

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

На правах рукопису

**ЛИСКО БОГДАН ОЛЕГОВИЧ**

УДК 528.48

**ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПЛАНУВАЛЬНИХ РОБІТ**

05.24.01 — геодезія, фотограмметрія та картографія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів, 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Бурак Костянтин Омелянович,**  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу,  
завідувач кафедри геодезії та землеустрою

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Савчук Степан Григорович,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри вищої геодезії та астрономії

кандидат технічних наук, доцент  
**Янчук Руслан Миколайович,**  
Національний університет водного господарства та  
природокористування, м. Рівне,  
завідувач кафедри геодезії та картографії

Захист відбудеться «12» листопада 2020 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, ауд. 502 II навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «1» жовтня 2020 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 35.052.12, к.т.н., доц.

Паляниця Б.Б.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення необхідної точності виконання вишукувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт для будівництва, є відповідальним та трудомістким процесом. Зважаючи на високі темпи розвитку міст, з'являється необхідність вдосконалення існуючих та розробки нових методів геодезичного забезпечення будівництва, які будуть задовольняти нормативні вимоги точності.

Перспективним методом на даний час вважається використання електронних тахеометрів, що працюють в режимі без відбивача та супутникових двохчастотних приймачів GNSS (Global Navigation Satellite Systems), які позбавлені низки недоліків традиційних методів.

На нашу думку, при створенні зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика доцільним є використання Real Time Networks (RTN) рішень (з використанням мереж референціальних станцій), про які навіть не згадується в чинних, найбільш сучасних нормативних документах, хоча переваги RTN методу (виміри можна виконувати одним приймачем, одержувати результати без пост опрацювання практично за секунди тощо) є більш ніж очевидні.

На даний час існує велика кількість наукових праць присвячених вимірюванню в реальному часі, зокрема роботи таких вчених як Заблоцький Ф.Д., Карпінський Ю.О., Савчук С. Г., Тревого І. С., Третяк К.Р., Шульц Р.В., Allahyari M., Brown N., Mullenix D., Smith D., Weaver B., Kizil U та інших науковців. Однак у більшості цих робіт аналізується точність визначення координат точок та вплив на неї природних та механічних чинників. В той же час для потреб інженерної геодезії є необхідність також точного визначення віддалей та кутів, тому потрібно дослідити можливості і науково обґрунтувати методики використання сучасних GNSS приймачів в режимі RTN для розпланувальних робіт на будівництві.

Суттєвою проблемою при розпланувальних роботах є також виявлення і відбракування пунктів геодезичної основи, особливо пунктів, які закріплюють червоні лінії забудови, з грубими похибками.

Також при виконанні високоточних розпланувальних робіт в більшості випадків не доцільно використовувати GNSS приймач із класичною віхою, яка не може забезпечити міліметрову точність. Було розроблено і запатентовано спеціальний пристрій, що прискорює процес приведення приладу в робоче положення, забезпечуючи при цьому потрібну при розпланувальних роботах точність.

Найбільш близькими до виконаних досліджень є роботи Яндрова І.О. і Медведського Ю.В, але вони виконані більше десяти років тому, коли мережі референціальних станцій на території України практично не були реалізовані. Таким чином, наукові і практичні проблеми пов'язані із їх використанням, у даних роботах не розглядались.

У даній роботі запропоновані алгоритми, методики та технологічні рішення для підвищення ефективності виконання розпланувальних робіт із використанням RTN методу. Рішення відрізняються від існуючих двоетапним

трансформування пунктів (із додатковим використанням топоцентричної прямокутної системи координат), мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливістю відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконана робота відповідає науковому напрямку кафедри геодезії та землеустрою – «Геодезичний контроль експлуатаційної надійності будівель, споруд і об'єктів паливно-енергетичного комплексу» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Результати досліджень пов'язані з госпдоговірною та науково-дослідною роботою «Оцінка сучасного стану та прогнозування розвитку деформацій ґрунту на ділянці проходження магістрального газопроводу в зоні впливу шахтного поля «Хотінь» рудника «Калуш»» номер державної реєстрації 0117U006758.

**Мета і задачі досліджень.** Метою даної роботи є обґрунтування та удосконалення технології комплексного використання сучасних методів (RTN методу GNSS та електронних тахеометрів) геодезичних вимірювань для підвищення ефективності основних розмічувальних робіт при підготовці проммайданчика та будівництві багатофункціональних будівель.

Для досягнення мети в роботі поставлено такі завдання:

- встановити особливості виконання розпланувальних робіт RTN методом в залежності від особливостей розміщення об'єкта досліджень (проммайданчика);

- дослідити залежність точності процесу побудови векторів (ліній) за допомогою використання RTN рішень GNSS приймачем від технологічних параметрів DOP (Dilution of Precision), особливо тих, зміни яких повторюються в часі;

- розробити алгоритми і програмне забезпечення трансформування координат з системи координат генплану в УСК-2000 і навпаки, з мінімізацією впливу випадкових похибок RTN рішень та можливістю відбракування можливих грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи, особливо червоних ліній забудови;

- розробити нові способи трансформування проектних координат точок, для виконання розпланувальних робіт з допомогою GNSS (у геоцентричній системі із використанням топоцентричних прямокутних координат), які забезпечують однозначний, оптимальний розв'язок задачі;

- розробити практичні рекомендації для винесення головних осей будівель (осей симетрії) та основних осей з використання RTN вимірювань та забезпечення додаткового контролю розмічувальних робіт за допомогою електронного тахеометра;

- провести апробацію результатів досліджень на практичних об'єктах інженерно-геодезичної діяльності.

**Об'єкт дослідження** – геодезична розмічувальна основа проммайданчика.

**Предмет досліджень** – методи комплексного використання сучасних технологій GNSS для підвищення ефективності розпланувальних робіт.

**Методи досліджень.** Під час проведення досліджень використовували методи математичної статистики та регресійного аналізу для опрацювання експериментальних даних; оптимального трансформування координат пунктів мережі будівельного майданчика з можливістю відбракування елементів, що містять грубі похибки в координатах за допомогою використання методу ітерації та цільової функції, яка мінімізує квадрати довжин векторів неспіввісності між координатами отриманими із вимірів та обчислень; прийняття оптимальних рішень при прогнозуванні точності RTN спостережень в залежності від технологічних параметрів та особливостей розміщення об'єкта досліджень (проммайданчика).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що у роботі виконано теоретичне узагальнення і одержано практичні результати вирішення науково-прикладного завдання застосування технології RTN для геодезичного супроводу будівництва:

- вперше встановлено середню квадратичну похибку визначення довжин ліній та кутів за допомогою RTN спостережень у залежності від особливостей розміщення об'єкта досліджень (проммайданчика), встановлено оптимальну кількість необхідних усереднень відліків для забезпечення заданої точності результатів;

- вдосконалено алгоритм трансформування координат з системи координат генплану в УСК-2000 і навпаки, з мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливістю відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи, шляхом забезпечення оптимальної співвісності координат пунктів у двох системах методом ітерацій, та його експериментальне підтвердження;

- вдосконалено методику трансформування проектних координат точок, для виконання розпланувальних робіт у геоцентричній системі із використанням топоцентричних прямокутних координат, яка забезпечить однозначний, оптимальний розв'язок задачі;

- розвинуто теоретично-експериментальне обґрунтування методики розпланувальних робіт на будівництві шляхом комплексного використання RTN спостережень та електронного тахеометра в режимі вимірювання відносно базової лінії;

- вперше розроблено математичну модель і досліджено вплив технологічних параметрів DOP на точність процесу побудови векторів (ліній) RTN методом в результаті опрацювання даних GNSS вимірів на пунктах еталонного полігону ІФНТУНГ.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає підвищенні точності геодезичного супроводу будівництва в короткий термін. Встановлено, що завдяки високій точності та можливості продовження роботи через певний час, через повторюваність технологічних параметрів DOP, можна використовувати запропоновану методику побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень для розпланувальних та розмічувальних робіт на будівельному майданчику.

Рекомендації й технічні рішення, запропоновані в даній роботі, прийняті і використовуються у ДП «Івано-Франківський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою» та ТзОВ «ПРОФ-ГРУП», а також у навчальному процесі кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

**Основні положення, що виносяться на захист.**

1. Результати дослідження залежності точності процесу побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень GNSS приймачем від технологічних параметрів DOP; інформативність технологічних параметрів для можливості прогнозування точності вимірювання, при виконанні розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт та обґрунтованість оптимальної кількості епох вимірів.

2. Результати дослідження експериментальної перевірки точності визначення порівняно коротких віддалей та кутів, характерних для виконання розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт, GNSS приймачем в залежності від особливостей розміщення об'єкта досліджень (проммайданчика).

