України.

**Постановка задачі.** Технологія визначення просторових координат за допомогою супутникових геодезичних вимірювань у режимі реального часу давно зарекомендувала себе як ефективний засіб топографо-геодезичного виробництва. Залежно від обладнання та методик, що використовуються під час RTK спостережень, точність вимірів може сягати від метра у разі збирання та оновлення даних для ГІС-проектів до декількох сантиметрів і вище під час виконання високоточних виконавчих знімачів та розбивочних робіт.

Традиційно коригувальні дані для пересувного (роверного) приймача у режимі реального часу передавалися від базового приймача (референсної станції) за допомогою радіомодемів УКХ-діапазону – технологія RTK або ретрансляторами з геостационарних супутників диференційних підсистем (EGNOS, WAAS, MSAS тощо) – технологія DGPS.

В останнє десятиліття широкому застосуванню технології RTK в геодезії сприяє активний розвиток засобів мобільного зв'язку, території покриття якими постійно розширюються. Засоби мобільного зв'язку мають малу вагу і розмір, не вимагають оформлення дозволів на використання радіочастот, їх оператори пропонують доволі гнучкі тарифи зв'язку, тому вони знаходять широку підтримку з боку виробників супутникового геодезичного обладнання.

З розвитком мереж постійно діючих референсних станцій і впровадженням мережевих розв'язків з надання різних сервісів, таких як VRS-мережі і централізованих NTRIP серверів, супутникові геодезичні вимірювання в режимі реального часу (RTK) виходять на новий якісний рівень. Прикладом надання подібних сервісів геодезичного використання в Україні є мережа GNSS станцій ZAKPOS/UA-EUPOS [9].

Заявлені виробниками та підтверджені багаторічним досвідом робіт переваги технології RTK сумнівів не викликають. Однак виникають питання, щодо технології і точності визначення просторових координат, що породжує безліч дискусій і помилкових передумов при виборі методу для проведення геодезичних робіт різного призначення і класу точності. Такими можна вважати основні позиції:

- вплив якості вихідних координат постійно діючих референсних станцій;
- наявність безлічі місцевих плоских прямокутних систем координат і відсутність відомостей про параметри їх трансформування з національними чи глобальними референсними системами;
- специфіка роботи в складних умовах (забудована або покрита густою рослинністю територія);
- необхідність суворого дотримання вимог нормативних документів і методичних рекомендацій під час вимірів;
- ефективність використання мультисистемних супутникових приймачів глобальних навігаційних супутникових систем GPS і ГЛОНАСС.

Останню позицію розглянуто в статті.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження ефективності застосування сигналів ГЛОНАСС під час RTK вимірювань було обрано одну із станцій мережі активних референсних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS за базову, тобто таку станцію, від якої приймалися RTK-поправки. Хоч серед послуг мережі ZAKPOS/UA-EUPOS є можливість отримання VRS RTK-поправок із мережевого розв'язку, проте для вірогіднішого виявлення ефекту від сигналів ГЛОНАСС було обрано окрему станцію. Причиною такого рішення було те, що мережа складається із станцій, на частині яких приймаються сигнали GPS+ГЛОНАСС, а на решті – лише GPS. Такою станцією нами було обрано референсну станцію RAHI, що розташована у м. Рахів Закарпатської обл. (рис. 1).



*Рис. 1. Схема мережі активних референсних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS*

Станція Рахів обладнана мультисистемним багаточастотним GNSS приймачем TRIMBLE NETR5, який через технологію NTRIP надає можливість отримання у реальному часі поправок RTK.

Спостереження проводили на трьох довільно обраних пунктах, розташованих на різних відстаннях від базової станції Рахів. Пункти обирали за умови повної відкритості горизонту. На рис. 2 зображено один з таких пунктів. На кожному пункті встановлювали на одному штативі із спеціальною штангою по дві антени з двома приймачами. Один із приймачів був налаштований на одночасне приймання сигналів GPS+ГЛОНАСС, а другий – лише на GPS. Спочатку велися 4-годинні статичні спостереження з метою визначення вихідних (контрольних) координат обраного пункту, а потім близько двох годин приймалися RTK-поправки. Спостереження проводили на території Івано-Франківської та Тернопільської областей у період з 22.06.2011 по 25.06.2011. Система координат, у якій виконували дослідження – ETRS89.



