



**К. О. Бурак, Б. О. Лиско**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ RTN МЕТОДУ GNSS ВИМІРІВ ЄДИНИМ (ВИХІДНИМ) БАЗОВИМ РІШЕННЯМ ТА МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ

За результатами виконаних досліджень встановлено експериментально середню квадратичну похибку виміру відстаней  $m_{від}$  і кутів  $m_{кут}$  за допомогою RTN (Real Time Network) методу:  $m_{кут} = 2,08^{\pm 0,95}$  та  $m_{від} = 2,52^{\pm 0,01}$  мм відповідно. Визначено загальну похибку розмічувальних робіт двочастотним GPS приймачем цим методом  $m_p = 3,74$  мм. Виключно експериментальне визначення зумовлене відсутністю в доступних нам літературних джерелах та навіть у технічному описі ліцензованого програмного забезпечення центру опрацювання результатів спостережень RTN мереж, хоча б алгоритмів використовуваного математичного апарату. Для мінімізації випадкових похибок та збільшення достовірності отриманих результатів дослід виконано на закладеному базисі, який дозволяє примусове центрування приладів. Особливістю цього базису є те, що він знаходиться в безпосередній близькості від перманентної станції (10 км). Цей фактор практично компенсує систематичні складові похибок у результатах відносних вимірів. Проаналізувавши дані, отримані із вимірів на еталонному базисі при 1, 5, 10... 95, 100 усередненнях, встановлено, що оптимальний діапазон становить 25-45 усереднень для GPS приймача.

**Ключові слова:** GNSS; GPS приймач; референтні станції; координати; псевдовіддаль.

**Постановка проблеми.** Забезпечення потрібної точності виконання вишукувальних, розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт для будівництва, є відповідальним та трудомістким процесом. Зважаючи, що темпи розвитку міст дуже високі, зокрема, для прикладу, в Івано-Франківську за період з 2007 по 2017 рр. було побудовано 3000 будівель, що становило 25 % наявного фонду, з'являється питання вдосконалення дієвих та розроблення нових методів геодезичного забезпечення будівництва, які будуть задовольняти нормативні вимоги точності (DBN V.1.3.-2, 2010). До найсучасніших та одночасно найпоширеніших геодезичних приладів, за допомогою яких розв'язують ці завдання, належать електронні тахеометри, що працюють у режимі без відбивача (Baran, 2012), та супутникові геодезичні приймачі GNSS (Global Navigation Satellite Systems) з використанням RTK (Real Time Kinematic) та RTN методів (Shults & Medvedskiy, 2009; Parkinson & Spilker, 2006).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** На сьогодні геодезичне забезпечення у будівництві за допомогою супутникових спостережень, зокрема RTK та RTN методів, певною мірою є стандартизоване (Medvedskiy, 2010), однак у разі виконання розпланувальних та розмічувальних інженерно-геоде-

зичних робіт це питання залишається не до кінця вирішеним (Burak & Lysko, 2017).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, що стосуються вирішення цієї проблеми.** Дослідження використання методик з використанням супутникових спостережень, зокрема RTK та RTN методами, виконують наукові центри Києва, Львова, Харкова, Чернігова. Зокрема, є спроби впровадження супутникових систем для розв'язання задач та інженерної геодезії (Vlasenko, 2009; Voitenko, Shults & Medvedskiy, 2009), ці методи ефективні для моніторингу інженерних споруд.

**Постановка завдання.** На основі дослідження точності винесення в природу точок, що закріплюють будівельні осі, розміщені на порівняно невеликих відстанях до 200 м, з використанням RTN методу, обґрунтувати рекомендації з оптимальної методики виконання цих робіт. Дослідження точності виконати на основі порівняння результатів робіт, виконаних RTN методом у мережі System Solution (Burak & Lysko, 2017) та високоточним електронним тахеометром.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Традиційно RTK застосовують на коротких базових лініях, що включають одну опорну станцію та один приймач, використовуючи подвійне диференціювання даних, отриманих із GNSS, застосовуючи певну методику

### Інформація про авторів:

**Бурак Костянтин Омелянович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії.

Email: burak4111945@gmail.com

**Лиско Богдан Олегович**, аспірант кафедри інженерної геодезії. Email: 93lisko@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** Бурак К. О., Лиско Б. О. Результати дослідження точності RTN методу GNSS вимірів єдиним (вихідним) базовим рішенням та можливості його використання для розмічувальних робіт при будівництві. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 145–149.