3. Алгоритм трансформації координат пунктів за допомогою методу ітерацій та цільової функції, що мінімізує довжини вектора не співвідності між координатами отриманими із вимірів та із обчислень.

4. Практичні рекомендації для виконання планових розмічувальних робіт, з використання RTN рішень, що ґрунтуються на застосуванні розроблених методик та можливістю додаткового контролю.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, опрацюванні одержаних результатів, формулюванні основних положень та висновків. Основні результати, висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. В опублікованих спільних працях автору належать: розроблення технологічних рішень та алгоритмів трансформування координат з системи координат генплану в Державну геодезичну систему координат, з мінімізацією впливу випадкових похибок RTN рішень та можливістю відбракування можливих грубих похибок [1, 2]; експериментальне дослідження точності побудованих векторів RTN методом при різних умовах спостережень [3, 6] та впливу на неї технологічних параметрів [5]; апробація методики комплексного дослідження виконання розпланувальних та розмічувальних робіт на будівництві [4, 7].

**Апробація результатів роботи.** Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на таких наукових зібраннях: XXII-ій міжнародній науково-технічній конференції «GEOFORUM'2017» (19–21 квітня 2017 р., м. Львів – Брюховичі, Україна); VI-ій всеукраїнській науково-практичній конференції «Наукові дослідження: перспективи інновацій у суспільстві і розвитку технологій» (2017 р., м. Харків); міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум-2017» (2017 р., м. Івано-Франківськ, Україна); XXIII-ій міжнародній науково-технічній конференції «GEOFORUM'2018» » (20–22 квітня 2018 р., м. Львів – Брюховичі,

Україна); XXIV-ій науково-технічній конференції «GEOFORUM'2019» (12–14 квітня 2019 р., м. Львів – Брюховичі, Україна).

**Публікації.** За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 13 наукових праць, з них 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 5 статей у фахових виданнях України, 5 тез міжнародних наукових конференцій та одержано 1 патент на корисну модель України.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (175 найменувань) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок, містить 27 рисунків та 24 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми, показано її актуальність, наукова новизна і практична значущість застосування запропонованого методу розмічувальних робіт, розглянуто сучасні тенденції в будівництві будівель, сучасний стан методів розмічувальних робіт.

У першому розділі дисертації “**Сучасний стан та проблеми виконання розмічувальних робіт на будівельному майданчику**” проведено аналіз основних проблем, які зустрічаються під час геодезичного супроводу будівництва житлових масивів із висотними будівлями складної конфігурації, де необхідно забезпечити не тільки вимоги проектної документації та будівельних норм, але і високі темпи будівництва.

Розглянуто перспективні при створенні зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика RTN рішення (з використанням мереж референціальних станцій), про які навіть не згадується в чинних, найбільш сучасних нормативних документах, хоча їх переваги є більш ніж очевидні. У той же час внутрішню геодезичну розмічувальну мережу доцільно вести сучасними електронними тахеометрами, за типовою схемою (у режимі вимірів відносно базової лінії), яка дає змогу позбутися похибок вихідних даних, опираючись на пункти попередньо винесені RTN методом.

Проаналізувавши сучасну науково-технічну літературу та практичний досвід було зроблено висновок, що застосування традиційних геодезичних приладів та технологій не завжди дозволяє забезпечити якісний і оперативний геодезичний супровід на всіх етапах розпланувальних робіт житлової та промислової інфраструктури. Обґрунтовано необхідність створення методики виконання планових геодезичних розмічувальних робіт при будівництві багатофункціональних висотних будівель, які будуть задовольняти всі вимоги сучасного будівництва з використанням RTN рішень.

У другому розділі “**Дослідження особливостей використання RTN методу для геодезичних розмічувальних робіт на будівництві**” підтверджено експериментальним шляхом можливості використання RTN рішень для ряду прикладних інженерно-геодезичних задач та визначено взаємну точність побудови опорної мережі даним методом.

Теоретично обґрунтовано взаємну точність винесених елементів RTN методом, за рахунок компенсації систематичної складової, пов'язаних із

трансформуванням координат, іоносферними та тропосферними затримками, похибками зміщення годинників супутника і приймача.

Виконано аналіз основних підходів до відносного позиціонування, таких як класичний RTK та мережеві рішення, які відрізняються технологією формування поправок (VRS, MAX, Auto-MAX та iMAX). Розглянуто особливості даних підходів для оптимального розв'язання задачі розмічувальних робіт.

Експериментально досліджено точність визначення довжини порівняно коротких векторів RTN методом та можливості виникнення аномальних похибок. За вихідну досліджувану мережу було прийнято System Solutions. Вибір пунктів був зумовлений взаємним розміщенням референцних станцій та тими умовами, у яких виконувались геодезичні роботи, а саме – «відкритий горизонт» (А), «нешільна забудова» (Б), «гірська місцевість» (В). Дослідження виконувались таким чином щоб максимально покрити територію Івано-Франківської області. Результати виконання експериментальних досліджень представлені у табл. 1.

Таблиця 1

### Характеристика залежності точності вимірів від віддалі до референцних станцій

№	СКП віддалі, м	S <sub>1</sub> , м	S <sub>2</sub> , м	S <sub>3</sub> , м
		Івано-Франківськ	Бучач	Яремче
1	2	3	4	5
Дос.1.А.	0,0051±0,0023	24028	24171	65719
Дос.2.А.	0,0046±0,0023	13912	34055	56829
	СКП	Івано-Франківськ	Яремче	Долина
Дос.3.В.	0,0056±0,0014	26634	28073	48819
Дос.4.В.	0,0043±0,0011	11556	43155	52796
	СКП	Івано-Франківськ	Долина	Яремче
Дос.5.Б.	0,0042±0,0011	22499	29239	65033
Дос.7.Б.	0,0049±0,0012	17377	36691	63883
	СКП	Івано-Франківськ		
Дос.8.А.	0,003±0,0012	1341		

У першому стовпчику вказано номер дослідження та фізико-географічна характеристика району робіт, у другому приведено одержану точність визначення віддалей за вимірами параметрів GNSS сигналів. Третій, четвертий та п'ятий стовпчики характеризують віддаль від місця проведення дослідження до найближчих діючих референцних станцій. Результати, наведені у табл. 1 свідчать, що точність визначення довжин мінімум два рази вища, ніж заявлена виробником планова точність RTN методу. Все це обумовило необхідність більш детально дослідити можливості RTN методу.

Було закладено полігон, що складався із чотирьох точок геометричні елементи, яких були визначенні на еталонному рівні. із примусовим центруванням. Пункти даної мережі мають можливість примусового



центрування GNSS антени та тахеометра. Дослід виконувався на віддалі до 4 км від референційної станції, що практично нівелювало більшість похибок та забезпечило можливість спостерігати одні і ті ж супутники. В результаті досліджень обчислено середню квадратичну похибку для віддалей та кутів за формулою Гауса та виконано оцінку надійності середніх квадратичних похибок. Середня квадратична похибка виміру кута та віддалі за допомогою RTN рішень становила  $m_{кут}=4,3'' \pm 0,95''$  та  $m_{від}=3,2 \text{ мм} \pm 0,1$  відповідно, що не суперечить попереднім дослідженням.

На даному еталонному полігоні було знайдено оптимальну кількість усереднень епох для RTN методу. Одержані значення віддалей та кутів (при різній кількості усереднень) у даному експерименті порівнювались із еталонними параметрами для даного полігону. На рис. 1 представлені графіки похибок визначення віддалей (рис. 1 а) та кутів (рис. 1 б) RTN методом.

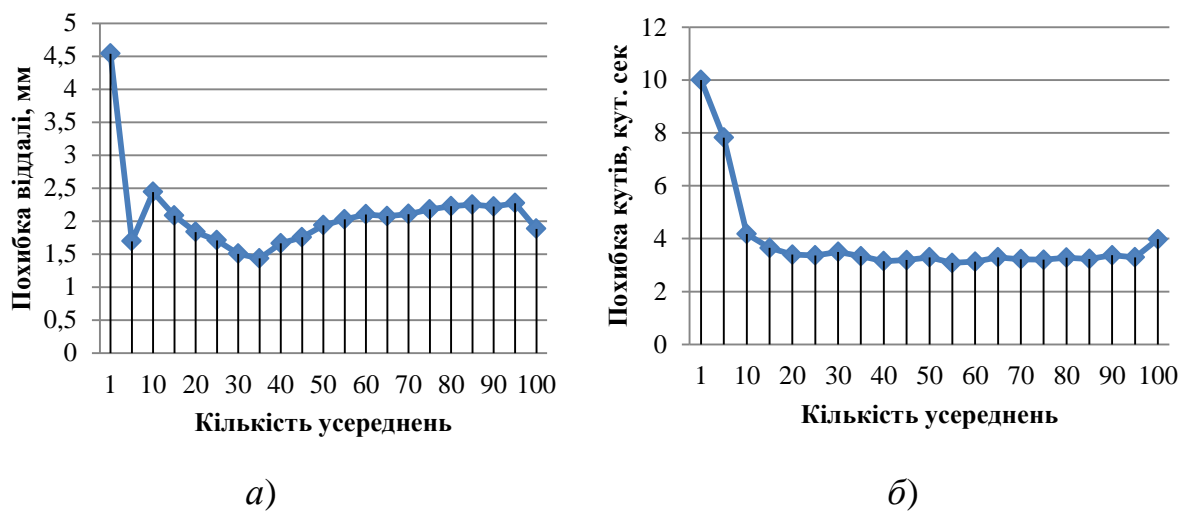


Рис. 1. Похибки визначення (а) віддалей та (б) кутів із обробки RTN вимірів

Проаналізувавши особливості наведених графіків, було зроблено висновок, що для одержання найкоректніших результатів при розмічувальних роботах RTN методом GNSS приймач потрібно налаштовувати на виміри при 25–45 усередненнях.

