

УДК 528.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ GPS ТА GPS+GLONASS СИГНАЛІВ СУПУТНИКІВ ПІД ЧАС RTK ВИМІРЮВАНЬ

В. Керкер, А. Задемленюк, О. Боледзюк

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: GNSS-спостереження, GPS- та GLONASS-сигнали супутників, режим RTK, мережа референціальних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS.

Постановка проблеми

Після повноцінного розгортання двох основних сучасних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), таких як GPS та GLONASS, а також частково систем Beidou та Galileo, уможливилось отримання супутникових сигналів з вищою точністю і надійністю. Для приймання сигналів від різних систем найпридатніші гібридні GNSS-приймачі.

Із середини 90-х років минулого століття, коли російська система ГЛОНАСС забезпечила обмежену кількість космічних апаратів на орбіті, виявилися корисними додаткові GNSS-сигнали. [Dodson A, 1999]. Сьогодні, коли дві системи – GPS та GLONASS – успішно працюють, постає питання ефективності використання окремо GPS та GPS+GLONASS сигналів супутників, наприклад, у таких видах знімань, як RTK.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

За результатами досліджень [Li. X., 2015; М. О. Любич, 2008], на основі великої кількості супутників, які одночасно передають сигнали до приймача, точність визначення координат пункту в плані й по висоті можна поліпшити приблизно в 1,5 разу. Такому підвищенню точності сприяє більша кількість вимірів, які надходять з обох систем, що, своєю чергою, зменшує залишковий вплив систематичних помилок [А. Р. Карпик, 2015].

Без використання сучасних двосистемних і двочастотних приймачів, які мають змогу приймати супутникові радіосигнали від обох GNSS-систем, такої високої точності позиціонування було би важко досягти [А. Zinoviev, 2005; С. Cai, 2013]. Одне із найважливіших завдань під час виконання GNSS-спостережень полягає в досягненні точності визначення координат пунктів від декількох міліметрів до декількох сантиметрів [Д. Шелковенков, 2008].

Власне такі задачі можна розв'язати за допомогою відомого сьогодні режиму реального часу (RTK) [С. Савчук, 2011; І. Kalynych, 2014; R. Leandro, 2012]. Проте успішна робота в RTK без поєднання сигналів GPS та GLONASS була би неможлива.

Працювати в RTK-режимі можна практично на всій території України. За останні декілька років мережа активних референціальних станцій ZAKPOS/UA-

EUPOS значно збільшилась [Zakpos, 2017]. Саме ця референціальна мережа забезпечує користувачів мережним розв'язком, надає різноманітні сервіси, наприклад VRS, і забезпечує доступ до централізованих NTRIP серверів для отримання даних спостережень чи трансформування координат тощо. Довопненням до успішної роботи в мережі референціальних станцій слугує мобільний зв'язок, за допомогою якого і відбувається з'єднання пересувного приймача користувача із референціальною станцією [С. Савчук, 2009; О. В. Евстафьев, 2009].

Постановка завдання

Основною метою цієї роботи було визначення ефективності використання окремо GPS та GPS+GLONASS сигналів супутників під час RTK-вимірювань від однієї референціальної станції та від мережі референціальних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні роботи виконувались на території с. Підгайчики, Золочівського району, Львівської області (близько 40 км від м. Львів), де було закладено експериментальну станцію [Керкер, 2016]. Для проведення досліджень ефективності використання GPS та GPS+GLONASS сигналів супутників під час RTK-вимірювань використовувалося таке устаткування: комплект GNSS-приймачів Trimble R7 (рис. 1), одна антена PG-S1 та два приймачі Topcon GRS-1 (рис. 2).

Для забезпечення розгалуження сигналу від антени вибрано сплітер фірми “Tallysman Wireless” моделі TW150 (рис. 3).

Супутникові спостереження проводились за допомогою GNSS-приймача Trimble R7 в статичному режимі протягом однієї доби, два приймачі Topcon GRS-1 працювали спочатку в статичному, а потім перейшли до режиму RTK одночасно від однієї антени. Оскільки встановити в одній фізичній точці дві антени неможливо, контрольні координати спочатку отримували лише для положення однієї антени. Обчислити положення другої антени відносно першої було нескладно, оскільки відстань між ними була фіксованою та становила 20 см. Саме ці контрольні координати порівнювали із координатами, отриманими із RTK-вимірювань.