**Citation APA:** Burak, K. O., & Lysko, B. O. (2017). Results of Investigating the Accuracy of RTN Methods of GNSS Measurements by the Single Basic Solution. Their Usage for the Marking Works During the Construction. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 145–149.

<https://doi.org/10.15421/40270629>

розв'язання неоднозначності. Звичайний діапазон RTK обмежений, тому що атмосферні та орбітальні похибки зростають з вихідною довжиною. У цьому полягає основна мотивація використання мережі базових станцій: моделювати та корегувати залежні від дистанції помилки, що зменшують точність звичайного RTK.

RTK дані обробляються на базовій станції, після чого відправляються на ровер, він обчислює різниці псевдофаз шляхом вимірювання несної фази, яка містить супутниковий сигнал для того, щоб оцінити свою позицію. Однак із збільшенням базової довжини зростає кількість помилок (за впливу атмосфери та орбіти), що, своєю чергою, прямо впливає на точність отриманих даних. Це обмежує можливості ефективного діапазону RTK до 20-30 км. Однак помилки, які залежать від віддалі, можуть бути точно змодельовані шляхом аналізу вимірювань масиву опорних GNSS станцій навколо ровера. Отже, ефективний діапазон позиціонування результатів RTK може бути значно розширений, що і відбувається за використання RTN методу.

RTN метод є логічним продовженням систем у режимі реального часу, які значно зросли за останні роки. Низка комерційних підприємств за останні роки розгорнули в Україні мережу базових станцій, використовуючи обидві несні частоти під час вимірів псевдовіддалей та моделювання похибок. Технологія полягає у створенні регіональних мереж постійно дієвих базових GNSS станцій і засобів зв'язку для передачі даних від мережі до користувача, свого роду єдиний технологічний комплекс. Згідно з комерційними пропозиціями цих фірм RTN забезпечує см-точність у реальному часі на лінії завдовжки навіть до 300 км, що робить його дуже економічним методом.

В основі цього методу лежать дві основні вимоги. По-перше, позиції опорних станцій повинні бути точно відомі, принаймні на рівні сантиметра. Цей рівень точності позиціонування легко забезпечується тривалим часом спостереження на опорних станціях та постобробленням даних. Друга вимога враховує моделювання залежних від дистанції помилок і виявлення мережевих виправлень. Корекції передаються приймачу сигналу для використання в оцінюванні його позиції. З цієї метою RTN моделює помилки, обчислює коригувальну інформацію та передає її приймачам, які, своєю чергою, використовують дані для визначення їх місця розташування.

Різні виробники пропонують дещо різні концепції для RTN. За літературними джерелами (ZAKPOS, 2017), Trimble пропонує віртуальну довідникову станцію (VRS), в якій автономне положення визначається приймачем сигналу і використовується як місце розташування "віртуальної" базової станції. Приймач сигналу вважає, що він працює в безпосередній близькості від справжньої базової станції, але насправді служба VRS Now™ моделює помилку, яка спостерігається в місці розташування VRS та передає її через інтернет безпосередньо на ровер, таким чином начебто він працює із реальною базовою станцією. Натомість Leica Geosystems™ пропонує іншу технологію, яку реалізує на території України компанія System Solution. Вони пропонують кілька рішень (MAX, Auto-MAX та iMAX) – (Mullenix, Fulton & Brooke, 2011), причому iMAX сумісний зі старими приймачами, Auto-MAX натомість

використовує двосторонні зв'язки, щоб створити майстер-станцію. У принципі, майстер-станція може визначатися як користувачем, так і автоматично, що зазвичай є найближчою базовою станцією для приймача. Дані, отримані з кількох станцій, використовуються для визначення корекції мережі на сервері, після чого транслюються на приймач сигналу у разі iMAX або модуль приймача сигналу вираховує корекцію мережі у разі MAX або Auto-MAX.