Розроблено математичну модель і досліджено вплив технологічних параметрів на точність процесу побудови векторів (ліній) RTN методом у результаті опрацювання даних GNSS вимірів на пунктах еталонного полігону ІФНТУНГ. Вимірювання проводились RTN методом з інтервалом тридцять хвилин, в продовж чотирьох годин, тобто виконано 9 вимірів, кількість усереднень у кожному складала 30 епох. Для можливості прогнозування даних дослід був повторений на наступний день у той же час.

За даними експериментальних досліджень був проведений кореляційний та регресійний аналіз впливу на точність побудови проектних величин наступних технологічних параметрів:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision) – горизонтальне погіршення точності;
- VDOP (Vertical Dilution of Precision) – погіршення точності по вертикалі;
- TDOP (Time Dilution of Precision) – зниження точності в часі;
- HRMS – горизонтальна середня квадратична похибка ;

- VRMS – вертикальна середня квадратична похибка;
- N – кількість супутників, що спостерігається GNSS приймачем на момент вимірювання.

Згідно одержаних результатів кореляційного аналізу (табл. 3) можна стверджувати, що такі технологічні параметри, як: VDOP, TDOP не мають аналітичних зв'язків з точністю процесу побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень. Також варто звернути увагу на значення HRMS і VRMS, окрім того, що вони сильно впливають на точність, між даними технологічними параметрами є пряма і сильна кореляція (0,988727). Після проведення тесту Дарбина Уотсона на залишки, було знайдено автокореляцію між даними параметрами. Це дало нам можливість при розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії не враховувати один із даних технологічних параметрів (VRMS).

Таблиця 3

**Кореляційна матриця залежності впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень**

	Y	HDOP	VDOP	TDOP	HRMS	VRMS	N
Y	1						
HDOP	0,6044	1					
VDOP	0,0905	0,5476	1				
TDOP	0,196	0,7044	0,9229	1			
HRMS	0,8132	0,7544	0,0818	0,2361	1		
VRMS	0,8065	0,6921	0,0716	0,2027	0,9887	1	
N	-0,5624	-0,8032	-0,4675	-0,5892	-0,6268	-0,5898	1

Розраховано коефіцієнти рівнянь регресії, тобто залежності точності побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень від значимих технологічних параметрів  $\Delta = f(\text{HDOP}, \text{HRMS}, \text{N})$ .

Регресійний аналіз проводився на основі технологічних параметрів і визначив внесок кожної незалежної змінної у варіацію досліджуваної (прогнозованої) залежної змінної величини.

На підставі проведених експериментів було побудовано математичну модель і досліджено залежність технологічних параметрів для процесу побудови векторів (ліній) за допомогою використання RTN рішень GNSS приймачем налаштованого на прийом диференційних поправок від мережі System Solutions від технологічних параметрів, особливо тих, зміни яких повторюються в часі

$$Y_x = 7,5706 \cdot \frac{\text{HRMS}}{\text{N}} - 0,0012 \cdot \text{HDOP}. \quad (1)$$

Невідомі коефіцієнти рівняння регресії визначили методом найменших квадратів у кодованому вигляді. Оцінку значимості коефіцієнтів рівняння регресії перевірили при рівні 0,05 за допомогою *t*-критерію Стьюдента. Статистично не значимі коефіцієнти були відкинуті. Після цього значимі коефіцієнти рівнянь регресії другого порядку були підставлені у формулу (1).

У табл. 4 наведена перевірка адекватності отриманої математичної моделі процесу побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень.

## Регресійна статистика досліджуваної моделі

Множинний R	R-квадрат	Нормований R-квадрат	Стандартна похибка	Кількість вимірів
0,8936	0,7985	0,7944	0,0071	299

Аналіз отриманого рівняння регресії та побудованих поверхонь відгуку (табл. 5), свідчать, що величини параметрів оптимізації (HDOP, HRMS, та кількості супутників) суттєво впливають на процес побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень GNSS приймачем.

Таблиця 5

## Дисперсійний аналіз отриманих коефіцієнтів

	Стандартна похибка	t-статистика	P-Значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
$a_0$	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
HDOP	0,3357	23,3676	$2,98 \cdot 10^{-69}$	7,1836	8,5049
HRMS/N	0,0006	-2,2177	0,0273	-0,0025	-0,0002

Аналіз отриманого рівняння регресії (1) свідчить, що для побудови проектних векторів (ліній) за допомогою RTN рішень найбільш значний вплив мають такі технологічні параметри, як HRMS та кількість супутників. Хоча вплив параметра HDOP на остаточну точність побудови проектних віддалей є значним, проте він має тісний математичний зв'язок із горизонтальною середньоквадратичною похибкою (HRMS), що негативно впливає на адекватність моделі. Після виключення технологічного параметра HDOP із регресійного обчислення моделі точність знижується не більше ніж на 2,3 %, що у свою чергу не перевищує 95 % рівень надійності, тому для спрощення обчислень без значної втрати точності можна використовувати формулу

$$Y_x = 7,2002 \cdot \frac{HRMS}{N}. \quad (2)$$

Для наочності одержаної математичної моделі, впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній), побудовано поверхню відгуку (див. рис.2).

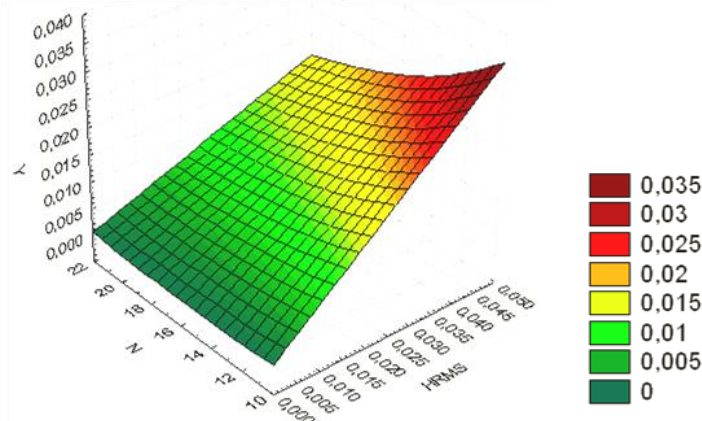


Рис. 2. Поверхні відгуку залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань

Встановлено інформативність технологічних параметрів DOP, для можливості прогнозування точності вимірювання, при виконанні розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт, за неможливості виконання синхронних спостережень.

У третьому розділі «Розроблення методичних рекомендацій створення планової розпланувальної основи на будівельному майданчику» теоретично обґрунтовано можливість створення зовнішньої та внутрішньої планової інженерно-геодезичної основи GNSS методами.

Обґрунтовано ефективність виконання основних планових розмічувальних робіт RTN методом за умови встановлення антени двохчастотного GNSS приймача на спеціально розроблений штатив («Пристрій для центрування геодезичних приладів»). Основні переваги даної методики перед класичними методами, полягають у відсутності впливу на взаємну точність винесення елементів, ряду технічних похибок, таких як похибки центрування приладу, візирних цілей, вихідних даних та власне методу розмічувальних робіт. Дана задача була вирішена шляхом використання в конструкції пристрою для центрування GNSS антени оптичного центрира, що дозволило зменшити час центрування пристрою та підвищити його точність. Однією із особливостей даного пристрою є те, що завдяки сферичному шарніру на якому базується стрижень із противагами, GNSS антена автоматично приводиться у робоче положення.