Використавши спосіб, за яким два однакові приймачі під'єднані до однієї антени, ми провели всі заплановані спостереження щодо ефективності використання супутникових сигналів не тільки GPS, а й GPS+GLONASS.

GNSS-приймач Trimble R7 було використано лише для контрольного визначення координат експериментальної станції. Для цього проведено добові статичні GNSS-спостереження у період з 07.11.2014 р., (02 год 00 хв), до 08.11.2014 р. (02 год 00 хв), а їх опрацювання здійснювалося вже після виконання експериментальних робіт разом із відповідними даними сусідніх референційних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS з використанням програмного пакета GIPSY-OASIS. Отримані координати експериментальної станції із цього опрацювання надалі ми приймали за контрольні для порівняння.

Реєстрацію супутникових сигналів систем GPS та GPS+ГЛОНАСС із застосуванням приймачів Topcon GRS-1 у режимі реального часу RTK проводили протягом трьох днів 2014 р. Паралельно із RTK-спостереженнями також здійснювались статичні спостереження від референційної станції SULP (найближча станція до пункту спостережень) та від мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (отримано мережеві поправки VRSx).

Спостереження проводились за такою схемою:

1. Якщо один приймач Topcon GRS-1 працює у першому варіанті: SULP0 і лише від системи GPS (варіант S_GPS), то другий теж повинен працювати у першому варіанті, але: SULP0 і система GPS+ГЛОНАСС (варіант S_GG); аналогічно і для другого варіанта: VRSx_WEST і лише від системи GPS (варіант Z_GPS) і, відповідно, VRSx_WEST і система GPS+ГЛОНАСС (варіант Z_GG).

2. Тривалість RTK сесії від 2 до 4 год.

3. Повинна бути витримана черговість сесій, тобто одна сесія SULP0, потім одна VRSx_WEST і т. д.

Проведення супутникових спостережень показано на рис. 4: на одній штанзі зліва працює GNSS-приймач Trimble R7 у статичному режимі, а справа два приймачі Topcon GRS-1 під'єднані через сплітер до однієї антени.

У внутрішніх налаштуваннях одного із приймачів Topcon GRS-1 ми вибрали приймання тільки сигналів системи GPS, а на іншому – сигнали двох систем GPS+GLONASS. За допомогою GSM/GPRS інтернет-зв'язку ми мали змогу отримувати поправки як від однієї референційної станції SULP, так і від мережі референційних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS. Тривалість спостережень – від 1 год 30 хв до 3 год 40 хв.

Режим спостережень: інтервал реєстрації сигналів від супутника – 1 с, приймалися тільки фіксовані розв'язки. Детальну характеристику проведених спостережень наведено в табл. 1, де подано інформацію про їхній початок, тривалість та кількість прийнятих фіксованих сигналів.

Після проведення RTK-спостережень отримані дані з приймача Topcon GRS-1 передано на робочий комп'ютер за допомогою програмного забезпечення Topcon Link. Це дало змогу згодом опрацювати отримані дані в Microsoft Excel.

Таблиця 1

Характеристика сесій статичних спостережень

Назва пункту	Спостереження			К-сть прийнятих фіксов. сигналів
	Дата	Початок	Тривалість	
Спостереження				
1_SG	08.11.14	00:16:10	1 ^h 55 ^m 40 ^s	4099
1_SGG	08.11.14	00:17:11	1 ^h 35 ^m 20 ^s	4099
1_ZG	08.11.14	12:52:26	2 ^h 24 ^m 50 ^s	4491
1_ZGG	08.11.14	12:55:36	2 ^h 26 ^m 55 ^s	4999
2_SG	08.11.14	23:45:42	2 ^h 05 ^m 14 ^s	3022
2_SGG	08.11.14	23:37:36	1 ^h 45 ^m 30 ^s	4936
2_ZG	09.11.14	10:12:16	1 ^h 58 ^m 25 ^s	5809
2_ZGG	09.11.14	10:12:20	1 ^h 58 ^m 22 ^s	5862
3_SG	09.11.14	15:35:20	2 ^h 09 ^m 50 ^s	6205
3_SGG	09.11.14	15:35:23	2 ^h 09 ^m 59 ^s	6315
3_ZG	10.11.14	07:54:20	3 ^h 02 ^m 30 ^s	6216
3_ZGG	10.11.14	07:15:20	3 ^h 38 ^m 50 ^s	6456