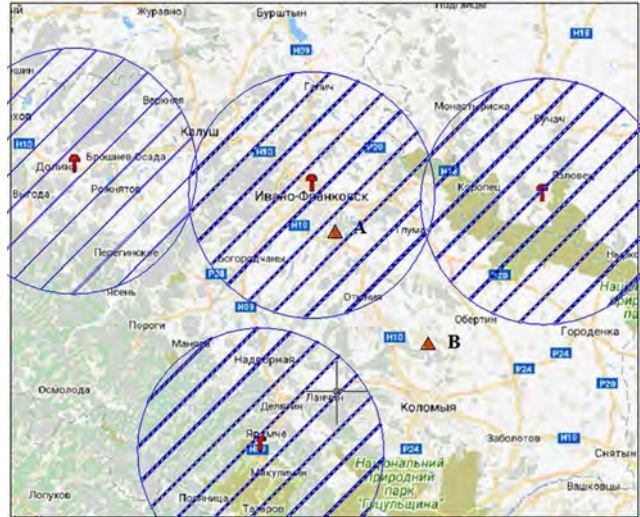


Рис. 1. Фрагмент карти покриття GNSS мережі компанії System Solution на території Івано-Франківської обл.

На рис. 1 показано території, для яких можливе єдине вихідне (базове) рішення RTK та рішення для RTN. Червоні стрілки представляють базові станції System Solution із навколишніми синіми колами, що представляють рекомендовану зону роботи (радіус 30 км) для однієї базової станції. Зелена область представляє RTN, що складається з усіх чотирьох базових станцій. Оранжеві трикутники позначають одиниці маршрутизатора GPS / GNSS у полі. Приймач сигналу А розміщений в межах рекомендованого радіуса базової станції та працює на одному базовому рішенні для досягнення максимальної точності. Приймач сигналу В не відповідає рекомендованому радіусу будь-якої базової станції, тому рішення RTN є найкращим, щоб добитися максимальної точності та надійності. На жаль, у доступному нам технічному описі ліцензованого програмного забезпечення центру опрацювання результатів спостережень RTN мереж та в літературних джерелах немає строгого опису математичного забезпечення використовуваних алгоритмів, тому обґрунтування методики було виконано експериментальним шляхом.

Для встановлення можливостей визначення точності відносних вимірів (кутів, відстаней та відносних координат), виконано експериментальні дослідження на попередньо закладених пунктах, які розташовані на території Івано-Франківська (рис. 2). Дослід виконували в 10-кілометровій зоні від перманентної станції, що практично нівелювало більшість похибок та забезпечило можливість спостерігати одні і ті ж супутники. Чим ближче розміщений GPS приймач до перманентної станції, тим точніше виконується корекція. Врахувавши ці чинники, було прийнято рішення експериментально дослідити можливості методу відносних вимірів.

