

К. О. БУРАК¹, Б. О. ЛИСКО²

¹ Кафедра геодезії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019, ел. пошта: burak4111945@gmail.com

² Кафедра геодезії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019, ел. пошта: 93lisko@gmail.com

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ RTN РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВНИЦТВІ.

Мета даного дослідження. Розроблення практичних рекомендацій для винесення головних осей будівель (осей симетрії) з використання RTN методики GNSS-вимірів та забезпечення додаткового контролю розмічувальних робіт з використанням електронного тахеометра. **Методика.** Для дослідження точності пропонує рішення виконати дослідження, в тому числі і експериментальні в умовах будівельного майданчика, з розмічування осей від двох базових ліній, попередньо винесених GNSS-приймачем так, щоб вони збігалися з осями x і y генерального плану об'єкту. **Наукова новизна та практична значущість.** В роботі пропонуємо замість суцільної будівельної сітки виносити відразу головні осі будівель, а від них безпосередньо, за допомогою електронного тахеометра, розвивати розмічувальні мережі споруди. Метод дає можливість відмовитись від побудови класичної будівельної сітки, замінивши опорну геодезичну мережу двома базовими лініями (мінімум 4 опорні точки), які закріплюють положення осей координат генерального плану та додатково контролювати розмічування осей електронним тахеометром способом від базової лінії, використовуючи для контролю значення віддалей між точками базових ліній, виміряне методом RTN.

Ключові слова: GNSS; RTN-вимір; розпланувальні роботи; електронний тахеометр

Вступ

Під час вишукувань, у будівництві а також в еталонних вимірюваннях поряд з традиційними методами знаходять все ширше застосування сучасні Global Navigation Satellite Systems (GNSS) технології [Тревого та ін., 2016]. Перспективним, на нашу думку, для створення зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика є використання Real Time Networks (RTN) вимірів (з використанням мереж референцних станцій), про які навіть не згадується в чинних сучасних нормативних документах [ДБН В.1.3-2-2010; ДБН А.2.1-1-2014], хоча переваги RTN-методу є очевидні: виміри можна виконувати одним приймачем, одержувати результати без пост опрацювання практично за секунди [Ланьо, Савчук, 2012; Савчук і ін., 2009; Терещук, Нисторяк, 2013] тощо.

Мета

Розроблення практичних рекомендацій винесення головних осей споруд (осей симетрії), що забезпечують необхідну планову точність згідно діючих норм – 3-5 см

[ДБН В.1.3-2-2010], значно зменшують затрати часу для виконання геодезичних робіт на будівельному майданчику. Це дає можливість відмовитись від побудови класичної будівельної сітки та виконувати розпланувальні роботи електронним тахеометром (ЕТ), прив'язуючись до базису, винесеного в натуру двох частотним GNSS-приймачем з використанням RTN-методів [Шульц, Медведський, 2009; Mullenix та ін., 2011; Parkinson, Spilker, 2006].

Методика

Для побудови опорної геодезичної мережі на будівельному майданчику ми пропонуємо винести в натуру два базиси АВ і CD за допомогою GNSS-приймача, таким чином, щоб вони були паралельними осям координат x та y генерального плану, на якому запроектовано об'єкт. Далі, як описано в роботі [Бурак, 2011] (ЕТ) виносити осі, використовуючи спосіб від базової лінії. Для розв'язку задачі, в цьому випадку, достатньо знати тільки координати x та y однієї точки базису та задатись дирекційним

кутом лінії 0° чи 90° . Хоча теоретично всі розпланувальні роботи можна виконати і з одного базиса, однак ми рекомендуємо закласти мінімум два і більше, щоб забезпечити видимість на всьому об'єкті з врахуванням можливої втрати пунктів під час будівельних робіт.

Беручи до уваги те, що під час розмічувальних та розпланувальних робіт GNSS-виміри на сусідніх точках спостережень виконуються на невеликій віддалі один від одного (максимум до 200 м), пункти знаходяться в одних іоносферних умовах, є можливість спостерігати практично одні і ті самі супутники. Це дає можливість стверджувати, що вплив похибок, викликаних іоносферними затримками та зміщенням годинників супутника і приймача суттєво зменшиться за рахунок компенсації їх систематичної складової, що суттєво покращить взаємну точність винесених базисів.