Для опрацювання даних спостережень спочатку визначали різниці отриманих значень координат із контрольними координатами експериментальної станції:

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_{ij} - X_{\text{контр.}}, \\ \Delta Y &= Y_{ij} - Y_{\text{контр.}}, \\ \Delta Z &= Z_{ij} - Z_{\text{контр.}},\end{aligned}\quad (1)$$

де i – поточне значення відповідних координат для j -го варіанта. Зважаючи на достатньо велику кількість отриманих координатних різниць (декілька десятків тисяч), проведено фільтрацію даних, щоб визначити можливі помилкові значення. Загальна кількість таких значень не перевищувала 1% від усього масиву даних, що вказує на достатній рівень виконаних спостережень.

Наступним кроком було перетворення різниць просторових прямокутних координат на відповідні різниці топоцентричних просторових координат: $\Delta X \rightarrow n$, $\Delta Y \rightarrow e$, $\Delta Z \rightarrow u$ за стандартним алгоритмом та поділ їх на планову складову: $\sqrt{n^2 + e^2}$ та висотну: u .

Опрацювавши дані, ми змогли побудувати графіки залежності топоцентричних координат усіх сесій спостережень і проаналізувати їх. На рис. 5 подано графіки залежності кількості сигналів та різниць по кожній із осей у режимі RTK із першої сесії спостережень 1_SULP_GPS:

де Δn , Δe , Δu – значення різниць топоцентричних просторових координат.

На рис. 6 подано аналогічні графіки залежності кількості сигналів та різниць по кожній із осей у

режимі RTK із першої сесії спостережень 1_SULP_GPS+CLONASS:

На основі цих графіків можна побачити, що стабільнішим є приймання сигналів двох систем GPS+GLONASS, ніж приймання тільки GPS-сигналів.

На наступних трьох графіках (рис. 7) подано різниці топоцентричних координат, отриманих двома приймачами Topcon GRS-1 у RTK-режимі від референційної станції SULP, сигналів GPS та GPS+GLONASS за період 1 год із першої сесії спостережень.

На основі отриманих даних супутникових спостережень ми змогли побудувати аналогічно графіки залежності даних всіх сесій спостережень від мережі референційних станцій ZAKPOS-UA-EUPOS, отриманих приймачем Trimble R7. На рис. 8 і 9 наведено графіки із першої сесії спостережень 1_ZAKPOS_GPS та 1_ZAKPOS_GPS+GLONASS.



Рис. 4. Робота з GNSS-приймачами у режимі RTK



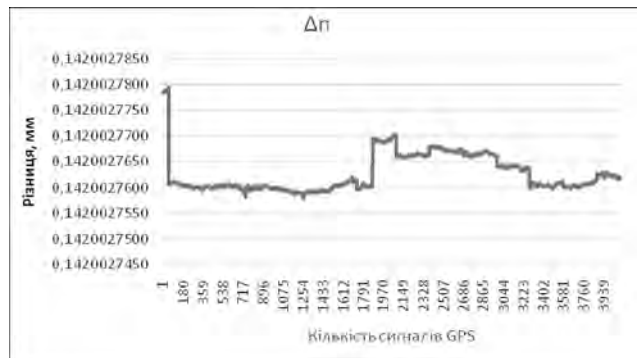
Рис. 1. GNSS-приймач Trimble R7



Рис. 2. GNSS-приймач Topcon GRS-1



Рис. 3. Сплітер TW150



а

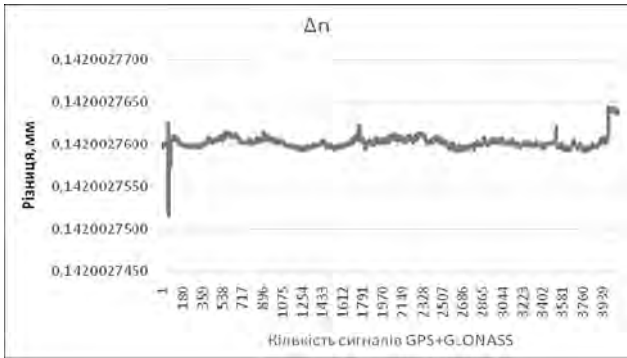


б

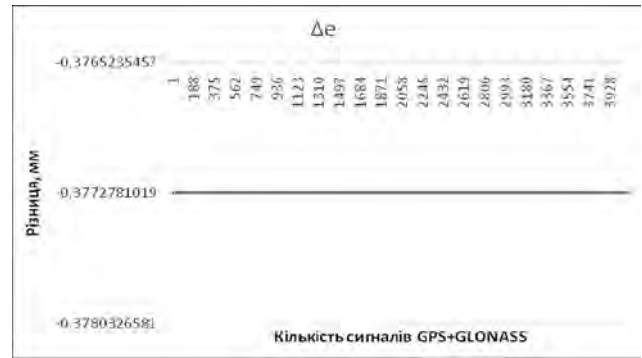


в

Рис. 5. Графіки RTK спостережень приймачем Topcon GRS1 із першої сесії 1_SULP_GPS



