

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛИСКО БОГДАН ОЛЕГОВИЧ

УДК 528.48

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

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Б.О. Лиско

Науковий керівник –
доктор технічних наук, професор
Бурак Константин Омелянович

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради*

/Б. Паляниця/

Львів, 2020

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», Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2020.

Забезпечення необхідної точності виконання вишукувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт для будівництва є відповідальним та трудомістким процесом. Зважаючи на високі темпи розвитку міст та потреби у якісному геодезичному супроводі будівництва, було вдосконалено існуючі та розроблено нові методи геодезичного забезпечення будівництва, які задовольняють нормативні вимоги точності та високі темпи будівництва.

З метою підвищення ефективності винесення в натуру осей споруд експериментально та науково обґрунтовано можливості виконання розпланувальних робіт запропонованими методами комплексного використання сучасних технологій RTN методу та електронних тахеометрів 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. 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).

На основі методу математичного планування експерименту отримано регресійні рівняння впливу технологічних параметрів на точність процесу побудови векторів (ліній) RTN методом. Одержана математична залежність

була підтверджена повторними експериментальними дослідженнями, що були проведені з інтервалом терміном у рік часу. Аналіз одержаної математичної моделі впливу технологічних параметрів на точність процесу побудови векторів (ліній) RTN методом показав, що найбільший вплив на точність виконання планових розмічувальних робіт мають такі параметри: кількість супутників, що спостерігає приймач, HRMS та HDOP

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.

Розроблено практичні рекомендації для створення геодезичної розмічувальної основи на будівництві, що забезпечують необхідну планову точність згідно діючих норм та значно спрощують виконання геодезичних робіт на будівельному майданчику. Розвинуто теоретично-експериментальне обґрунтування методики трансформування проектних координат точок для виконання розпланувальних робіт GNSS методами у геоцентричній системі із використанням топоцентричних прямокутних координат, яка забезпечить однозначний, оптимальний розв'язок задачі. Запропоновано відмовитись від використання традиційних будівельних сіток і виносити головні та основні осі за допомогою GNSS методів. Для знаходження координат пунктів, які є придатними для винесення GNSS приймачем та забезпечують необхідну точність, розроблено та досліджено новий спосіб трансформування.

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

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

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. Tom 2. № 3. С. 140–145.

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.

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

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.

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 Частина 1. С. 134-142.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Патент

13. Патент України № 132779 G01C 15/10 (2006.01). Пристрій для центрування геодезичних приладів / К. О. Буряк, 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.

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.

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.

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.

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. It is proposed to abandon the use of traditional construction grids and derive heads and main axes using GNSS methods. To coordinate the coordinates of items that are additional to the introduction of GNSS, we accept and provide the necessary quality, develop and explore a new way of transformation.

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.

Articles in scientific periodicals of other states:

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. Tom 2. № 3. C. 140–145.

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. C. 49–59.

Articles in scientific specialized editions of Ukraine:

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. P. 5–12

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. P. 18–23.

5. Burak K. O., Lysko B. O. Doslidzhennia vplyvu tekhnolohichnykh parametriv na tochnist vyznachennia vidnosnykh koordynat vektora z dopomohoiu RTN rishen. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho, seriia: Tekhnichni nauky*. Kyiv, 2019. Tom 30 (69) № 4 Chastyna 1. P. 134-142.

6. Burak K. O., Lysko B. O. Rezultaty doslidzhennia tochnosti RTN metodu GNSS vymiriv yedynym (vykhidnym) bazovym rishenniam ta mozhlyvosti yoho vykorystannia dlia rozmichuvalnykh robit pry budivnytstvi. *Scientific Bulletin of UNFU*. Lviv, 2017. № 27. P 145–150.

7. Burak K. O., Lysko B. O., Yarosh K. A. Osoblyvosti koordynatnoho zabezpechennia rozplanuvalnykh robit na budivnytstvi GNSS metodom. *Scientific Bulletin of UNFU*. Lviv, 2019. №. 29. P. 151–155.

Conferences materials:

8. Burak K. O., Lysko B. O. Vykorystannia RTN pry perenesenni v naturu proektiv horyzontalnoho planuvannia terytorii ta osei budivel ta sporud. GEOFORUM 2018: materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii. Lviv–Briukhovychi–Iavoriv, 2018. P 15–16.

9. Burak K. O., Lysko B. O. Iteratsiinyi alhorytm transformuvannia koordynat dlia rozplanuvalnykh robot pry budivnytstvi «GEOFORUM 2019» Tezy dopovidei «GEOFORUM2019». 24-ta Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia. Lviv–Briukhovychi–Iavoriv, 2019. P. 56-57

10. Burak K. O., Lysko B. O. Doslidzhennia mozhlyvostei vykorystannia GNSS sposterezhen pry inzhenerno-heodezychnykh robotakh. «Ekoheoforum-2017»: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Ivano-Frankivsk, 2017. P. 328–329.

11. Burak K. O., Lysko B. O. Influence DOP on accuracy of RTN measurements. Universum View: materialy mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii. Kramatorsk, 2018. P. 241–242.

12. Lysko B. O., Mrichko M. I. Investigation of the features of using the RTK method. Naukovi doslidzhennia: perspektyvy innovatsii u suspilstvi i rozvytku tekhnolohii: materialy VI vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kharkiv, 2017. P. 14–18.