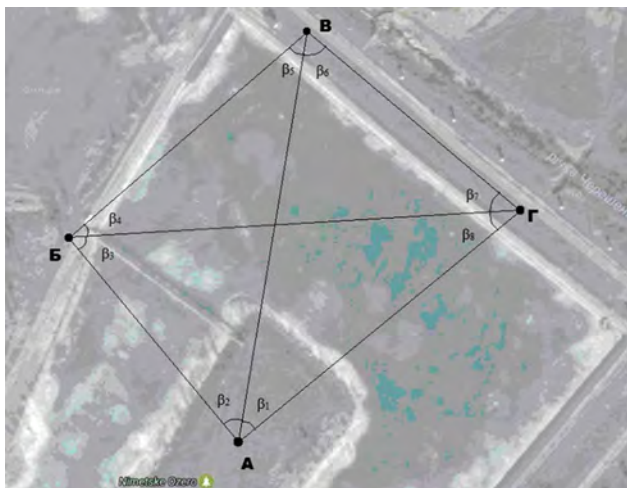


Рис. 2. Схематичне зображення закладеного базису

Пункти із примусовим центруванням було закладено на відкритій місцевості таким чином, щоб навколо них не було високих будівель та дерев, що могло б проковувати багатопроменевість. Польові виміри виконували за допомогою двочастотного GNSS приймача QStar 8+ та електронного тахеометра South NTS-350. На основі результатів експериментальних досліджень для цього тахеометра, які описано у роботі (Bugar, et al., 2012), встановлено, що точність виміру віддалей довжиною до 200 м характеризується середньою квадратичною похибкою менше 0,3 мм. Тому, враховуючи характер розв'язуваної задачі, результати вимірів тахеометром South NTS-350 приймали дійсними (безпомилковими). Приймач QStar 8+ є двочастотний та підтримує режим RTK. Він має 120 каналів прийому сигналів та працює із супутниками систем GPS і ГЛОНАСС. У RTK режимі реалізовані такі формати даних: RTCM (2.3, 3.0, 3.1), CMR, CMR+. Частота запису даних становить 1, 2, 5, 10 Гц. За даними виробника середня квадратична похибка (СКП) в реальному часі (RTK) становить:

- у плані 5 мм + 1 мм/км;
- по висоті 10 мм + 1 мм/км.

Перед дослідженнями, на попередньо встановлених та відцентрованих трегерах, було проведено три сесії вимірів, в яких послідовно виміряні двома пів-прийомами шість віддалей та вісім кутів, як це зображено на рис. 3. Змінюючи положення приладу і відбивачів у непорушних трегерах вимірювали всі відстані та кути. Кожну із відстаней  $S_{1-6}$  вимірювали 12 разів. Середні значення відстаней і СКП, обчислені за формулою Бесселя, наведено в табл. 1.

Табл. 1. Результати вимірів базису ЕТ

Геометричний параметр	Кути		Геометричний параметр	Відстані	
	виміряні значення	СКП		виміряні значення, м	СКП, мм
$\beta_1$	40°49'46,0"	2,1"	САБ	204,859	0,30
$\beta_2$	42°39'48,5"	0,1"	САВ	233,312	0,18
$\beta_3$	37°31'12,5"	1,9"	САГ	145,544	0,26
$\beta_4$	41°57'59,5"	0,2"	СББ	155,138	0,23
$\beta_5$	37°59'11,5"	0,1"	СБГ	237,461	0,32
$\beta_6$	59°41'09,0"	2,9"	СВГ	160,236	0,22
$\beta_7$	58°59'36,5"	0,1"	Відносна похибка тахеометричного ходу $m=0,0000225$		
$\beta_8$	40°21'31,0"	3,1"			
$\Sigma$	360°00'14,5"				

Щоб отримати точніші дані, було виконано урівнювання цієї мережі. Врахувавши особливості закладання нашого базису, та виміри, що виконали, було вирішено урівняти його як геодезичний чотирикутник.

Урівнявши цей геодезичний чотирикутник, було порівняно кути, отримані після урівнювання та виміряні безпосередньо на місцевості, із кутами, отриманими за допомогою GPS приймача (табл. 2). Кути, отримані GPS приймачем вираховували із усереднених значень координат за формулою (2).

$$S_{gps}^i = \sqrt{(x_b^i - x_a^i)^2 + (y_b^i - y_a^i)^2}; \quad (1)$$

$$\cos \beta = \frac{x_a \times x_b + y_a \times y_b}{\sqrt{x_a^2 + x_b^2} \times \sqrt{y_a^2 + y_b^2}}. \quad (2)$$