Запропоновано дотримуючись принципу підвищення точності при переході від вищої ступені до нижчої, а також враховуючи можливості сучасних TPS, вести детальні розмічувальні роботи за типовою схемою у режимі виміру відносно базової лінії, яка дає змогу позбутися похибок вихідних даних. У даному випадку опорною геодезичною мережею на будівельному майданчику повинні слугувати мінімум два базиса закладені за допомогою RTN методу, таким чином щоб вони були паралельними координатним осям  $x$  та  $y$  генерального плану, на якому запроектовано об'єкт. Кількість даних базисів можна збільшити в залежності від конфігурації будівництва. Опорний базис також слугує додатковим контролем, так як його довжина визначена за координатами опорних пунктів та порівнюється із відповідною довжиною знайденою за допомогою тахеометра. Точність винесення вектора методом відносного позиціонування згідно наших досліджень на еталонному полігоні склала  $m_{\text{від}} = 3,2 \text{ мм} \pm 0,1 \text{ мм}$ .

Обґрунтовано необхідну для розпланувальних робіт точність одержання довжини опорного базису із GNSS вимірів. Як відомо режим виміру відносно базової лінії ґрунтується на вимірюванні віддалей  $l_1$ ,  $l_2$  та кут  $\gamma$ , за якими електронний тахеометр визначає координати свого місцезнаходження Точність одержання довжини опорного базису можна розрахувати за формулою

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 \cdot \sin^2 \frac{\gamma}{2} + \frac{m_B^2}{\rho^2} \cdot l \cdot \cos^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (3)$$

Виходячи з формули (3) максимальне значення похибки розраховується

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 + \frac{m_B^2}{\rho^2} \cdot l^2. \quad (4)$$

Розрахунки за формулою (4) проілюстровано на рис. 3, де по осі абсцис відкладено віддаль  $l$ , а по осі ординат кут  $\gamma$ .

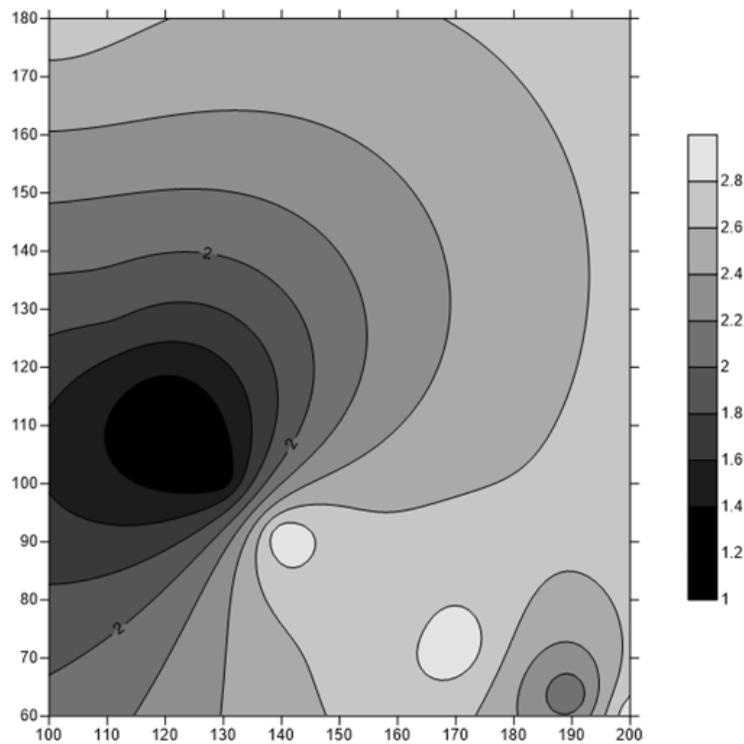


Рис. 3. Значення похибки визначення віддалі  $m_{AB}$  залежно від положення точки  $O$  на будівельному майданчику

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 (за умови, що  $m_{l_1} = m_{l_2}$ ).

Таким чином СКП винесення базису  $AB$  супутниковим методом та максимальна похибка визначення цієї віддалі методом вимірювання відносно базової лінії є рівноточними, що дає нам можливість, порівнюючи дані значення віддалі, додатково надійно контролювати процес розмічувальних робіт електронним тахеометром за схемою виміру відносно базової лінії.

Запропоновано методику координатного забезпечення детальних розпланувальних робіт на проммайданчику GNSS методами. Нормативна точність другого етапу розпланувальних робіт (винесення основних осей) складає 3-5 мм. Для забезпечення такої високої точності використовувати картографічні проекції (УСК 2000 та похідні від неї місцеві системи координат) не завжди доцільно. Оскільки визначені за цими картографічними координатами довжини ліній, відрізняються від проектних на величину, зумовлену проектуванням на референц-еліпсоїд (поправка –  $\Delta_H$ ) та на дотичний циліндр в проекції Гауса-Крюгера, або січний в проекції UTM (поправка -  $\Delta_\Gamma$ ). Оскільки поправки  $\Delta_\Gamma$  і  $\Delta_H$  із протилежними знаками, то загальна поправка у віддаль ( $\Delta_{ред.}$ ) частково компенсується

$$\frac{\Delta_{ред.}}{S} = \frac{\Delta_\Gamma + \Delta_H}{S} = \left( \frac{y_m^2}{2R_m^2} - \frac{H_m}{R_m} \right). \quad (5)$$

До прикладу, якщо розпланувальні роботи ведуться на Передкарпатті значну частину котрого складає горбиста місцевість із висотами до 600 м то відносна похибка лінії визначеної за координатами в МСК-26 та її натуральною довжиною, визначена за формулою (5) не перевищить  $1/4\ 000$  для усіх випадків.

На рис. 4 проілюстровано загальну поправку переходу на площину в проекції Гаусса-Крюгера, згідно формули (5). По осі абсцис відкладено значення віддалі  $y_m$  від осьового меридіана до проммайданчика в кілометрах, а по осі ординат – середню висоту  $H_m$  вимірної сторони в метрах. Для наочності одержаних значень всі коефіцієнти  $\Delta_{ред}/S$ , що наведені на графіку помножені на  $10^5$  (що відповідає довжині лінії 100 м).

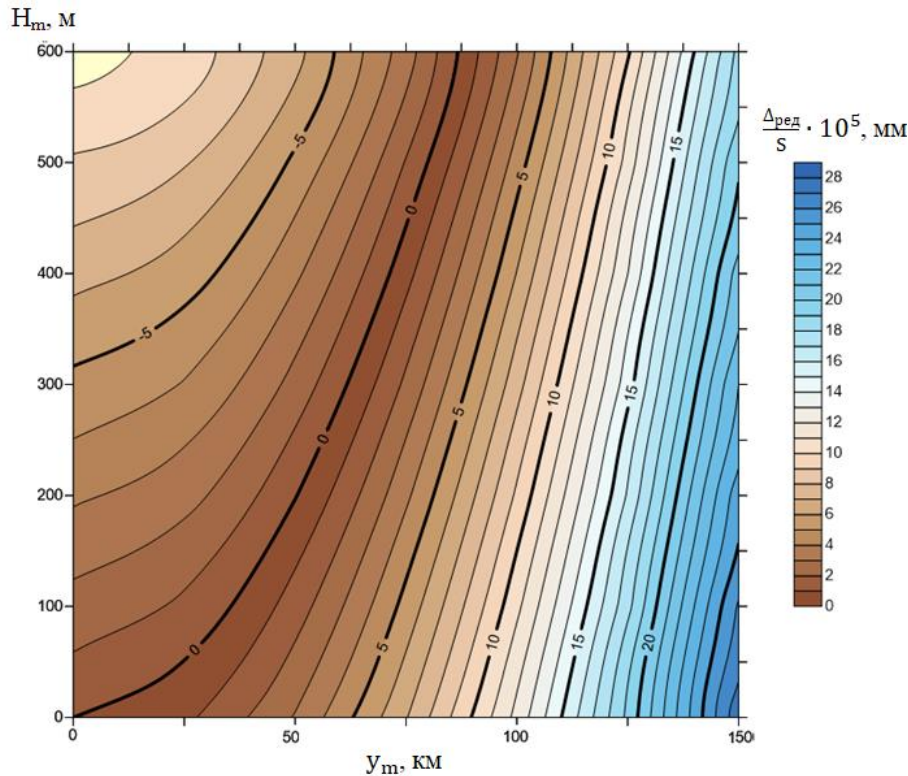


Рис. 4. Розподіл загальної поправки переходу на площину в проекції Гаусса-Крюгера у залежності від віддалі до осьового меридіана та середньої висоти вимірної сторони

Згідно одержаних результатів, які відображені на рис. 4 можна стверджувати, що при використанні трьохградусних картографічних проекцій можна забезпечити достатню точність для першого етапу розпланувальних робіт (3-5 см) навіть на краю зони при полярних віддальях до 100 м. У той же час, для забезпечення необхідної точності розпланувальних робіт (3-5 мм), наведено рекомендації додаткового використання топоцентричної прямокутної системи координат (вісь  $x$  напрямлена в площині геодезичного меридіану). Дана математична основа буде найкращим рішенням для геодезичного забезпечення окремого будівельного майданчика.