Patent

13. Patent Ukrainy № 132779 G01C 15/10 (2006.01). Prystrii dlia tsentruvannia heodezychnykh pryladivv / K. O. Buriak, B. O. Lysko; vlasnyk Ivano-Frankivskiyi natsional. tekhn. un-t nafty i hazu. – № u201809770; zaiavl. 01.10.2018, opubl. 11.03.2019, biul. № 5. – 5 s. (Zdobuvachem zaproponovano vykorystovuvaty optychnyi tsentry u konstruktsii).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОНАННЯ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ	19
1.1. Сучасний стан геодезичних розмічувальних робіт в Україні.....	19
1.2. Проблеми та особливості виконання детальних розмічувальних робіт.....	22
1.3. Можливості застосування RTN методу для основних планових розмічувальних робіт.....	24
1.4. Перспективні напрямки вирішення задачі геодезичного забезпечення процесу планових розмічувальних робіт на будівельному майданчику.....	28
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	33
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ RTN МЕТОДУ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВНИЦТВІ.....	35
2.1. Теоретичне обґрунтування методики розпланувальних робіт за допомогою RTN спостережень.....	35
2.2. Дослідження точності побудови векторів (ліній) в залежності від взаємного розміщення референцних станцій та фізико-географічних умов району робіт.....	43
2.3. Визначення впливу технологічних параметрів на точність виконання розпланувальних робіт RTN методом.....	59
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	71
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ СТВОРЕННЯ ПЛАНОВОЇ РОЗПЛАНУВАЛЬНОЇ ОСНОВИ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ.....	73
3.1. Загальні принципи та особливості проведення планових розмічувальних робіт на будівельному майданчику.....	73

3.2	Можливості виконання детальних розмічувальних робіт з використання сучасних технологій (RTN рішень та TPS).....	80
3.3	Запропонована методика координатного забезпечення розпланувальних робіт на проммайданчику GNSS методом.....	86
3.4	Апробація методики створення планової розмічувальної мережі....	96
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	111
	РОЗДІЛ 4. ПРОБЛЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ ОПОРНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА ЧЕРВОНИХ ЛІНІЙ ЗАБУДОВИ.....	113
4.1	Трансформування координат пунктів опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови для використання RTN рішень в процесі розмічувальних робіт на будівельному майданчику.....	113
4.2	Можливості застосування альтернативних алгоритмів визначення параметрів трансформацій	119
4.3	Можливості застосування методів нелінійного програмування для визначення параметрів трансформації	127
4.4	Дослідження точності визначення параметрів трансформації	133
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	140
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	141
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143
	ДОДАТКИ	163
	Додаток А.....	164
	Додаток Б.....	166
	Додаток В.....	185
	Додаток Г.....	187
	Додаток Д.....	194
	Додаток Е.....	195
	Додаток Є.....	197

ВСТУП

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.

Перспективними, на нашу думку, при створенні зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика є використання Real Time Networks (RTN) вимірів [9, 10] (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 Антонович К.М., Ассане А.А., Бурак К.О., Власенко Є.П., Войтенко С. П., Віват А. Й., Горб А., Задемленюк А. В., Медведський Ю.В., Савчук С. Г., Тревого І. С., Третьак К.Р., Шульц Р. В., Шестаков Н.В., Ямбаев Х.К., Яндров І.О., 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 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.

Класично точність визначення віддалей приймається з похибкою у $\sqrt{2}$ менш точною, ніж координати за якими їх визначають, однак при використанні GNSS спостережень це не так. Оскільки віддалі і кути є тензорними величинами то, як доведено нашими дослідженнями, вплив систематичних похибок, пов'язаних із трансформаціями між системами координат, та викликаних атмосферними затримками, похибками зміщення ходу годинників супутника та приймача буде суттєво зменшений за рахунок компенсації їх систематичної складової.

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

Найбільш близькими до виконаних досліджень є роботи Яндрова І.О., але вони виконані більше десяти років тому, коли мережі референцних 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 цій роботі запропоновані алгоритми, методики та технологічні рішення для підвищення ефективності виконання розпланувальних робіт із використанням RTN методу. Запропоновані 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 госпдогвірною 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 промайданчика.

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 неспіввідповідності 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 (промайданчика).

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 (промайданчика), 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 співвідносності 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 статті 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 найменування та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок, містить 27 рисунків та 24 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОНАННЯ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

1.1 Сучасний стан геодезичних розмічувальних робіт в Україні

Як відомо, сукупність геодезичних робіт на місцевості з перенесення проекту споруди в натуру називають розмічуванням. За своїм змістом і методам розмічувальні роботи протилежні знімальним, але значно точніші за них. Геодезичні розмічувальні роботи є складовою частиною будівельно-монтажного виробництва. Розрізняють планові та висотні розмічування споруд, в які входять основні і детальні розмічувальні роботи.

Розмічувальні роботи – це комплексний, взаємопов'язаний процес, який є невід'ємною частиною будівельного виробництва. Тому організація і технологія розмічувальних робіт повністю залежить від точності винесення в натуру будівельних осей [6, 10, 19, 20, 24].

Існуючі традиційні методики геодезичного забезпечення точності при зведенні будівельних об'єктів, як правило, полягають у використанні класичних топографо-геодезичних приладів і пристосувань до них [3, 4, 11, 40, 55, 56].

Для виконання розмічувальних робіт застосовують способи: прямокутних і полярних координат, кутової, лінійної і створної засічок, створено лінійний метод і метод бічного нівелювання.

В літературі [12, 13, 26, 27, 34, 93-97,] зустрічаються рекомендації щодо застосування нових методів розмічувальних робіт (метод незалежних базисів, координатний метод), однак на практиці ці методи внаслідок деяких особливостей не використовуються повною мірою в ряді випадків.

Згідно навчального посібника [15], геодезичні розмічувальні роботи виконуються, як і геодезичні вимірювання за принципом від загального до часткового, однак при розмічувальних роботах точність наступних етапів

повинна підвищуватись. Виділяють основні та детальні, планові і висотні геодезичні розмічувальні роботи. Відповідно, розмічування споруди на місцевості виконується в декілька етапів.