Це підтвердили дослідження, які ми провели і описали в роботі [Бурак, Лиско, 2017]. Для встановлення точності відносних вимірів (кутів та віддалей) проводились експериментальні дослідження в умовах реального будівельного майданчика, де закладений еталонний полігон з 4-х пунктів. Цей полігон знаходиться в 10 км зоні від перманентної станції. На пунктах еталонного полігону, з можливістю примусового центрування, почергово встановлювали антену GNSS-приймач із врахуванням фазового центру та визначали координати пунктів за різних усереднень вимірів. Всі виміри виконувались двох частотним GNSS-приймачем QStar 8+ RTN впродовж однієї години. Після опрацювання даних за відомими формулами за координатами обраховано віддалі та кути, котрі порівнювались із параметрами еталонного базиса, закоординованого повіреним електронним двох секундним тахеометром.

За результатами багаторазових експериментальних вимірів, в разі дотримання розроблених рекомендацій (оптимальна кількість усереднень виміру та врахування таких чинників, як віддалі до найближчих перманентних станцій та геометрія їх розміщення – детальна інформація міститься в роботі [Бурак, 2017]), доведено, що точність винесення векторів (довжин ліній) становила 2,52 мм на віддаль до 200 м, а точність визначення взаємного розташування, з врахуванням точності визначення кутів, становила 3,18 мм (з врахуванням похибки орієнтування лінії) за різниці часу виконання вимірів на двох точках базиса до однієї години.

Важливим є те, що пункти А, В, С, D (Рис. 1) виносяться без накопичення таких похибок, як центрування приладу і візирних цілей та похибки вихідних даних.

Розглянемо можливість використання описаної вище методики винесення головних осей споруди для забезпечення розмічувальної мережі будівельного майданчика і споруди, без побудови класичної будівельної сітки, та покажемо можливість додаткового контролю цих робіт через використання одержаних з GNSS-вимірів довжин базисів.

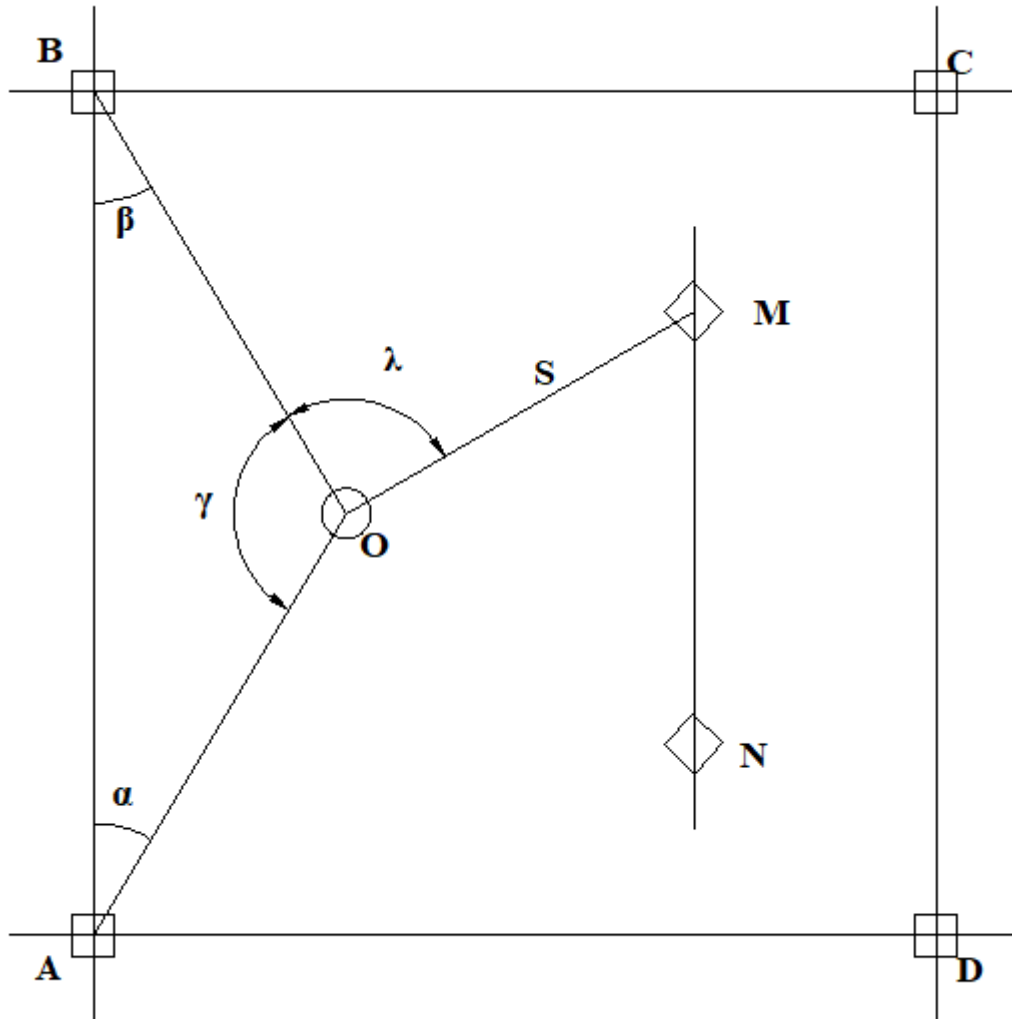
У випадку, якщо винесення точок базисів виконано за допомогою GNSS-приймача і ми знаємо довжину базиса з цих вимірів з достатньою точністю, є можливість ще одного додаткового контролю визначення координат точки О. Суть його в наступному. Спочатку визначаємо довжину базиса, наприклад АВ, за теоремою косинусів з рівняння