Рис. 2. Вигляд пункту спостереження у Тернопільській області

У табл. 1 наведено загальний опис про сесії спостереження, а у табл.2 – характеристику приладів та обладнання для проведення експериментальних досліджень.

Таблиця 1


**Опис сесій спостережень**



№ пунктів	Дата спостережень	Відстань від базової станції, км	Район робіт
1	22.06.2011	33	Івано-Франківська область, Яремчанська міська рада, с. Яблуниця
2	24.06.2011	86	Івано-Франківська область, Коломийський район, с. Струпків
3	25.06.2011	121	Тернопільська область, Монастирський район, с. Коропець

Таблиця 2

**Комплекти обладнання, які використовувались для спостережень**

Приймач	Серійний номер	Антенa
Topcon GB-1000	8Q3R5O44A2O	TPS PG-A1 Geod
Topcon GRS-1	EO1ZEM7GOOW	TPS PG-A1 Geod

1	Topcon GB-1000	
2	Topcon GRS1 (GPS)	

		
3	Зовнішня антена TPS PGA-1 Geodetic antenna	

За результатами статичних спостережень на кожному пункті були обчислені їх контрольні координати за допомогою програмного пакета Trimble Total Control. Для проведення обчислень використовувалися дані спостережень із найближчих референцних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS: MIZG (Міжгір'я), RAHI (Рахів), FRAN (Івано-Франківськ), TERN (Тернопіль). Приклад мережі, у якій визначалися координати пункту Коропець (пункт № 3), наведений на рис. 3.