На першому етапі виконують основні планові розмічувальні роботи – створюють на будівельному майданчику геодезичну розмічувальну основу і виносять та закріплюють на місцевості положення головних осей і тим самим визначають загальне положення контуру споруди на місцевості.

На другому етапі виконують детальне розмічування споруд – винесення основних (якщо раніше були винесені головні), детальних і монтажних осей, а також інших видів робіт для визначення у плані положення елементів і вузлів будівельних конструкцій. Залежно від стадії виконання будівельних робіт розмічають поздовжні та поперечні осі елементів, блоків, закладних частин, встановлюють "висотні маяки" на монтажних горизонтах. Також визначають планове та висотне положення характерних точок елементів споруди, контролюють монтаж елементів конструкцій у плані за висотою та вертикаллю.

Третій етап – розмічування монтажних осей – виконується після закладки фундаментів. На цьому етапі, як правило, виконують геодезичні роботи найвищої точності, яка визначається проектом монтажу устаткування.

Точність розмічувальних робіт підвищується від етапу до етапу. На жаль, в новому нормативному документі [19, 20] цей принцип чітко не прописаний. На першому етапі для вписування загальних контурів споруди достатня точність в межах декількох сантиметрів. Згідно з чинними нормативними документами [19, 20], головні осі можуть бути визначені на місцевості з похибкою 3–5 см, а іноді і менш точно. На другому і третьому етапах детальне розмічування виконують з вищою точністю, таким чином основні і детальні осі розмічаються з точністю 2–3 мм, а то і точніше. Після завершення будівництва фундаментів розмічають і закріплюють монтажні (технологічні) осі. Цей етап вимагає найвищої точності геодезичних вимірів (1 – 0,1 мм і точніше). Це обумовлено тим, що споруду звичайно зводять індустріальними методами з

наперед виготовлених збірних деталей. Геодезичне розмічування повинне забезпечити повне складання споруди – строге сполучення всіх його частин відповідно до геометричної схеми. Таким чином, монтажні осі обов'язково розмічаються тільки від однієї осі, прийнятої за вихідну.

Теорія розпланувальних [4], чи, згідно з новим нормативним документом [19], розмічувальних робіт розроблялись і вдосконалювались протягом останніх ста років. Аналіз науково-технічної літератури [22, 36, 50, 52, 61, 62, 82] та практичного досвіду показав, що застосування традиційних геодезичних приладів та технологій не завжди здатне сьогодні забезпечити якісний і оперативний геодезичний супровід на всіх етапах розмічувальних робіт житлової інфраструктури, особливо з врахуванням вимог щодо скорочення термінів будівництва. Все це зумовлює необхідність вдосконалення існуючих та розробки нових методів геодезичного забезпечення будівництва, які будуть задовольняти нормативні вимоги точності та високі темпи будівництва.

Альтернативою існуючим методам можна вважати ті, що пов'язані з використанням електронних тахеометрів, які працюють у безвідбивачевому режимі та супутникові геодезичні приймачі GNSS, які позбавлені низки недоліків (спадковості та накопичення похибок при переході від вищої до нижчої ступені мережі) традиційних методів.

Перспективними, на нашу думку, при створенні зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика є використання RTN вимірів (із мережами референцних станцій), про які навіть не згадується в чинних, найбільш сучасних нормативних документах, хоча переваги RTN методу (виміри можна виконувати одним приймачем, одержувати результати без постопрацювання практично за секунди тощо) є очевидними. Детальні ж розпланувальні роботи (винесення основних, детальних і монтажних осей) доцільно виконувати сучасними TPS за типовою схемою (у режимі вимірів відносно базової лінії), яка дає змогу позбутися похибок вихідних даних,

опираючись на пункти попередньо винесені RTN методом. У бібліотеках прикладних програм деяких сучасних ЕТ (електронний тахеометр) є відповідне програмне забезпечення, яке цей режим підтримує. Проте в літературі відсутні формули для оцінювання точності таких вимірів і, відповідно, наукове обґрунтування сфери і методики їх використання.

Детальні висотні розмічувальні роботи полягають у встановленні на проектні висоти елементів конструкцій будинків і споруд при монтажі. Їх виконують від існуючих висотних реперів або закріплених точок «будівельного нуля». На монтажних горизонтах (перекриттях поверхів) висотні розмічування виконують відносно робочих реперів або "висотних маяків". Основні проблеми цього виду геодезичних робіт були ґрунтовно розв'язані у ряді наукових робіт, в основу яких покладено використання сучасних технологій як GNSS методів [10, 112-114, 135] так і спеціалізованих електронних тахеометрів, що працюють в парі зі зворотними висками.

1.2 Проблеми та особливості виконання детальних розмічувальних робіт

На забудованій території осі будинків і споруд розмічають відносно червоних ліній. Червоною лінією називається умовна лінія, яка проходить по зовнішній стороні фасадів будинків, обернених до проїзної частини (вулиці). Відносно червоної лінії фасади будинків можна зміщувати лише всередину території кварталів, але вони не можуть виступати за неї в бік проїзної частини. Розміщення червоної лінії встановлюється архітектором проекту чи відповідними архітектурними службами міста і відображається на генплані.

Винесені на місцевості головні чи основні осі закріплюють постійними знакам – по два знаки з кожного боку.

Згідно з діючими нормативними документами [19, 20], лінії забудови (головні осі будівель) рекомендується переносити в натуру від пунктів опорної геодезичної мережі і, або червоних ліній забудови, закріплених

на місцевості, із похибкою в положенні осей 50-80 мм в залежності від типу забудови. Проект червоних ліній може складатись навіть у масштабі 1:2000 [4]. В той же час, значно ускладнює виконання розпланувальних робіт те, що на практиці похибки винесених червоних ліній можуть перевищувати допустимі 0,05 м при необхідності забезпечити взаємне положення пунктів основних осей з похибкою 2–3 мм [19, 20]. Це приводить до необхідності подальшого редукування положення пунктів, які закріплюють основні осі.