$$AB = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \gamma} \quad (1)$$

Порівнюємо це значення з довжиною базиса, визначеною за координатами з рівняння

$$AB = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} \quad (2)$$

де X_a, X_b, Y_a, Y_b – координати опорних пунктів, спостережень.
одержані за результатами супутникових



-  Пункти опорної геодезичної мережі
-  Точки закріплення головних осей
-  Місце розташування ЕТ

Рис. 1 Типова схема розмічувальних робіт з використанням RTN-методу

Визначимо допустиме розходження між цими двома значеннями, отриманими за формулами (1) і (2). Для спрощення і наочності розрахунку розглянемо частковий випадок, коли сторони l_1 та l_2 однакові і виміряні ЕТ з однаковою точністю, СКП рівні $m_{l_1} = m_{l_2}$.

$$AB = \sqrt{2l^2 - 2l^2 \cos \gamma} = \sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)} \quad (3)$$

Продиференціюємо дану функцію (3) за l та γ , в результаті чого одержимо:

$$\frac{\partial AB}{\partial l} = \frac{2l(1 - \cos \gamma)}{\sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)}} = \sqrt{2(1 - \cos \gamma)} =$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{4(1 - \cos \gamma)}{2}} = \sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}} = 2 \sin \frac{\gamma}{2} \quad (4) \\ \frac{\partial AB}{\partial \gamma} &= \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{2(1 - \cos \gamma)}} = \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}} = \frac{l \sin \gamma}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = \\ &= \frac{2l \sin \frac{\gamma}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = l \cos \frac{\gamma}{2} \quad (5) \end{aligned}$$

Звідси:

$$\begin{aligned} m_{AB}^2 &= \left(\frac{dAB}{dl} \right)^2 m_s^2 + \left(\frac{dAB}{d\gamma} \right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} = \\ &= \left(2 \sin \frac{\gamma}{2} \right)^2 m_s^2 + \left(l \cos \frac{\gamma}{2} \right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \\ m_{AB}^2 &= 4m_s^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} l^2 \cos^2 \frac{\gamma}{2} \quad (6) \end{aligned}$$

Максимальне значення:

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 + l^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (7)$$

Розрахунки за формулою (6) проілюстровано на рис. 2. По осі абсцис відкладено віддаль l , а по осі ординат – кут γ