а

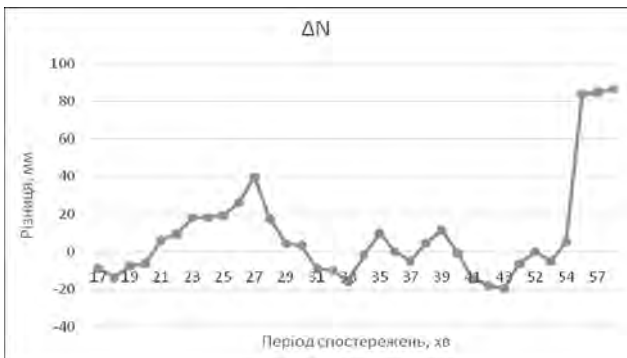


б

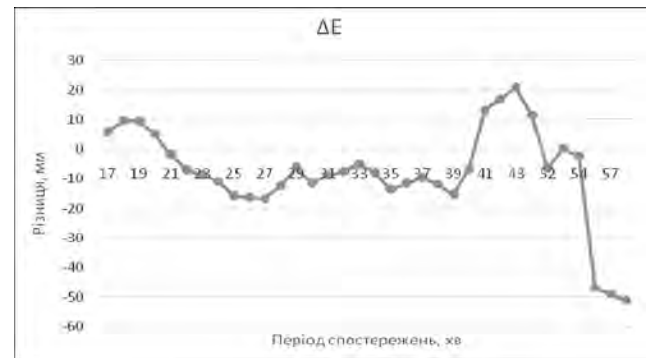


в

Рис. 6. Графіки RTK спостережень приймачем Торсон GRS-1 із першої сесії I_SULP_GPS+GLONASS



а



б

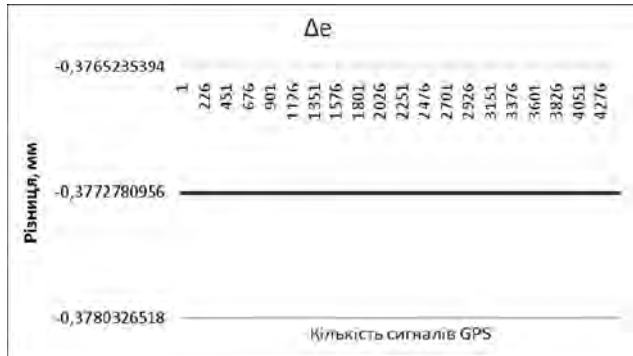


в

Рис. 7. Графік різниць RTK спостережень між сигналами GPS та GPS+GLONASS, отриманими від референційної станції SULP



а



б

Рис. 8. Графіки RTK спостережень приймачем Trimble R7 із першої сесії 1_ZAKPOS_GPS



в



а



б

Рис. 9. Графіки RTK спостережень приймачем Trimble R7 із першої сесії 1_ZAKPOS_GPS+GLONASS



в

На основі різниць топоцентричних координат із першої сесії спостережень 1_ZAKPOS_GPS-GPS+GLONASS ми отримали графіки залежності по кожній із осей (рис. 10).