Табл. 2. Порівняння точності виміряних кутів GPS приймачем із еталонними

Геометричний параметр	Урівняне значення кутів, °	Значення кутів, отримане за допомогою GPS вимірів, °	$ \beta_{gps}^i - \beta_{max} ''$	$ \beta_{gps}^i - \beta_{yp} ''$
$\beta^1$	40,8246	40,8266	10,2904	7,1228
$\beta^2$	42,6622	42,6619	5,7489	1,1913
$\beta^3$	37,5183	37,5146	19,9054	13,1770
$\beta^4$	41,9695	41,9698	11,7995	1,1255
$\beta^5$	37,9900	37,9906	14,8335	2,2119
$\beta^6$	59,6828	59,6890	11,3963	22,3583
$\beta^7$	58,9973	58,9969	12,4447	1,4441
$\beta^8$	40,3548	40,3505	29,0293	15,4141
$\Sigma$	359,9996	360°00'00"	115,4480	64,0449

У табл. 2  $|\beta_{gps}^i - \beta_{max}|$  – це різниця між даними, отриманими за допомогою GPS приймача при одинарному вимірі та даними, отриманими безпосередньо на місцевості;  $|\beta_{gps}^i - \beta_{yp}|$  – це різниця між даними, отриманими за допомогою GPS приймача при одинарному вимірі та урівняними даними.

У результаті проведеного урівнювання чотирикутника ми отримали відносну похибку тахеометричного ходу  $m=0,0000015$ , яка до урівнювання становила 0,0000225.

Наступним кроком стало визначення можливої точності вимірювання кутів та віддалей. Для розв'язку цієї задачі було визначено координати чотирьох пунктів, які попередньо вимірювались електронним тахеометром, та урівнювались способом умов з додатковими невідомими. Приймачем QStar 8+ було почергово встановлено на 4 трегера та виконано ряд вимірів на кожному пункті при 1, 5, 10... 95, 100 усередненнях. Усі виміри виконувались за умов чистого неба. Попередньо на приладі було встановлено допуск ( $1,5 \leq PDOP$ ), один для всіх вимірів, за якого виконувалась зйомка. Таким чином, можна констатувати, що умови проведення експериментальних вимірів є найкращими. Після опрацювання даних було обраховано віддалі та кути, отримані за допомогою RTK спостережень за формулами (1), (2) відповідно.

Це підтверджує, що більшість негативних факторів, які впливають на точність виміру псевдовідстані між супутником і приймачем, таких як: зміщення годинників супутника і приймача  $\Delta t, \Delta T_k$  іоносферну  $\Delta \rho_k^{ion}$  і тропосферну  $\Delta \rho_k^{trop}$  затримку, орбітальну похибку, яка зумовлена неточними значеннями ефемерид орбіти  $k$ -го супутника  $\Delta \rho_k^{orb}$ , та похибкою, зумовленою фазовим шумом приймача та явищем багатопроменевості  $\varepsilon_k^p$ , вдалось мінімізувати.

На рис. 3 представлено графіки похибок: 4 а – визначення відстаней, 4 б – визначення кутів.