При горизонтальному плануванні складають проект розміщення всіх будівель і споруд, укладання транспортних і інших комунікацій. З цією метою спочатку на плані проектують систему ліній регулювання забудови, за яку не повинна виходити жодна з будівель, що зводиться, а при проектуванні житлових масивів – систему червоних ліній, які відділяють території кварталів від вулиць та проїздів. Положення червоних ліній визначається координатами вузлових точок, дирекційними кутами і відстанями між точками. Важливим фактором є те, що взаємне розміщення і розміри будівель, визначені в системі координат генплану безпомилкові, а координати пунктів особливо червоних ліній і навіть пунктів геодезичної основи відомі з певною точністю і можуть містити навіть грубі похибки. Всі ці проблеми необхідно враховувати при виконанні основних та детальних планових розмічувальних робіт. Особливо дана проблематика актуальна для спорудження будівель складної конфігурації з огляду на їх унікальність і складність. Проектанти вимагають підвищеної точності у виконанні геодезичних розпланувальних робіт.

Існуючі традиційні способи розмічування планового положення проектних точок (полярних координат, прямокутних координат, прямої кутової засічки, лінійної засічки та редукування) базуються на застосуванні класичних топографо-геодезичних приладів і пристосувань до них [12]. Точність розмічувальних робіт визначається різними джерелами помилок і залежить від геометрії застосованого способу, методики виконуваних робіт і точності приладів. Однак найбільший недолік описаних способів полягає у спадковості

похибок координат вихідних пунктів при винесенні проектних точок на будівельному майданчику.

Сучасні наукові розробки та практичний досвід, накопичений в області розмічувальних робіт на будівництві, дозволяє вважати їх на сьогоднішній день досить складними як в організаційному плані, так і стосовно високих вимог до точності їх виконання. Потрібно підкреслити, що для складних за конфігурацією сучасних будівель або комплексів, що споруджуються з монолітного залізобетону, може бути запропонований спосіб вимірювання відносно базової лінії, причому не тільки для виносу основних осей, але і для виконання всіх розпланувальних робіт, в тому числі й монтажу будівельних конструкцій.

Частково проблему грубих похибок в координатах пунктів червоних ліній можна вирішити використовуючи метод найменших квадратів для зрівнювання мережі, однак особливістю даного методу є те, що він розділяє помилки між всіма точками мережі і не несе суттєвого підвищення точності для мережі в загальному [86, 87]. Тому було розроблено та досліджено алгоритм, який, окрім трансформування координат з системи координат генплану в ортогональну проекцію на горизонтальну площину у прямокутній декартовій системі координаті навпаки, мінімізує вплив 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.

1.3 Можливості застосування RTN методу для основних планових розмічувальних робіт

При проектуванні великого комплексу споруд та промислових об'єктів використовують умовну систему плоских прямокутних координат [56-59] (в подальшому генплану), в якій осі абсцис і ординат розташовують паралельно

головним осям майбутніх споруд або червоним лініям. Дана система координат є досить зручною з точки зору спрощення розрахунків для виносу осей споруд і підземних комунікацій. Зазвичай саму систему умовних координат виносять і закріплюють на місцевості в підготовчий період будівництва як будівельну сітку.

Будівельна сітка являє собою систему прямокутників і квадратів, вершин котрих закріплені на місцевості твердими (постійними) знаками. Її проектують на генплані будівництва. Для цього спочатку будують дві взаємно перпендикулярні осі, паралельні головним осям проєктованих споруд. Потім на осях будують сітку квадратів з довжиною сторін 50, 100 або 200 м. Для кожної із вершин квадратів будівельної геодезичної сітки визначають координати.

Форма будівельної сітки та розміри сторін залежить від призначення, типу об'єкту, особливостей рельєфу на проммайданчику, а також від щільності існуючої забудови. Напрямок осей координат обирають паралельними лініям будівельної сітки, а початок координат таким, щоб всі пункти мали позитивні координати (часто за початок координат умовно приймають південно-західний кут будівельної геодезичної сітки).

Для винесення в натуру сітки одну лінію прив'язують до пунктів геодезичної опори [15] і закріплюють на місцевості. Потім будують в точці початку відліку дві взаємно перпендикулярні лінії і від цих ліній розбивають сітку. По вершинах сітки прокладають полігонометричні ходи для визначення уточнених координат та проводять їх редукування. Після цього закріплюють пункти бетонними знаками.

Наявність будівельної сітки дещо спрощує виконання розмічувальних робіт з перенесення проєкту на місцевість, однак її створення, як це було вище описано, є доволі клопітким та часозатратним процесом. В сучасних реаліях, коли все частіше проявляється тенденція до зведення цілих житлових масивів із висотними будівлями складної конфігурації, що мають нетипові поверхи і елементи конструкцій різних форм, створення будівельної сітки не є доцільним.

При створенні розмічувальної мережі на будівництві, де основною вимогою при геодезичних роботах є забезпечення максимальної точності проектних довжин сторін та напрямків. Забезпечення необхідної точності виконання вишукувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт для будівництва, є відповідальним та трудомістким процесом. Також додаткової незручності додає наявність декількох систем координат, так всі елементи будівництва відомі згідно генплану у проектній системі, координати опорних пункти або існуючі будівлі в раніше прийнятих місцевих системах координат або системі координат СК-63, що значно ускладнює створення зовнішньої та внутрішньої розмічувальної мережі на будівництві.