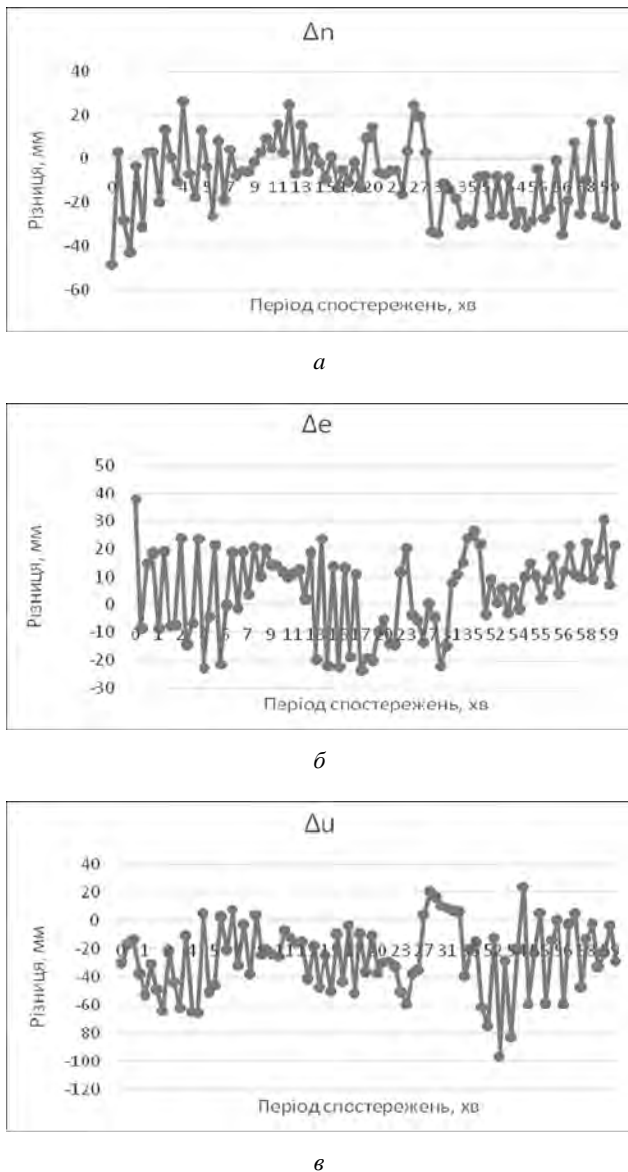


Рис. 10. Графік різниць RTK спостережень між сигналами GPS та GPS+GLONASS, отриманими від мережі референцих станцій ZAKPOS/UA-EUPOS

Протягом проведення наших спостережень кількість фіксованих розв'язків під час сесії GPS+GLONASS значно перевищує кількість фіксованих розв'язків із сесії лише GPS сигналів.

Результати наших досліджень зведено у табл. 2.

Як видно із результатів опрацювання даних спостережень, помітний ефект від використання сигналів системи GLONASS. Приймання супутникових сигналів приймачем обох систем GPS+GLONASS стабільніше в часі, що підвищує точність визначення координат пунктів. Упродовж експериментальних робіт кількість фіксованих розв'язків під час сесій_GG значно перевищувала аналогічний показник сесій_G.

Таблиця 2

Результати досліджень

Черговість варіантів	Середні значення, мм	
	у плані	за висотою
S_G	33	63
S_GG	13	26
Z_G	13	19
Z_GG	12	18
S_G	32	63
S_GG	13	27
Z_G	12	19
Z_GG	12	18
S_G	29	41
S_GG	14	22
Z_G	14	20
Z_GG	12	19

Великі розриви поправок, можливо, спричинені втратою GPRS інтернет-з'єднання від станції SULP мережі ZAKPOS/UA-EUPOS під час проведення спостережень.

Висновки

1. На основі опрацювання даних виконаних експериментальних робіт різниці RTK-спостережень між сигналами GPS та GPS+GLONASS містяться в діапазоні від -51 мм до 86 мм у плані та від -110 до 62 мм за висотою.

2. Найвідчутніше підвищення точності комбінованого використання сигналів систем GPS і ГЛОНАСС для режиму реального часу RTK спостерігається у разі роботи від окремої референційної станції – варіант S_GG. Точність підвищується майже втричі. У мережевому режимі роботи вона практично не змінюється, що можна пояснити відстанню до джерела RTK-поправок.

3. Для точнішого визначення впливу супутникових сигналів двох систем GPS та GLONASS рекомендується використовувати обладнання від інших виробників та альтернативні навігаційні системи (Beidou, Galileo), а також проводити довші за тривалістю сесії спостережень.