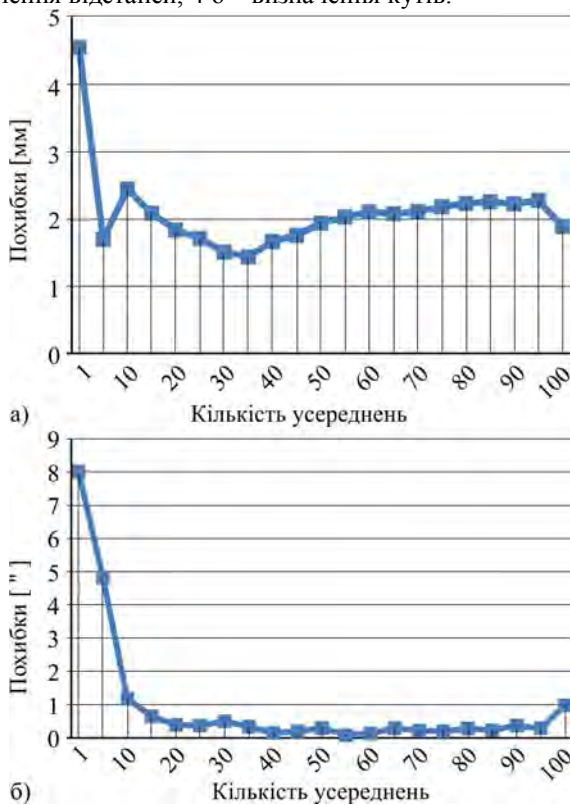


Рис. 3. Похибки визначення (а) віддалей та (б) кутів із оброблення GNSS вимірів

Проаналізувавши графіки, було зроблено такі висновки: найкоректніше в майбутньому налаштувати GNSS-приймач на виміри при 25-45 усередненнях.

Унаслідок наших досліджень, із отриманих даних вирахували середню квадратичну похибку для відстаней та кутів за формулою Гауса та виконали оцінку надійності середніх квадратичних похибок. Виміри, виконані електронним тахеометром, прийняли за істинні значення виміру даних величин. Отже, середня квадратична похибка виміру кута та відстані становила  $m_{кут} = 2,08^{\pm 0,95}''$  та  $m_{від} = 2,52^{\pm 0,01}$  мм відповідно, що не суперечить попереднім дослідженням (Burak & Lysko, 2017). Отримані результати дають змогу виконати розрахунок похибки виносу проектної точки на місцевість  $m_n$ . Наприклад, за способу полярних координат:

$$m_n = \sqrt{m_S^2 + (m_\beta / \rho)^2 \times S^2} \quad (3)$$

Класично на характеристики точності під час виконання розмічувальних робіт тахеометром ( $m_P$ ) впливають такі технічні похибки, як центрування приладу і візорних цілей ( $m_{Ц}$ ), похибки фіксації на місцевості ( $m_\phi$ ), похибки вихідних даних ( $m_{ВЛХ}$ ), а також похибки власне розмічувальних робіт ( $m_{PP}$ ), які залежать від геодезичного методу розмічування

$$m_P = \sqrt{m_{PP}^2 + m_{ВЛХ}^2 + m_{Ц}^2 + m_\phi^2} \quad (4)$$

Винесення елементів будівельної сітки GPS приймачем має низку переваг перед класичними методами, зокрема на взаємну точність винесення елементів супутниковими методами, не впливають технічні похибки, притаманні тахеометрам, наведені в формулі (4). Тому формула для винесення проектних елементів буде мати такий вигляд:

$$m_P = \sqrt{m_{PP}^2 + m_\phi^2} \quad (5)$$

де:  $m_{PP}$  – це взаємна точність винесення точки даною GPS методикою, яка з результатів наших досліджень становила 3,16 мм для віддалей  $\leq 200$  м; яку обрахували за формулою (3);  $m_\phi$  – похибки фіксації на місцевості, яка є стандартною і приймається рівною 2 мм.

За результатами виконаних обчислень можна стверджувати, що загальна похибка розмічувальних робіт  $m_P$  визначена із всіх перерахованих вище похибок і буде становити 3,74 мм.

Табл. 3. Необхідна точність розмічувальних робіт залежно від класу точності

Технологічний процес	К у класах точності					
	1	2	3	4	5	6
Геодезичні роботи	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5
$\Delta L$ г. р. [мм] при $L=200$ м	12,5	20	30	50	80	125

У табл. 3 наведено допуски згідно з чинними нормами (DBN V.1.3.-2, 2010) на розмічувальні роботи для відстаней 200 м залежно від класності роботи (Mullenix, Fulton & Brooke, 2011). Найбільшої точності вимагають геодезичні розмічувальні роботи першого класу – взаємна точність винесених елементів не повинна перевищувати 12,5 мм та створення будівельної сітки, де точність взаємного розташування суміжних пунктів не повинна перевищувати 10 мм. За довжини сторони будівельної сітки 200 м, що становить відносну похибку 1: 20 000. Отже, згідно з отриманими експериментальними даними СКП розмічуваних робіт, таких як створення будівельної сітки або винесення елементів будівельної сітки цілком задовольняє діючі вимоги за використання RTN методу GNSS вимірів.