При використанні GNSS вимірів використовуються такі системи координат:

- з просторовими прямокутними координатами X , Y , Z (вісь Z співпадає з віссю обертання еліпсоїда, вісь X лежить в площині нульового меридіану, а вісь Y доповнює систему до правої; початком системи координат є геометричний центр еліпсоїда);
- з геодезичними (еліпсоїдальними) координатами: широтою - B , довготою - L , висотою - H ;
- з прямокутними в проекції Гаусса-Крюгера та поєднанні з нормальною висотою координати (УСК-2000 та похідні від неї 26 місцевих систем координат).

Очевидно, що ідеальною математичною основою для геодезичного забезпечення окремого будівельного майданчика є ортогональна проекція на горизонтальну площину у прямокутній декартовій системі координат. При цьому у виміряні величини не вводять поправки переходу на поверхню відносності та на площину проекції Гаусса-Крюгера, однак дану особливість практично важко реалізувати на практиці через необхідність двоетапної трансформації.

Для уникнення редукування на площину довжин геодезичних ліній при розплануванні головних осей знаходять геометричні елементи мережі за координатами у прямокутній геоцентричній системі координат.

У роботі [114], для створення опорної геодезичної мережі на будівельному майданчику, пропонується виносити в натуру два базиси АВ та CD за допомогою RTN методу таким чином, щоб вони були паралельними осям координат x та y генерального плану, на якому запроектовано об'єкт. Далі, опираючись на попередньо винесені пункти за допомогою ЕТ [6], виконувати основні і детальні розмічувальні роботи (винесення головних, основних детальних і монтажних осей, а також інших видів робіт для визначення у плані положення елементів і вузлів будівельних конструкцій) безпосередньо у системі координат генплану.

В діючих нормативних документах [19, 20] лінії забудови (головні осі будівель) рекомендується переносити в натуру із похибкою положення осей 50-80 мм в залежності від типу забудови. В більш строгих радянських нормативних документах (СНиП) йдеться про те, що точність взаємного розташування суміжних пунктів не повинна перевищувати відносну похибку 1:20000 [38]. Тобто, при винесенні базисів завдовжки 200 м точність взаємного розташування пунктів не повинна перевищувати 10 мм.

Згідно з проведеними дослідженнями [7, 8, 10, 111-116], гарантована споживачам мереж референцних станцій взаємна точність винесення координат пунктів в стандартному RTN режимі з використанням віхи для встановлення GNSS антени не перевищує 2 см, а при використанні створеного приладу для центрування GNSS антени [59], загальна похибка розмічувальних робіт склала $m_p = 4,3$ мм.

Таким чином, експериментально одержана точність розпланувальних робіт RTN методом достатня для розмічування головних осей споруд відносно пунктів геодезичної основи і червоних ліній забудови.

Виконання основних планових розмічувальних робіт (винесення опорної геодезичної та головних осей будівництва) GNSS приймачем має ряд переваг порівняно із класичними методами. Зокрема, на взаємну точність винесення елементів супутниковими методами не впливають технічні похибки, притаманні класичним методам, наприклад, похибки центрування приладу, візирних цілей, вихідних даних та власне розмічувальних робіт [12, 40, 82]. Розмічувальні інженерно-геодезичні роботи можна продовжити виконувати навіть через тривалий термін (декілька місяців) за умови дотримання подібних технологічних параметрів. Ці параметри порівняно просто прогножуються за допомогою спеціалізованих інтернет-ресурсів (наприклад, у вільному доступі GNSS Planning [126]) та запропонованого у роботі [8] регресійного рівняння, що дозволяє попередньо розрахувати точність виконання таких робіт. Також потрібно відзначити швидкість та простоту виконання даної роботи, яка при використанні GNSS приймача разом із приладом для центрування GNSS антени [59] не тільки зводиться до однієї дії, але й підвищує точність центрування приладу (свідчення на корисну модель подано в додатку Г). Також автоматично виконується умова діючих норм [19, 20], що всі елементи будівництва повинні мати координати в державній геодезичній мережі України, шляхом перерахунку координат із просторової системи координат до УСК-2000.

1.4 Перспективні напрямки вирішення задачі геодезичного забезпечення процесу планових розмічувальних робіт на будівельному майданчику

Проведений аналіз відомих наукових розробок та практичний досвід, накопичений в області розмічувальних робіт в будівництві, дозволяє вважати їх на сьогоднішній день досить складними як в організаційному плані, так і по відношенню до високих вимог до точності їх виконання.

На підставі вищевикладеного матеріалу в попередніх пунктах, можна зробити висновок про те, що методика й технологія сучасних методів розмічувальних робіт вимагає врахування багатьох чинників та вирішення цілого комплексу проблем.

При сучасних темпах будівництва будівель складної конфігурації, що потребують швидкого проведення геодезичних розмічувальних робіт, використання класичних розмічувальних методів є недоцільними. З огляду на особливу відповідальність, результати розпланувальних робіт в обов'язковому порядку контролюються в процесі виконавчих зйомок. Причому виконавчі зйомки повинні не тільки описувати фактичний стан об'єкта будівництва або його окремих конструктивних елементів, а й служити регулятором всього процесу будівництва.

В умовах інтенсивного ведення будівельних робіт і завантаженості будівельного майданчика закріплені на місцевості осі часто втрачаються.

Відновлення осей може бути досягнуто різними шляхами. Знаючи координати характерних точок осей і елементів конструкцій, їх можна відновити створенням різних лінійно-кутових побудов від "твердих" геодезичних пунктів, закріплених поблизу території будівництва [40, 98-100]. Але в такому випадку за результатами відповідної аналітичної підготовки необхідно визначити всі геодезичні елементи (це не тільки кути і відстані, але і безпосередньо самі координати).