Література

- Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О. В. Евстафьев. – М.: Геопрофи, 2009. – 48 с.
- Керкер В. Б. Поліпшення можливостей GNSS позиціонування шляхом збільшення доступності сигналів від додаткових супутників / В. Б. Керкер // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: зб. тез VIII Міжнар. наук.-практ. конфер. – Ужгород, 2015. – С. 78–82.
- Любич М. О. Оценка точности позиционирования с применением оборудования ГНСС компании

- JAVAD GNSS / М. О. Любич, Д. В. Рычков // Геопрофи. – 2008. – № 4. – С. 43–45.
4. Мережа референцих GNSS станцій Zakpos / UA-EUPOS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakpos.zakgeo.com.ua>.
 5. Савчук С. Г. Методика і попередні результати експериментальних досліджень ефективності використання сигналів GLONASS під час RTK вимірювань / С. Г. Савчук, В. Б. Керкер // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2011. – № 75. – С. 25–30.
 6. Савчук С. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS INTERNET з'єднання / С. Савчук, А. Задемленюк, А. Піскорівський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – № 17. – С. 58–69.
 7. Шелковенков Д. Результати експериментальних досліджень реалізації DGPS/RTK режиму супутникового позиціонування з використанням NTRIP-технології / Д. Шелковенков, О. Желанов, О. Жаліло, В. Шокало, В. Кондратюк, М. Литвин, С. Флерко, В. Черевко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – № 15. – С. 125–132.
 8. Dodson A., Moore T., Baker D. F., Swann J. W. Hybrid GPS + GLONASS // GPS Solutions. – 1999, 3 (1). – P. 32–41.
 9. Li X. Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo / X. Li, M. Ge, X. Dai, X. Ren, M. Fritsche, J. Wickert, H. Schuh // Journal of Geodesy. – 2015. – Vol. 89, No. 6. – P. 607–635.
 10. Karpik A. P. Combined Application of High Precision Positioning Methods Using GLONASS and GPS Signals / A. P. Karpik, L. A. Lipatnikov // Gyroscopy and Navigation. – 2015. – Vol. 6, No. 2. – P. 109–114.
 11. Leandro R., Landau H., Nitschke M., et al. Real time extended GNSS positioning. A new generation of centimeter accurate networks // GPS World. – 2012. – Vol. 23, no. 7. – P. 36–42.
 12. Kalynych I. Reserch results of the RTK measurement accuracy using GNSS receivers / I. Kalynych, V. Kerker, S. Savchuk // Proceedings of International scientific-methodical conference “BALTIC SURVEYING’14”. – Jelgava. – 2014. – P. 27–32.
 13. 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. – P. 1046–1057.
 14. Li X. Precise positioning with current multi-constellation global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou / X. Li, X. Zhang, X. Ren, M. Fritsche, J. Wickert, H. Schuh // Scientific Reports. – 2015. – Vol. 5, 8328.
 15. Cai C. Modeling and assessment of combined GPS / GLONASS precise point positioning / C. Cai, Y. Gao // GPS Solutions. – 2013. – Vol. 17, No. 2. – P. 223–236.
- Дослідження ефективності використання GPS та GPS+GLONASS сигналів супутників під час RTK вимірювань**
В. Керкер, А. Задемленюк, О. Боледзюк
- На основі експериментальних спостережень, проведених у режимі RTK, показано поліпшення можливостей GNSS-позиціонування збільшенням доступності супутникових GPS+GLONASS сигналів. За порівняльними результатами використання окремо GPS та GPS+GLONASS сигналів супутників отримано переконливі докази ефективності використання сигналів від додаткових супутників під час RTK вимірювань як від однієї активної референційної станції, так і від мережі референцих станцій.
- Исследование эффективности использования GPS и GPS+GLONASS сигналов со спутников при RTK измерениях**
В. Керкер, А. Задемленюк, О. Боледзюк
- На основе проведенных экспериментальных наблюдений в режиме RTK показано улучшение возможностей GNSS-позиционирования путем увеличения доступности спутниковых GPS+GLONASS сигналов. По сравнительным результатам использования отдельно GPS и GPS+GLONASS сигналов спутников получены убедительные доказательства эффективности использования сигналов от дополнительных спутников при RTK-измерениях как от одной активной референционной станции, так и от сети референцих станций.
- Research of efficiency using GPS and GPS+GLONASS satellite signals in RTK measurement**
V. Kerker, A. Zademlenyuk,
O. Boledzyuk
- On the basis of experimental observations showed improvement opportunities GNSS-positioning in RTK mode by increasing the availability of GPS+GLONASS satellite signals. By comparison results using separate GPS and GPS+GLONASS satellite signals obtained conclusive evidence of efficient use of signals from additional satellites at RTK measurements as between one reference stations and a network of reference stations.