**Висновки.** За допомогою видалення низки чинників, які спотворюють виміри, та урівнювання еталонних вимірів, можна досягнути середньої квадратичної похибки визначення кута не більше  $2,08^{\pm 0,95}''$  та відстані –  $2,52^{\pm 0,01}$  мм.

Враховавши дані, отримані під час виконання цієї роботи та попередньої (Burak & Lysko, 2017), можна вважати, що СКП виміру відстані в оптимальному діапазоні за 25-45 усередненнях становить  $1,6^{\pm 0,18}$  мм.

Також варто зазначити, що характер отриманих кривих похибок точності визначення віддалей підтверджують висновки, наведені в роботі (Trevoho et al., 2016) проф. І. Тревого.

### Перелік використаних джерел

- Baran, P. I. (2012). *Inzhenerna heodeziia*. Kyiv: Vydavnytstvo VI-POL. 618 p. [in Ukrainian].
- Burak, K. O., Hrynishak, M. Ya., Kovtun, V. M., Mykhailyshyn, V. P., & Shpakivskiy, O. P. (2012). Vyznachennia tochnosti vidkhyleniia polozhennia blyzkostvornoj tochky za dopomohoiu elektronnoho takheometra. *Visnyk heodezii i kartohrafiï*, 2(77), 15–17. [in Ukrainian].
- Burak, K. O., & Lysko, B. O. (2017). Doslidzhennia tochnosti pobudovy proektnykh dovyzhyn pry rozv'iazanni inzhenerno-heodezychnykh zadach z vykorystanniam metodu RTK. *Heodeziia kartohrafiia i aerofotozimannia: nauk.-tekhn. zbirnyk NU "Lvivska politekhnika"*, 85, 5–12. [in Ukrainian].
- DBN V.1.3.-2. (2010). *Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv v budivnytstvi "Heodezychni roboty v budivnytstvi"*, ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy. Kyiv: KNUBA. 56 p. [in Ukrainian].
- Medvedskiy, Yu. V. (2010). *Metodyka eksperymentalnykh doslidzhen tochnosti pobudovy heodezychnoi osnovy na montazhno-*

- mu horyzonti GNSS-metodom. *Inzhenerna heodeziia: Nauk.-tekh. zbirnyk*, 56, 53–56. Kyiv: KNUBA. [in Ukrainian].
- Mullenix, D., Fulton, J., & Brooke, A. (2011). RTK Networks: Single Baseline and Network Solution Options. *Timely Information Agriculture, Natural Resources & Forestry*, 1(2), 23–29.
- Parkinson, B. W., & Spilker, J. J. (2006). *Global Positioning System: Theory and Applications*. Washington, 798 p. (American Institute of Aeronautics and Astronautics).
- Shults, R. V., & Medvedskyi, Yu. V. (2009). Rozrobka i doslidzhenia metodyky stvorennia heodezychnoi osnovy na montazhnomu horyzonti pry vysotnomu budivnytstvi. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekh. zbirnyk*, 34, 539–542. Kyiv: KNUBA. [in Ukrainian].
- Trevohe, Y., Neezhmakov, P., Oleinyk, A. et al. (2016). Heodeziya u metrolohii bolshykh dlyn u korotkykh vektorov. jeksperymenty u jetalony. *Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva: nauk.-tekh. zbirnyk NU "Lvivska politekhnika"*, 2(32), 55–562. [in Ukrainian].
- Vlasenko, E. P. (2009). Razrabotka metodiki sozdaniia razbivochnoj osnovy na montazhnom gorizonte vysotnykh zdaniy. *Abstract of candidate dissertation for technical sciences* (25.00.32 – geodesy). Moscow. 23 p. [in Russian].
- Voitenko, S. P., Shults, R. V., & Medvedskyi, Yu. V. (2009). Suchasni metody peredachi koordynat punktiv prostoroivoi heodezychnoi merezhi na montazhnyi horyzont. *Budivnytstvo Ukrainy: nauk.-vyrobn. zhurnal*, 9-10, 21–24. Kyiv. [in Ukrainian].
- ZAKPOS (2017). Merezha referentsiinykh stantsii Ukrainy. ZAKPOS (Transcarpathian Position Determination System). Retriever from: [zakpos.zakgeo.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=55](http://zakpos.zakgeo.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=55). [in Ukrainian].