Одним з основних завдань в сфері геодезичного забезпечення будівництва є впровадження сучасних геодезичних приладів та технологій [22, 79, 109, 110, 132, 138-143]. До найбільш сучасних та одночасно найбільш поширених геодезичних приладів належать електронні тахеометри, що працюють в режимі без відбивача, та супутникові геодезичні приймачі GNSS (ГЛОНАСС, GPS, Galileo та інші), налаштовані на RTN метод і відповідного програмного забезпечення, які в сучасних реаліях швидко

окупуються і дають великі переваги у виконанні геодезичних розмічувальних робіт [45-48, 66-73].

Потенційні можливості сучасних GNSS та мереж референцних станцій відкривають широкі можливості їх використання в різноманітних напрямках людської діяльності. Використання псевдофазових вимірів дозволяє розширити функціональні можливості навіть в такому напрямку, як геодезичне забезпечення розпланувальних та розмічувальних робіт на будівництві.

Враховуючи на стрімкий розвиток сектору GNSS та постійне підвищення точності отриманих результатів на основі використання RTN технологій, то перспективною є розробка методів геодезичного забезпечення будівництва даними методами. Для успішного виконання даного виду робіт RTN методами, необхідно розробити теоретичне обґрунтування та провести експериментальні дослідження.

Варто підкреслити, що впровадження нових методів і засобів геодезичних вимірювань повинно супроводжуватися і новою методикою опрацювання результатів вимірювань. Тільки комплексне вирішення завдання дозволить досягти максимальної ефективності та відповідатиме сучасним вимогам нормативних документів.

Все вищесказане визначає пошук нових рішень виконання розпланувальних робіт, а також необхідність розв'язувати принципові проблеми розмічувальних робіт.

Потрібно підкреслити, що для сучасних будівель складної конфігурації, що зводяться з монолітного залізобетону, може бути використана запропонована методика, причому не тільки для виконання всіх планових розмічувальних робіт, але й 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 розроблено та досліджено алгоритм трансформування координат пунктів, який необхідно застосовувати. Для забезпечення максимальної точності взаємного розміщення

пунктів рекомендовано виконувати перерахунок координат методом ітерацій, а для одержання мінімального відхилення від істинних координат у державній геодезичній мережі використовувати метод найменших квадратів.

Відповідно до діючих нормативних документів, контурні лінії забудови (головні та основні осі будівель) рекомендується переносити в натуру від пунктів опорної геодезичної мережі і, або червоних ліній забудови, закріплених на місцевості, із похибкою в положенні осей 50-80 мм в залежності від типу забудови. Проект червоних ліній може складатись навіть у масштабі 1:2000 [4]. В той же час взаємне положення пунктів, які закріплюють основні осі, повинно бути визначене з похибкою 3-5 мм [19, 20]. Це приводить до необхідності подальшого редукування положення пунктів, які закріплюють основні осі. Тому в роботі [114] пропонується, опираючись на координати поворотних точок червоних ліній і, або пунктів опорної геодезичної мережі, спочатку виносити два опорних базиси RTN методом, таким чином, щоб їх пункти співпадали з головними осями будівельного майданчика та наступним розмічуванням всіх елементів будівлі електронним тахеометром відносно базової лінії.

При застосуванні методу, який базується на використанні RTN рішень, необхідно мати координати пунктів в системі, з якою безпосередньо працює GNSS приймач, а не в системі координат генплану. Для цього необхідно на точках контурів забудови, що мають координати в системі генплану, виконати RTN вимірювання перейти до горизонтальної проекції, після чого знайти параметри переходу між двома прямокутними декартовими системами координат. Існує декілька робіт, в яких розв'язується ця задача, як класичним методом найменших квадратів, так і з використанням методу нелінійного програмування [9, 112, 115], який дозволяє розв'язувати цю задачу шляхом мінімізації максимального відхилення. Проте в цих роботах не розглядається проблема відбракування грубих похибок. В той же час, значно спотворює одержані параметри трансформації навіть і те, що середньо квадратичні

похибки винесення червоних ліній допускаються до 0,05 м, а визначення їх координат GNSS приймачем не нижче 0,02-0,03 м при необхідності забезпечити взаємне положення пунктів основних осей з похибкою 3-5 мм. Тому був розроблений алгоритм, який вирішує цю задачу шляхом забезпечення оптимальної співвісності координат пунктів з можливістю відбракування грубих похибок та виконано його експериментальне дослідження.

Після перерахунку всіх елементів будівництва за попередньо отриманими параметрами трансформації виконуються розпланувальні роботи. Для побудови опорної геодезичної мережі на будівельному майданчику пропонується 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 [6], електронним тахеометром виносити осі використовуючи спосіб відносно базової лінії. Для розв'язання задачі в цьому випадку достатньо знати тільки координати x та y однієї точки базису та задати дирекційний кут лінії 0° чи 90° . Хоча теоретично всі розпланувальні роботи можна виконати і з одного базису, ми рекомендуємо закласти мінімум два і більше, щоб забезпечити видимість на всьому об'єкті з врахуванням ймовірної втрати пунктів під час будівельних робіт.

Беручи до уваги те, що при розмічувальних роботах GNSS спостереження виконуються на невеликій віддалі один від одного (максимум до 100 м) то пункти будуть знаходитися в одних іоносферних умовах, та спостерігатись одні й ті ж самі супутники. Це дає можливість стверджувати, що вплив похибок, викликаних атмосферними затримками та зміщенням ходу годинників супутника і приймача буде суттєво зменшений за рахунок компенсації їх систематичної складової, що суттєво покращить взаємну точність винесених базисів, що було детально досліджено та описано в роботах.

Необхідно підкреслити, що запропонована методика планових розмічувальних робіт та алгоритми трансформування координат пунктів із

відбракуванням найслабших точок в мережі повною мірою відповідають вимогам сучасного будівництва.