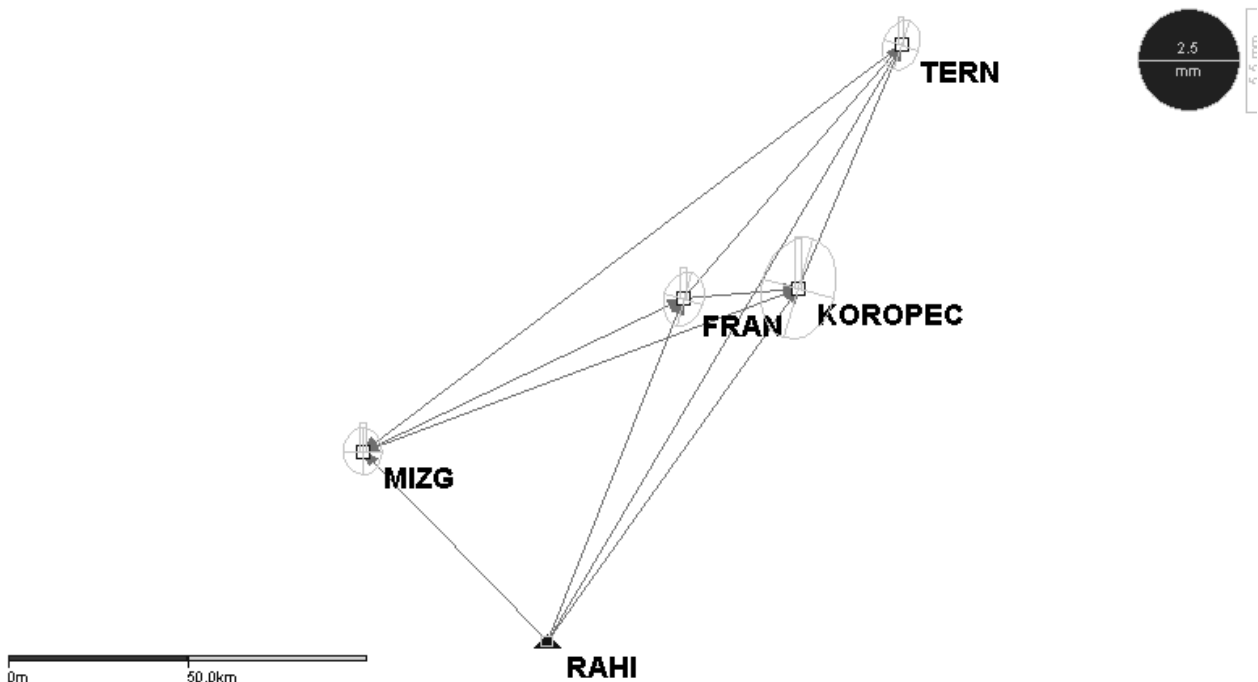


Рис. 3. Обчислення контрольних координат пункту Коропець

Зважаючи на те, що встановити в одній фізичній точці дві антени було неможливо, то контрольні координати спочатку отримували лише для положення однієї антени. Оскільки відстань між двома антенами була фіксованою і становила 20 см, а штангу для кріплення антен строго орієнтували у північному напрямі, то обчислити положення другої антени відносно першої – не складно. Саме ці контрольні координати порівнювали із координатами, отриманими у результаті RTK вимірювань. Потрібно зазначити, що після ініціалізації частота відбору координат становила близько 30 с. Загалом було проведено близько 250 вимірів кожним приймачем на одному пункті спостереження. Узагальнені результати такого порівняння наведено у табл. 3. В останній колонці цієї таблиці наведено результати спостережень приймачем TOPCON GB1000, коли примусово із режиму RTK вилучали деякі супутники. Це робилося для того, щоб переконатися у дієвості технології RTK в умовах перешкод поширення сигналів.

Таблиця 3

### Результати опрацювання

Відстань до пересувного приймача	TOPCON GRS1 (GPS) план/висота, см	TOPCON GB 1000 (GPS+GLONASS) план/висота, см	TOPCON GB 1000 (GPS+GLONASS+перешкоди) план/висота, см
33 км	0.03/0.04	0.01/0.02	0.01/0.03
86 км	0.03/0.05	0.02/0.04	0.04/0.04
121 км	0.05/0.06	0.09/0.10	0.08/0.07

**Висновки.** Як видно із результатів опрацювання даних спостережень, помітний ефект від використання сигналів ГЛОНАСС спостерігається лише на малих відстанях від базової станції (0.01/0.02 см проти 0.03/0.04 см). На великих відстанях він практично нівелюється (86 км) або й зовсім не проявляється чи проявляється навпаки (121 км). Такий парадоксальний на перший погляд результат має очевидно пояснення. На нашу думку, отриманий результат може бути викликаний залишковим впливом тропосфери в напрямі базова станція – пересувний приймач. Тобто у разі великих відстаней від базової станції вплив тропосфери стає достатньо значимим і переважає ефект від використання сигналів ГЛОНАСС. Ефект проявляється лише за часом ініціалізації: при спостереженнях TOPCON GB1000 час ініціалізації є набагато меншим. Проте цей ефект не є визначальним для проведення геодезичних робіт практичного характеру, адже різниця у часі близько 10–30 с на оперативність істотно не впливає. Щодо перешкод, то тут можна зауважити таке. За загальної кількості супутників від двох систем до 15–18 від’єднання сигналів від 2–4 супутників практично жодного значення не має, на що вказують результати табл. 3.

1. Dodson, A., Moore, T., Baker, D.F. & Swann, J.W. (1999). *Hybrid GPS + GLONASS. GPS Solutions*, 3 (1), 32-41. 2. Habrich, H. (1999). *Geodetic applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS combinations. PhD Dissertation, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, 137pp.* 3. Leick, A. (1998). *GLONASS satellite surveying. Journal of Surveying Engineering*, 124, 91–99. 4. Leick, A., Li, J., Beser, Q., & Mader, G. (1995). *Processing GLONASS carrier phase observations: theory and first experience. 8th International Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation GPS ION'95, Palm Springs, California, 12-15 September, 1041–1047.* 5. Wang, J. (1999b). *Precise GPS and GLONASS satellite positioning: model formulations and performance. Artificial Satellites, Journal of Planetary Geodesy*, 34(1), 11-25. 6. Willis, P., Beutler, G., Gurtner, W., Hein, G.W., Neilan, R.E., Noll, C. & Slater, J. (1999). *IGEX: International GLONASS experiment: scientific objectives and preparation. Adv. Space Res.*, 23(4), 659-663 7. Zarraoa, N., Mai, W., Sardón, E. & Jungstand, A. (1998). *Preliminary evaluation of the Russian GLONASS system as a potential geodetic tool. Journal of Geodesy*, 72, 356-363. 8. Zinoviev A. *Using GLONASS in Combined GNSS Receivers: Current Status. 18th International Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Long Beach, California, 13-16 September 2005, 1046-1057.* 9. Інтернет ресурс ZAKPOS: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>.