При використанні ортогональної проекції на горизонтальну площину у вимірні величини не вводяться поправки для переходу на поверхню відносності та на площину проекції Гаусса-Крюгера. У нашому випадку ортогональна проекція на горизонтальну площину може вважатись такою, що співпадає з топоцентричною системою координат (див. рис. 5).

При такому виборі координатної площини, напрямки та довжини ліній теоретично повинні відрізнитись тільки на величини викликані відхиленням прямовисної лінії від нормалі при переході на референц-еліпсоїд. Однак, враховуючи розміри будівельного майданчика, цим впливом можна нехтувати.

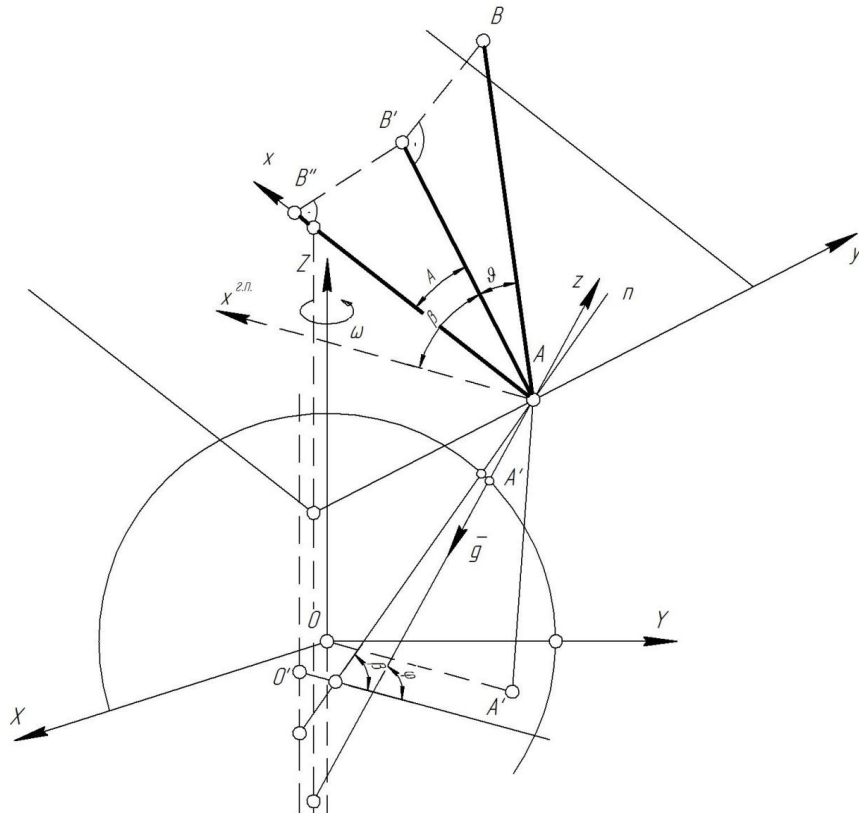


Рис. 5. Топоцентрична система координат генплану:

$AB$  – натуральна довжина лінії;  $AB'$  – горизонтальне прокладення, визначене за проектними координатами;  $AB''$  – топоцентрична координата точки  $B$ , яку виносять в натуру;  $B''B$  – координата  $y$ -топоцентрична;  $Ax$  – геодезичний меридіан;  $Ax^{z.n}$  – вісь  $x$  генплану;  $Az$  – напрямок прямовисної лінії;  $An$  – напрямок нормалі до референц-еліпсоїда;  $AA'$  – висота  $H_m$ .

Так, поправка в горизонтальний кут за відхилення прямовисної лінії від нормалі обчислюється за формулою

$$v = (\eta \cos A - \xi \sin A) \operatorname{ctg} z, \quad (6)$$

де  $z = 90 - \nu$ ,  $\nu$  - вимірний кут нахилу лінії;  $A$  - азимут напрямку;  $\eta$ ,  $\xi$  - складові відхилення прямовисної лінії проєкції на площини першого вертикалу та меридіана.

Оскільки розмічування ведеться на розпланованій місцевості приймемо, що максимальний ухил будівельного майданчика не перевищує  $5^\circ$  тоді максимальне значення поправки в горизонтальний кут за відхилення прямовисної лінії від нормалі складе

$$v_{\max} = \eta \operatorname{ctg} z = 0,09\eta. \quad (7)$$

Середнє відхилення прямовисних ліній на території України складає  $4-5''$ , що вносить вклад в похибку напрямку - не більше  $1''$ . Згідно даного розрахунку можна стверджувати, що впливом на напрямки викликаним відхиленням прямовисної ліній із нормаллю можна нехтувати, коли розпланувальні роботи виконуються на території обмеженій розмірами будівельного майданчика.

У більшості випадків є несуттєвим і вплив різниці в відхиленнях виска на кінцях лінії, на величину горизонтального прокладення –  $\delta S$ , який можна визначити за формулою

$$\delta S = \frac{u''_2 - u''_1}{\rho''} \cdot H_m. \quad (8)$$

При умові  $\delta S \leq 1$  мм максимальне значення  $u''_2 - u''_1$ , яке можна не враховувати у залежності від висоти проммайданчика, знаходимо із виразу

$$(u''_2 - u''_1)_{\max} = \frac{\rho''}{H_m}. \quad (9)$$

Наприклад для висот до 400 м величина  $(u''_2 - u''_1)_{\max}$  не повинна перевищувати 0,5", а її більші значення на порівняно невеликих віддалях (до 1 км) можлива тільки в аномальних районах. Тому враховувати цей фактор слід тільки для унікальних об'єктів, коли точність розпланувальних робіт повинна бути меншою 1 мм.

Оскільки розміри проммайданчиків у переважній більшості випадків не перевищують 1 км, то вплив викликаний різницями відхилень висків на кінцях лінії не перевищує вимоги точності для детальних розпланувальних робіт. Даний факт дозволяє приймати при розрахунках прямовисні лінії за нормалі до геодезичного горизонту. Тому при аналітичній підготовці проекту будівництва, знайдені за плановими координатами в цій проекції довжини і напрямки, будуть рівні їх технологічним розмірам. Це дозволяє перетворювати проектні координати елементів в топоцентричну систему, без врахування масштабного коефіцієнта.

Трансформування пунктів необхідно виконувати в декілька етапів: спочатку визначити геоцентричні координати опорних базисів та червоних ліній забудови (проектні координати яких відомі згідно технологічних креслень), після чого за строгими формулами перейти до запропонованої координатної площини. Розрахувати параметри переходу від проектної до топоцентричної системи координат. Обчисливши всі елементи будівництва у топоцентричній системі перейти до геоцентричних координат. Далі виносити всі точки у системі із якою працює GNSS приймач.

Розроблену методику та технологічні рішення було апробовано на реальному об'єкті під час геодезичного супроводу будівництва комплексу споруд об'єднаних одним технологічним циклом у м. Івано-Франківськ

Даний проект складено відповідно до принципів розробки проектів виробництва геодезичних робіт, з урахуванням особливостей об'єкта, згідно із сучасними методами і засобами геодезичних вимірювань. Він охоплює такі розмічувальні роботи як: основні планові розмічувальні роботи, тобто винесення та закріплення на будівельному майданчику положення опорних базисів та осі симетрії з використання супутникових технологій (RTN методу); детальні планові розмічувальні роботи, тобто винесення в натуру та закладання основних і детальних осей, а також інших видів робіт для визначення у плані положення елементів і вузлів будівельних конструкцій за допомогою TPS.

На першому етапі було досліджено точність виконання основних планових розмічувальних робіт за допомогою RTN вимірювань. На закладених



пунктах проведено серію контрольних вимірювань високоточним електронним тахеометром, з метою оцінити точність координат, винесених пунктів. Дані одержані електронним тахеометром порівнювались із проектними та визначалась різниця координат відповідних пунктів. Обчислені різниці можна інтерпретувати, як похибки винесення координат пунктів за допомогою RTN вимірювань. Тому далі ці різниці називаємо похибками виконання основних планових розмічувальних робіт відповідним методом  $\delta_x \delta_y$  (табл. 6).