Запропоновані технологічні рішення [111-115] дозволяють виконувати основні розмічувальні роботи (винесення опорної геодезичної мережі та головних осей будівництва) без взаємної видимості між пунктами за допомогою RTN рішень, однак із дотриманням технологічних рекомендацій. Відповідно до діючих нормативних документів про необхідність підвищення точності при переході від вищого ступеня до нижчого, пропонується виконувати детальні розпланувальні роботи за типовою схемою (у режимі виміру відносно базової лінії), яка дає змогу позбутись похибок вихідних даних та виносити в натуру втрачені елементи будівництва від пунктів опорної мережі без суттєвої втрати точності із уже існуючими елементами.

Таким чином, при зростаючих вимогах до точності виносу будівельних конструкцій, які закладаються в проект виробництва геодезичних робіт, запропонована методика вирішує проблему можливих помилок вихідних даних і виконує оцінку точності визначених параметрів на всіх етапах геодезичних робіт.

Однак, навіть при використанні сучасних приладів і методів розмічувальних робіт, виникають деякі складнощі і проблеми.

Отже, метою дисертаційної роботи є створення обґрунтованої методики виконання планових геодезичних розмічувальних робіт при будівництві багатофункціональних висотних будівель, які будуть задовольняти не тільки вимоги проектної документації та будівельних норм, але і високі темпи будівництва.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Виконано огляд існуючих методів створення планової розмічувальної основи на будівництві, на основі якого встановлено їх переваги та недоліки, характеристики точності і ефективність їх застосування в умовах сучасного будівництва.

2. Запропоновано альтернативні методи пошуку параметрів трансформації між прямокутними ортогональними системами координат із зменшенням впливу систематичних похибок у вихідних даних на точність результатів трансформування елементів будівництва.

3. Проаналізовано, застосування класичних методів виконання основних та детальних розмічувальних робіт на будівництві та показано, що воно не є ефективним і вимагає розробки нових методів опрацювання, оскільки не забезпечують якісний та оперативний геодезичний супровід на всіх етапах розмічувальних робіт житлової інфраструктури, особливо з врахуванням вимог щодо скорочення термінів будівництва.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ RTN МЕТОДУ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ НА БУДІВНИЦТВІ

2.1. Теоретичне обґрунтування методики розпланувальних робіт за допомогою RTN спостережень

На сьогоднішній час існує велика кількість наукових праць присвячених вимірюванню в RTN режимі, головною метою яких є аналіз точності визначення координат точок [17, 18, 23, 33, 77, 81, 84, 102-109] та вплив на неї природних і механічних факторів [28-32, 37, 74-76, 101, 134, 160]. У той же час, для потреб інженерної геодезії є необхідність визначення віддалей та кутів [16, 41-44, 85], які є складовою можливістю при використанні RTN методу для вишукувальних та розмічувальних робіт. Тому доцільно дослідити використання GNSS спостережень для цього типу задач.

Класично точність визначення координат приймається в $\sqrt{2}$ точнішою, ніж віддалей [4], однак при використанні RTN методу це не так. В методиках диференціального та відносного позиціонування використовують не менше двох приймачів А та В, для яких координати опорного пункту А, або мережі станцій (у разі RTN спостережень) відомі. Для визначення абсолютного положення мобільного модуля диференціальне позиціонування застосовує корекції псевдовіддалі, екстрапольовані на певний момент часу t , а відносне позиціонування використовує одночасні виміри на мобільному модулі, координати якого необхідно визначити, та мережею станцій для обчислення векторів поправок базису b_{AB} . Таким чином, точність отриманих результатів залежить від зміщення ходу годинників супутника і приймача $t - t_0$.

Для одержання залежних від місцеположення векторів поправок мережа станцій стеження неперервно відслідковує усі супутники у зоні видимості.

Використання двочастотних приймачів дає змогу визначити вплив іоносферної рефракції для цілої зони покриття референцних станцій.

На основі відкоригованих даних, у яких враховано вплив іоносферних затримок на базових станціях, знаходиться поправки потрібні для коректної роботи приймача. Після цього визначають орбітальні корекції та зміщення ходу годинників для кожного супутника, що відстежується. Орбітальні корекції супутника подаються у вигляді тривимірного вектора різниці, що пов'язує «істинне» положення супутника, яке знайдено як розв'язок для мережі, із параметрами орбіти, що подані у трансляціях ефемерид. Ці корекції властиві лише супутникам і не залежать від розташування користувача. Іоносферні дані корекції моделюються для рівномірної сітки над зоною покриття, що складається із сукупності іоносферних вузлових точок. За цими точками шляхом інтерполяції визначається іоносферна корекція для кожного із векторів між супутником та місцем розташування користувача.

Із викладеного вище матеріалу можна зробити висновок, що взаємна точність визначених (при вишукувальних роботах) чи винесених (при розпланувальних роботах) елементів на місцевість завжди вища за планову в тій чи іншій системі координат. Це пояснюється тим, що вплив систематичних похибок, пов'язаних із перетворенням системами координат на тензорні величини значно послаблений, що було доведено у статтях [10, 111-115]. Таким чином, якщо одним GNSS приймачем визначити координати двох точок за відносно нетривалий проміжок часу, то на визначення параметрів вектора, який ці точки визначає, вплив похибок, викликаних атмосферними затримками та похибками зміщення ходу годинників супутника і приймача, буде зменшений за рахунок компенсації їх систематичної складової. Також це пояснюється тим, що при використанні відносного режиму GNSS на основі фазових псевдовіддалей виконується просторова кореляція орбітальних та іоносферних похибок. Це дозволяє забезпечити високу точність визначення координат шляхом компенсації таких похибок як тропосферної $\Delta\rho_k^{trop}$ іоносферної $\Delta\rho_k^{ion}$

затримки, орбітальної похибки $\Delta\rho_k^{orb}$ та похибок, викликаних зміщенням ходу годинників супутника Δt і приймача ΔT_k , які частково усуваються при формуванні рівнянь першої, другої та третьої різниць фазових псевдовіддалей відповідним програмним забезпеченням Центру опрацювання інформації мережі. Тому при оцінці точності визначення координат окремих пунктів мережі, наприклад, в [33,105], рекомендується для фазової псевдовіддалі користуватись формулою:

$$\Phi_{r,i}^{jk} = \rho_k^{ij} + \lambda(N_k^i - N_k^j) + \varepsilon_k^\Psi, \quad (2.1)$$

де ρ_k^{ij} – геометрична віддаль;

λ – довжина хвилі;

$(N_k^i - N_k^j)$ – різниця несучих фаз;

ε_k^Ψ – похибка зумовлена фазовим шумом приймача та явищем багатопотоковості.