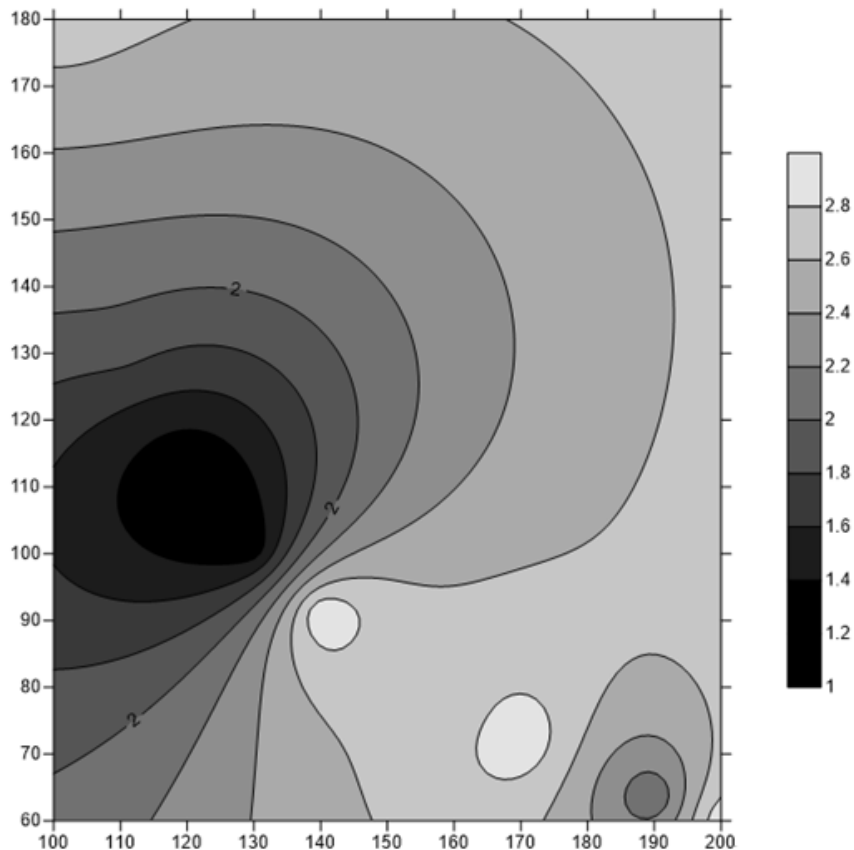


Рис. 2. Значення похибки визначення віддалі m_{AB} залежно від положення точки O на будівельному майданчику

Аналіз показує, що в залежності від розміщення т. O відносно базисної лінії AB , мінімальні та максимальні m_{AB} становлять відповідно: $m_{ABmin} = 1.2$ мм при $l=120$ м, та $m_{ABmax} = 3.0$ мм при $l=140$ м. Для обчислень приймали точність визначення віддалей $m_s = 0,0015$ м та кута $m_\beta = 2''$.

Отже, СКП винесення базиса AB супутниковим методом та максимальна похибка визначення цієї відстані методом вимірювання відносно базової лінії є рівноточними. Порівнюючи дані значення віддалі, є можливість додаткового контролю виконання оберненої лінійно кутової засічки.

Висновки

1. Гарантована споживачам послуг мереж референсних станцій точність визначення координат навіть в стандартному режимі RTN, з

використанням віхи для встановлення антени GNSS обладнання, 2-5 см достатня для розмічування головних осей споруд відносно пунктів геодезичної основи і червоних ліній забудови, що дозволяє відмовитись від побудови класичної будівельної сітки.

2. При використанні штативів для центрування антени GNSS, одержане з цих вимірів значення довжини базиса дозволяє додатково надійно контролювати точність визначення координат станції, на якій встановлюється електронний тахеометр під час детальних розпланувальних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бурак К. О. Технологія розпланувальних робіт і виконавчих знімань з використанням TPS / Костянтин Омелянович Бурак. // Геодезія,

- картографія і аерофотознімання. – 2011. – № 75. – С. 5.
- Бурак К. О. Exploring the accuracy of lengths constructions when solving the engineering geodesy issues with RTN method / К. О. Бурак, Б. О. Лиско. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2017. – № 85. – С. 5–12
- Бурак К. О. Результати дослідження точності RTN методу GNSS вимірів єдиним (вихідним) базовим рішенням та можливості його використання для розмічувальних робіт при будівництві / К. О. Бурак, Б. О. Лиско. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – № 27. – С. 145–150.
- ДБН В.1.3-2-2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві.
- ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва
- Ланьо О. Дослідження точності RTN-вимірювань у мережі UA-EUPOST / ZAKPOS / О. Ланьо, С. Савчук // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4.
- Савчук С. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTN з використанням GPRS Інтернет з'єднання / С. Савчук, А. Задемленюк, А. Піскорівський // Зб. наук. праць «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва». – Львів : вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – Вип. 1 (17).
- Терещук, О. Аналіз GNSS-спостережень у Північному регіоні України / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // Містобудування і територіальне планування. – 2013. – № 48
- Тревого И. Геодезия и метрология больших длин и коротких векторов. эксперименты и эталоны / В. Купко, П. Неежмаков, А. Олейник, та інші // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: наук.-техн. збірник – НУ "Львівська політехніка", 2016 – Вип. II (32). – С. 55-562.
- Шульц Р. В. Розробка і дослідження методики створення геодезичної основи на монтажному горизонті при висотному будівництві / Р. В. Шульц, Ю. В. Медведський // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. Збірник. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. № 34. – С. 539-542
- Mullenix D. RTK Networks: Single Baseline and Network Solution Options / D. Mullenix, J. Fulton, A. Brooke. // TIMELY INFORMATION Agriculture, Natural Resources & Forestry. – 2011. – С. 1–2.
- Parkinson B. W. Global Positioning System: Theory and Applications / B. W. Parkinson, J. J. Spilker. – Washington, 2006. – 798 с. – (American Institute of Aeronautics and Astronautics).

Надійшла 07.03.2018 р.