**К. О. Бурак, Б. О. Лыско**

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ RTN МЕТОДОВ GNSS ИЗМЕРЕНИЙ ЕДИНСТВЕННЫМ (ВЫХОДНЫМ) БАЗОВЫМ РЕШЕНИЕМ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗМЕТОЧНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В результате выполненных исследований установлена экспериментально средняя квадратичная погрешность измерения расстояний и углов с помощью RTN (Real Time Network) метода. Определена общая погрешность разметочных работ двухчастотным GPS приемником  $m_p = 3,74$  мм. Исключительно экспериментальное определение обусловлено отсутствием в доступных нам литературных источниках и даже в техническом описании лицензированного программного обеспечения центра обработки результатов наблюдений RTN сетей, хотя бы алгоритмов используемого математического аппарата. Для минимизации случайных погрешностей и увеличения достоверности полученных результатов опыт выполнялся на заложенном базисе, который позволяет принудительное центрирование приборов. Особенностью данного базиса является то, что он находится в непосредственной близости от перманентной станции (10 км). Данный фактор практически компенсирует систематические составляющие погрешностей в результатах относительных измерений. Проанализировав данные, полученные из измерений на эталонном базисе при 1, 5, 10 ... 95, 100 усреднения установлено, что оптимальный диапазон составляет 25-45 усреднений для GPS приемника.

**Ключевые слова:** GNSS; GPS приемник; референсные станции; координаты; псевдорасстояние.

**K. O. Burak, B. O. Lysko**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## RESULTS OF INVESTIGATING THE ACCURACY OF RTN METHODS OF GNSS MEASUREMENTS BY THE SINGLE BASIC SOLUTION. THEIR USAGE FOR THE MARKING WORKS DURING THE CONSTRUCTION

Today there is a great amount of scientific papers dedicated to measurements in RTK-mode; however, most of these works analyze the accuracy of defining points. It is a necessity to define the distances and angles that is why it is important to study the GNSS observations for conduction such types of tasks. Usually the accuracy of point's definitions is in  $\sqrt{2}$  more distinct than distances, however, it does not function when using GNSS observations, as distances and angles are tensor quantities, and accordingly, the influence of systematic errors, the connection with coordinate systems is substantially weaker. If the coordinates of two points is defined with one GPS-receiver during a relatively short period of time, the influence of errors, triggered by atmospheric and ionospheric anisotropy, delays and shifts of complementary dikes and receiver will be significantly decreased because of their systematic components compensation. The analysis results show that the average square error of the distances  $m$  and angles  $m$  according to the RTN (Real Time Network) method equals  $m_{\text{angle}}=2,08\pm 0,95$  and  $m_m=2,52\pm 0,01$  mm respectively. It was found that the general error of measuring the marking works by the double-frequency GPS receiver according to this method equals  $m_p=3,74$  mm. Such solely experimental definition is caused by the lack of information about the results of RTN networks investigation in available literature resources and even technical description of the licensed software. To minimize the sporadic errors and increase the accuracy of obtained results, the investigation was made on the inherent basis, which allows the forced centering of tools. The special aspect of this basis is that it is situated very close to the permanent station (10 km). This factor substantially compensates the systematic errors in the results of the relative measurements. After analyzing the data obtained from the measurements on the calibration base at 1, 5, 10, ... 95, 100 averages, it was defined that the optimal diapason equals 25-45 averages for GPS receiver.

**Keywords:** GNSS; GPS – receiver; reference stations; coordinates; pseudo distance.