Таблиця 6

**Середні квадратичні похибки винесення в натуру  
координат пунктів та віддалей**

Пункти	$\delta_x$ , мм	$\delta_y$ , мм	$\delta_{\text{план}}$ , мм	S	$\delta S$ , мм
1	2	3	4	5	6
1	3,1	-1,4	3,4	1-2	2,2
2	1,9	-3,2	3,7	2-3	1,2
				3-4	2,8
3	2,5	-2,1	3,3	4-1	3,7
				1-3	0,9
4	0,2	-3,7	3,7	2-4	1,8
A	-0,8	-2,5	2,6	A-B	3,1
				B-C	1,9
B	2,2	-3,3	4	C-D	1,8
C	1,6	-5,1	5,3	D-A	3,2
				A-C	3,5
D	2,3	-3,4	4,1	B-D	0,1
$\Sigma$	13	-24,7	31,6	$\Sigma$	26,2
серед	1,8	-3,1	4,0	серед	2,2

В передостанньому рядку табл. 6 приведена сума, а в останньому рядку середнє значення відповідних похибок, у стовпчику 4 приведено похибки кожного з пунктів у плані, у стовпчику 6 представлено точність віддалей побудованих базисів обрахованих за координатними тих же пунктів.

З даної таблиці видно, що середні похибки взаємного положення пунктів головних осей та опорних базисів винесених в натуру за допомогою RTN вимірювань, приблизно на 42 % є більшими ніж помилки віддалей базисів обрахованих за координатними тих же пунктів.

У четвертому розділі **”Проблеми та особливості створення оптимальної методики трансформування координат пунктів опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови”** виконані теоретичні та експериментальні дослідження ефективності запропонованих алгоритмів трансформування, що базуються на мінімізації суми довжин векторів зміщення і-тої точки  $\sum S_i^2$  після її перерахунку в іншу систему та порівняння їх з існуючими методами.

$$S_i^2 = (X_0 + X_i \cos Q \cdot m - Y_i \sin Q \cdot m - X_i')^2 + (Y_0 + X_i \sin Q \cdot m + Y_i \cos Q \cdot m - Y_i')^2 \rightarrow \min, \quad (10)$$

де  $X_i X'_i$  і  $Y_i Y'_i$  – координати точки  $i$  в УСК-2000 та системі координат генплану;  $Q$  - поворот осей двох систем;  $X_0, Y_0$  - зміщення початку координат однієї системи відносно іншої;  $m$  - масштабний коефіцієнт.

Запропоновані технологічні рішення вирішують задачу трансформування елементів будівництва, з мінімізацією впливу випадкових похибок RTN рішень та можливістю відбракування грубих помилок в координатах пунктів геодезичної основи. Розв'язання даної задачі можливе завдяки використанню методу ітерації та цільової функції, яка мінімізує довжину вектора зміщення між координатами визначеними із вимірів та знайденими шляхом трансформування. Дане зміщення викликане як плановими похибками закріплених пунктів опорної геодезичної мережі і, або червоних ліній забудови, так і похибками GNSS приймача.

Для одержання реальних результатів ефективності роботи алгоритму (методу ітерацій - МІ) задачу трансформування розв'язували відомим методом найменших квадратів (МНК), результати наведені в табл. 7, де: в стовпці 1 наведено планову точність пунктів за координатами яких виконувалось трансформування (RTN вимірювання порівнювались із статичними); в стовпці 2 – значення цільової функції отримане на відповідному пункті; в стовпцях 4, 5 – точність трансформування пунктів відповідним методом.

Таблиця 7

#### Порівняння точності вичислених пунктів

Пункти	$\Delta_{ст.-RTN}$ , мм	$S_{min}^2$ , мм	$\Delta_{ст.-п.т.}$ , мм	
			МІ	МНК
	1	2	3	4
А	3,3	0,0066	5,5	5,0
Б	9,1	0,0240	4,7	6,4
В	4,9	0,0066	4,7	6,0
Г	4,2	0,0007	4,7	4,1

За результатами мінімізації цільової функції  $S_{min}^2$  можна судити про грубі похибки у мережі, що дозволяє знайти найслабшу точку та у подальшому не враховувати її при обчисленнях. Наприклад, із розрахункових даних, наведених у табл. 7, це точка Б, оскільки для неї похибка RTN виміру максимальна, що відображається на значенні цільової функції  $S_{min}^2$ , квадратична похибка якої критично висока. Після виключення точки Б повторно перераховано координати пунктів мережі та виконано їх порівняння із даними, які вибрано за еталонні (див. табл. 8).

Таблиця 8

#### Порівняння точності вичислених пунктів

Пункти	$\Delta_{ст.-п.т.}$ , мм		Віддалі	$S_{тах.} - S_{п.т.}$ , мм	
	МНК	МІ		МНК	МІ
А	3,2	3,4	АВ	3,5	1,4
В	4,0	5,1	АГ	1,4	0,1
Г	4,1	3,1	ВГ	1,5	0,5

Із розрахункових даних, наведених у табл. 8, встановлено, що в залежності від поставленої мети, для забезпечення максимальної точності взаємного положення пунктів, рекомендовано повторно виконати перерахунок методом ітерацій (із збільшенням їх кількості), а для одержання мінімального відхилення від істинних координат у державній геодезичній мережі використовувати метод найменших квадратів. Доведено можливість використання створеного алгоритму, причому не тільки для забезпечення зв'язку всіх елементів планової розмічувальної мережі, але і для відбракування без додаткових вимірювань грубих похибок у координатах пунктів, як в мережі геодезичної основи, так і на пунктах визначених за допомогою GNSS-приймача. Також із наведених результатів можна судити, що при наявності грубих похибок у мережі, метод ітерацій дозволяє забезпечити вищу взаємну точність шуканих пунктів, ніж вищеописаний метод найменших квадратів.

Розроблено методику підвищення ефективності виконання основних розмічувальних робіт на будівельному майданчику RTN методом та зрівнювання пунктів опорної геодезичної мережі за допомогою методів нелінійного програмування. Теоретично доведено доцільність такого підходу для вирішення задачі забезпечення рівності геометричних параметрів будівель між запроєктованими розмірами та їх реальними значеннями на промайданчику. Для цього використовувалися універсальні методи розв'язку задач математичного програмування: алгоритм нелінійної оптимізації, симплексний метод та еволюційний метод. Дослідження показали, що для розв'язання нелінійних цілочисельних задач пошуку параметрів трансформування із обмеженнями для реальних виробничих умов оптимальним є метод узагальненого приведення градієнта з центральними похідними.

Наявність всіх елементів будівництва в системі координат генплану, та в УСК 2000 (визначених на будівельному майданчику із використанням GNSS вимірювань) робить можливим аналітичне розв'язання даної задачі шляхом встановлення залежностей технологічних (нормативних) обмежень рівності геометричних параметрів будівель, що характеризують відхилення від істинних запроєктованих довжин  $\Delta S$

$$\Delta S = S_i - S_i' = \sqrt{(X_B' - X_A')^2 - (Y_B' - Y_A')^2} - \sqrt{(\cos Q \cdot (X_B - X_A) - (\sin Q \cdot (Y_B - Y_A)))^2 + (\sin Q \cdot (X_B - X_A) + \cos Q \cdot (Y_B - Y_A))^2} \leq 5_{мм}. \quad (11)$$

Виконано розрахунки оптимальних значень для всіх пунктів мережі при почерговому використанні у розрахунках двох цільових функцій ( $\sum S_i^2$  та  $S_{i \max}$ ) оптимізації довжин векторів зміщення  $i$ -тої точки перерахунку її координат у іншу систему та накладення технологічних (нормативних) обмежень ( $\Delta S \leq 5$  мм). Далі виконано перевірку на інваріантність рішення вибору відносно початку координат, проведено додаткові розрахунки за допомогою Solver, при виборі точки відліку координат в правому нижньому куті або в центрі, за умови забезпечення мінімального значення  $\sum S_i^2$  та  $S_i \max$ .

В табл. 9 наведено точність оптимізації  $i$ -тої точки відносно безпомилкових координат генплану в залежності від розміщення початку

координат в центрі ділянки чи у правому куті та вибору цільової функції при розрахунку.

Таблиця 9

### Результати оптимізації зовнішньої розмічувальної мережі

№ пункту	Дані $S_i$ перед оптимізацією, мм	$\sum S_i^2$ , мм		$S_{i \max}$ , мм	
		центр	право	центр	право
1	37,7	25,3	4,9	13,8	8,3
2	60,6	45,0	18,3	43,2	20,9
3	39,4	28,9	4,1	39,2	4,7
4	34,5	15,1	4,6	6,2	14,0
5	36,9	8,0	2,6	17,8	8,1
6	39,4	19,6	2,6	36,2	7,1
7	40,0	9,3	6,3	17,8	11,0
8	29,2	13,1	7,1	32,3	20,9
9	35,6	19,2	1,6	43,2	15,6
$\Sigma$	353,3	183,5	52,1	249,7	110,6
AM	37,7	25,3	4,9	13,8	8,3

Для наочності на рис. 6 представлено графік вектора зміщення по точках до оптимізації та після. В підсумку середні похибки координат пунктів для мережі при використанні цільової функції  $\sum S_i^2$  на 65 % менші за аналогічні одержані з використанням  $S_{i \max}$ . Оскільки кращі результати було отримана при використанні цільової функції, що мінімізує суму квадратів відхилень, то можна стверджувати помилки координат пунктів підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Проаналізувавши одержані результати можна стверджувати, що Solver ефективно виконує задачу мінімізації вектору зміщення  $i$ -тої точки ( $S_i$ ), шляхом визначення оптимальних параметрів трансформації ( $X_0$ ,  $Y_0$  та  $Q$ ) для даної мережі.

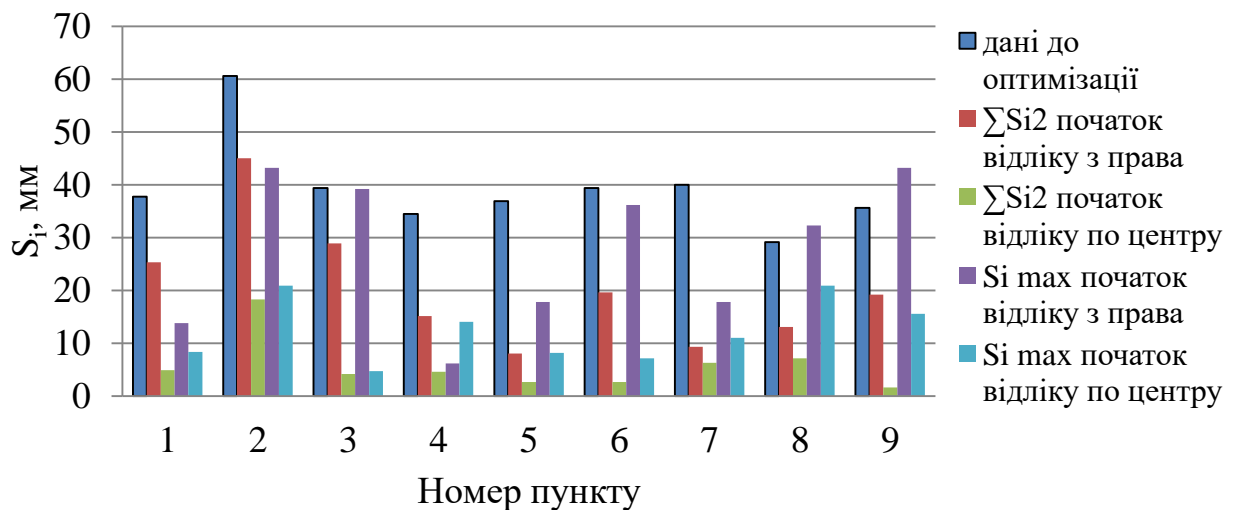


Рис. 6. Порівняння результатів оптимізації використання різних цільових функцій

Завдяки виконаній перевірці на інваріантність з використанням почергово двох цільових функцій можна стверджувати, що координати пунктів спотворені випадковими величинами, які підлягають нормальному закону розподілу. Запропонована методика відмінно справляється з покладеною задачею, коли більшість похибок у мережі направлені в одну сторону. Дана особливість співнапрявленості вектора похибок притаманна більшості геодезичних мереж. Її можна пояснити як спадковістю (похибки вихідних даних при розмічувальних роботах передаються на всі винесені елементи будівництва) так і особливістю виконання розмічувальних робіт шляхом RTN вимірювань (співнапрявленістю систематичної складової похибки).

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконано комплекс досліджень, який містить теоретичні розробки та рекомендації, направлені на вирішення важливої науково-практичної проблеми розроблення методів комплексного використання сучасних технологій - RTN методу та електронних тахеометрів, для підвищення ефективності винесення в натуру осей споруд та науковому обґрунтуванню можливості виконання розпланувальних робіт GNSS методами із забезпеченням необхідної нормативної точності. За результатами досліджень отриманих у дисертаційній роботі сформульовані наступні висновки та рекомендації:

1. На підставі детального аналізу проведених досліджень RTN методу встановлено, що точність визначення довжин ліній мінімум в два рази вища, ніж заявлена компанією System Solutions точність позиціонування в режимі реального часу. Знайдені середньоквадратичні похибки визначення віддалей за допомогою GNSS приймача в залежності від взаємного розміщення референсних станцій: для 10 км зони складають  $3.0 \pm 1.2$  мм; для 30 км зони  $4.6 \pm 0.8$  мм; для перетину двох і більше 30 км зон становить  $5.0 \pm 0.9$  мм. Крім того, встановлено, що фізико-географічні характеристики району робіт при дотриманні однакових технологічних параметрів, практично не впливають на точність побудови відносно коротких векторів ліній (до 200 м).

2. Вперше побудовано математичну модель і досліджено залежність між технологічними параметрами та точності побудови векторів (ліній) за RTN методом. Одержана регресійна залежність була підтверджена повторними експериментальними дослідженнями, що були проведені з інтервалом у рік часу. Найбільший вплив на точність виконання планових розмічувальних робіт мають: кількість супутників, що спостерігає приймач, HRMS та HDOP. Встановлено оптимальні значення технологічних параметрів для забезпечення необхідної точності при виконанні розпланувальних робіт: мінімальна кількість супутників повинна бути більшою 15, HRMS - меншим 0,009, GNSS приймач повинен бути налаштований на 25 - 45 епох.

3. Запропоновано алгоритм розрахунку, що базується на використанні методу ітерації та цільової функції, яка мінімізує довжини вектора неспіввідності між координатами отриманими із вимірів та із обчислень, дозволяє з міліметровою точністю трансформувати координати пунктів мережі

будівельного майданчика. Одержані результати за розробленим алгоритмом не несуть в собі похибок вимірів, оскільки вони практично нівелюються за допомогою мінімізації запропонованої цільової функції.

4. Розроблено практичні рекомендації для створення геодезичної розмічувальної основи на будівництві, що забезпечують необхідну планову точність згідно діючих норм, та значно спрощують виконання геодезичних робіт. Розвинуто теоретично-експериментальне обґрунтування методики трансформування проектних координат точок, для виконання розпланувальних робіт GNSS методами у геоцентричній системі із використанням топоцентричних прямокутних координат.

5. Запропоновано практичні рекомендації використання RTN рішень для розв'язання ряду інженерно-геодезичних, а саме виконання планових розмічувальних робіт. Запатентовано та експериментально випробувано новий пристрій для центрування антени GNSS приймача, що дає змогу підвищити точність передачі координат з приладу на місцевість, крім цього, при використанні даного штатива одержане з RTN вимірів значення довжини базису дозволяє додатково контролювати точність визначення координат станції.

6. Розроблені технологічні рішення були апробовані під час геодезичного супроводу будівництва комплексу споруд об'єднаних одним технологічним циклом у м. Івано-Франківськ та на експериментальному полігоні.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:**

1. Burak K. O., Lysko B. O., Myhajlyshyn V. P. Peculiarities of the main planning works for building noise-barrier high constructions. «Journal of New Technologies in Environmental Science». Kielce, 2018. Том 2. № 3. С. 140–145. *(Здобувачем запропоновано розв'язок задачі забезпечення запроєктованих розмірів шляхом пошуку оптимальних параметрів трансформації).*

2. Burak K. O., Lysko B. O. Implementation of alternative algorithms for defining the transformation parameters of USK-2000 and coordinate systems of general layout during the marking operations. Archives of Institute of Civil Engineering. Poznan, 2018. № 87. С. 49–59. *(Здобувачем створено алгоритм трансформування координат з мінімізацією впливу похибок RTN методу).*

### **Статті у наукових фахових виданнях України:**

3. Burak K. O., Lysko B. O. Exploring the accuracy of lengths constructions when solving the engineering geodesy issues with RTN method. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. Lviv, 2017. № 85. С. 5–12. *(Здобувачем виконано дослідження точності побудованих векторів RTN методом).*

4. Burak K. O., Lysko B. O. The possible uses of RTN solutions for markup works on construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. Lviv, 2018 № 87. С. 18–23. *(Здобувачем апробовано методику комплексного виконання розпланувальних та робіт на будівництві).*

5. Бурак К.О., Лиско Б. О. Дослідження впливу технологічних параметрів на точність визначення відносних координат вектора з допомогою RTN рішень.

*Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського, серія: Технічні науки. Київ, 2019. Том 30 (69). № 4. Част. 1. С. 134-142. (Здобувачем обчислено вплив технологічних параметрів на точність RTN методу).*

6. 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. Львів, 2017. № 27. С 145–150. (Здобувачем проведено дослідження визначення СКП виміру віддалей та кутів RTN метою).*

7. Бурак К.О., Лиско Б. О., Ярош К. А. Особливості координатного забезпечення розпланувальних робіт на будівництві GNSS методом. *Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2019. № 29. С. 151–155. (Здобувачем виконано аналіз досліджень та апробацію їх результатів).*

#### **Матеріали конференцій:**

8. Бурак К. О., Лиско Б. О. Використання RTN при перенесенні в натуру проектів горизонтального планування території та осей будівель та споруд. GEOFORUM 2018: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Львів–Брюховичі–Яворів, 2018. С 15–16. *(Здобувачем доведено можливість використання RTN методу при розмічувальних роботах).*

9. Бурак К. О., Лиско Б. О. Ітераційний алгоритм трансформування координат для розпланувальних робіт при будівництві. GEOFORUM 2019: тези доповідей 24-ої міжнародної науково-технічної конференції. Львів–Брюховичі–Яворів, 2019. С. 56-57. *(Здобувачем проаналізовано методи трансформування координат та запропоновано ітераційний алгоритм трансформування).*

10. Бурак К. О., Лиско Б. О. Дослідження можливостей використання GNSS спостережень при інженерно-геодезичних роботах. «Екогеофорум-2017»: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Івано-Франківськ, 2017. С. 328–329. *(Здобувачем аналітично розв'язано задачу забезпечення запроєктованих розмірів будівель та взаємного розміщення між ними).*

11. Burak K. O., Lysko B. O. Influence DOP on accuracy of RTN measurements. *Universum View* : матеріали міжнародної науковотехнічної конференції. Краматорськ, 28 вересня 2018. С. 241–242. *(Здобувачем обчислено вплив технологічних параметрів на точність RTN методу).*

12. Lysko B. O., Mrichko M. I. Investigation of the features of using the RTK method. *Наукові дослідження: перспективи інновацій у суспільстві і розвитку технологій: матеріали VI всеукраїнської науково-практичної конференції. Харків, 2017. С. 14–18. (Здобувачем проведено дослідження можливості застосування RTN методу для винесення проектних векторів).*

#### **Патент**

13. Патент України № 132779 G01C 15/10 (2006.01). Пристрій для центрування геодезичних приладів / К. О. Бурак, Б. О. Лиско; власник Івано-Франківський націонал. техн. ун-т нафти і газу. № u201809770; заявл. 01.10.2018, опубл. 11.03.2019, бюл. № 5. 5 с. *(Здобувачем запропоновано основну ідею винаходу та конструкцію пристрою).*

## АНОТАЦІЯ

*Лиско Б.О.* **Використання сучасних технологій для підвищення ефективності розпланувальних робіт.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2020.

Дисертація присвячена розробленню методів комплексного використання сучасних технологій - RTN методу та електронних тахеометрів, для підвищення ефективності винесення в натуру осей споруд та науковому обґрунтуванню можливості виконання розпланувальних робіт GNSS методами із забезпеченням необхідної нормативної точності.

На підставі детального аналізу проведених досліджень RTN методу встановлено, що точність визначення довжин ліній мінімум в два рази вища, ніж заявлена компанією System Solutions точність позиціонування в режимі реального часу. На основі методу математичного планування експерименту отримано регресійні рівняння впливу технологічних параметрів на точність процесу побудови векторів RTN методом. Розроблено алгоритми та програмне забезпечення трансформування координат з системи координат генплану в Державну геодезичну систему координат, з мінімізацією впливу випадкових похибок RTN рішень та можливістю відбракування можливих грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи, особливо червоних ліній забудови. Технологічні рішення та алгоритми трансформування були апробовані під час геодезичного супроводу будівництва комплексу споруд об'єднаних одним технологічним циклом та на експериментальному полігоні.

*Ключові слова:* GNSS; координати; RTN метод; розмічувальні роботи; мережа референцних станцій; параметри трансформації, топоцентрична система координат.

## АНОТАЦІЯ

*Лиско Б.О.* **Использование современных технологий для повышения эффективности разбивочных работ.** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2020.

Диссертация посвящена разработке методов комплексного использования современных технологий - RTN метода и электронных тахеометров, для повышения эффективности вынесения в натуру осей сооружений и научному обоснованию возможности выполнения разбивочных работ GNSS методами с обеспечением необходимой нормативной точности.

На основании метода математического планирования эксперимента получены регрессионные уравнения влияния технологических параметров на



точность процесса построения векторов RTN методом. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение трансформации координат из системы координат генплана в Государственную геодезическую систему координат, с минимизацией влияния случайных погрешностей RTN решений и возможностью отбраковки возможных грубых ошибок в координатах пунктов геодезической основы, особенно красных линий застройки. Технологические решения и алгоритмы трансформации были апробированы в ходе геодезического сопровождения строительства комплекса сооружений объединенных одним технологическим циклом и на экспериментальном полигоне.

*Ключевые слова:* GNSS; координаты; RTN метод, разметочные работы; сеть референчных станций; параметры трансформации, топоцентрична система координат.

## SUMMARY

Lysko B.O. **Use of modern technologies for plotting work efficiency increasing.** – manuscript copyright.

Thesis for the degree of Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.) of specialty 05.24.01 – Geodesy, photogrammetry and cartography. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

The thesis is devoted to development of modern technologies of complex method applications – the RTN method and electronic tachometers in order to increase efficiency of plotting of construction axes and to a scientific substantiation of the GNSS method application for plotting work providing with necessary regulated accuracy.

Ensuring the necessary accuracy of performing survey and placement engineering and geodetic works for construction is a responsible and time-consuming process. In view of the high rates of development of cities, there is a need to improve existing and develop new methods of geodetic support for construction, which will meet the regulatory requirements of accuracy and high rates of construction.

An alternative to existing methods is the use of electronic robotic tachymeters, and satellite-based geodetic receivers (GNSS) (Global Navigation Satellite Systems), which lack a number of deficiencies of traditional methods.

Perspective, in our opinion, when creating an external geodetic marker network construction site is the use of Real Time Networks (RTN) measurements (using the networks of reference stations), which are not even mentioned in the most up-to-date current regulatory documents, although the benefits of the RTN method (measurements can be perform one receiver, get results without working in almost in seconds, etc.) are obvious.

There is a large number of research papers devoted to measuring in RTN mode, the main purpose of which is to determine the accuracy of points coordinates and the impact on it of natural and mechanical factors. However, the problems associated with the precision of GNSS-based measurements of line lengths and angles that determine the possibility of their use in marking and planning engineering and geodetic works are not yet fully resolved.

Classically, the accuracy of the definition of distances is taken in  $\sqrt{2}$  less accurate than the coordinates on which they were determined, but using GNSS observations is not. Since the distances and angles are tensor quantities, the influence of systematic errors associated with the transformation of coordinate systems is considerably relaxed on them. If one GNSS receiver determines the coordinates of two points for a relatively short period of time, then the determination of the vector parameters that these points determine, the effect of the errors caused by atmospheric and ionospheric delays and errors in the displacement of the satellite and receiver hours will be significantly reduced by compensating for their systematic component .

Due to the influence of various factors and when planning works there is a series of errors in the coordinates of points, which are usually grouped as follows: systematic and random. When working with the GNSS receiver, you can also highlight a number of errors, the characteristic feature of which is the ability to play (repeat after a certain period of time).

A detailed analysis of the RTN-method has made possible to conclude that accuracy of line length determining is at least twice higher than the accuracy of real-time positioning declared by System Solutions. It has been stated that the physical and geographical characteristics of an operational site in compliance with the same technological parameters have little effect on the construction accuracy related to short vectors at distances up to 200 m). Based on the method of mathematical planning of the experiment, there have been obtained regressive relations of vector accuracy developed by the RTN method refer to technological parameters. The obtained relation was experimentally proven by studies carried out in a year after the initial ones. The analysis of the obtained mathematical model of technological parameter influence on accuracy of vectors developed by the RTN method showed that the following parameters have the greatest influence on the accuracy of planned plotting works: number of satellites observed by the receiver, HRMS, and HDOP. There have been specified the optimal ranges of the following technological parameters: the number of satellites, epochs of measurements and HRMS in order to provide the necessary accuracy of plotting in the 10-kilometer zone over the reference station. Algorithms and software for master plan coordinate system to the State Geodetic Coordinate System coordinate transformation have been developed with minimization of random error impact in RTN solutions and possible gross error rejection of coordinates from geodetic bases, especially building restriction line.

There have been developed practical recommendations for geodetic plotting base on a construction site to provide the necessary planned accuracy in accordance with the current regulations and significantly simplify geodetic works on construction sites. There have been developed theoretical and experimental substantiation of coordinate transformation method for plotting points by GNSS methods in georeferencing system with topocentric rectangular coordinates. Technological solutions and transformation algorithms were tested during the geodetic support of the construction of buildings united by one technological cycle and the same experimental site.

Keywords: GNSS; coordinates; RTN method; marking works; a network of reference stations; transformation parameters.