Для уникнення редукування довжин геодезичних ліній при виконанні експериментальних досліджень геометричні елементи мережі обчислювались за координатами у прямокутній геоцентричній системі координат WGS-84 та у подальшому за відомими формулами знаходили віддаль між точками

$$P'_i = \begin{bmatrix} -\sin B_i \cos L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \\ -\sin L_i & \cos L_i & 0 \\ \cos B_i \cos L_i & \cos B_i \sin L_i & \sin B_i \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Розраховане значення матриці перетворення P'_i використовується для обчислення топоцентричних координат

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{bmatrix} = P'_i \begin{bmatrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{bmatrix}. \quad (2.3)$$

За топоцентричними декартовими координатами пунктів обчислено значення топоцентричних полярних координат у цих точках, після чого знайдемо віддаль

$$S_{ij} = \sqrt{x'_i{}^2 + y'_i{}^2 + z'_i{}^2}. \quad (2.4)$$

Для забезпечення контролю вимірювань віддаль між двома точками також знаходили у за просторовими прямокутними координатами X, Y, Z.

В результаті виконаних обчислень можна стверджувати, що взаємна точність винесення пунктів за допомогою RTN рішень без внесення поправок за перехід до трьохградусної зони проекції Гауса-Крюгера у віддалі не перевищить 3 см. Дана точність дозволяє виконувати головні розмічувальні роботи, а саме виносити на будівельному майданчику осі симетрії, або як описано в роботі [114] - опираючись на координати поворотних точок червоних ліній і, або пунктів опорної геодезичної мережі, спочатку виносити два опорних базиси RTN методом таким чином, щоб їх пункти співпадали з головними осями генплану та наступним розмічуванням всіх елементів будівлі відносно цих базисних ліній електронним тахеометром. Для контролю віддаль базису одержану тахеометром слід порівнювати із геодезичною лінією обчисленою за формулою (2.12) із прямокутних геоцентричних координат.

Через вплив різних факторів і при розпланувальних роботах виникає ряд похибок в координатах точок, які звичайно групують у такий спосіб: систематичні $\sigma_{\text{сист.}}$, випадкові $\sigma_{\text{вип.}}$. При роботі із GNSS приймачем можна виділити ще один ряд похибок, які залежать від супутникового сузір'я, з яким працює приймач, характерною особливістю яких є те, що вони повторюються в часі: кількість супутників та їх геометричне розміщення і, можливо, тропосферна затримка $\Delta\rho_k^{\text{trop}}$. Назвемо їх умовні $\sigma_{\text{ум.}}$.

До $\sigma_{\text{сист.}}$ відносять [28-31, 42, 83, 101, 130, 134], похибки викликані зміщенням ходу годинників супутника Δt і приймача ΔT_k , іоносферної $\Delta\rho_k^{\text{ion}}$ затримки, орбітальної похибки, яка зумовлена неточними значеннями ефемерид орбіти k -го супутника $\Delta\rho_k^{\text{orb}}$, та похибок, які виникли при перерахунку координат із WGS 84 в плоску прямокутну систему координат генерального плану.

До $\sigma_{\text{вип.}}$ відносять [37, 76, 77, 83, 84, 137, 150] похибку, зумовлену фазовим шумом приймача та явищем багатопотоковості ε_k^Ψ .

Таким чином, точність виміру координат конкретної точки буде залежати від таких похибок

$$\sigma = \sigma_{\text{сист.}} + \sigma_{\text{вип.}} + \sigma_{\text{ум.}} \quad (2.5)$$

Дане припущення (2.5) є справедливим, якщо RTN вимірювання виконуються на одному і тому ж об'єкті

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (2.6)$$

S є функцією координат вершин двох точок

$$S = g(X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2). \quad (2.7)$$

Як відомо, СКП функції буде рівна сумі квадратів знайдених частинних похідних по кожній змінній, помножений на їх середні квадратичні похибки. Звідси отримаємо

$$\sigma_S^2 = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{X_i}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial Y_i} \right)^2 \sigma_{Y_i}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)^2 \sigma_{Z_i}^2 \right]. \quad (2.8)$$

Випадкові похибки ми не можемо спрогнозувати, оскільки явище багатопроменевості повністю залежить від навколишнього середовища, яке є індивідуальним для конкретного об'єкта чи навіть його ділянки, а фазовий шум приймача буде залежати не тільки від марки і моделі приймача, але і від партії.

Беручи до уваги те, що в залежності від поставленої задачі, є необхідність визначення геометричних параметрів таких, як віддалі та кути. Ці параметри є тензорними величинами, тому вплив систематичних похибок, пов'язаних із трансформуванням координат, іоносферними затримками, похибками зміщення ходу годинників супутника та приймача буде суттєво зменшений за рахунок компенсації їх систематичної складової [10, 16, 23, 111 – 116, 18, 85].

На практиці дану особливість можна використовувати при розв'язанні таких інженерних задач, як геодезичні розпланувальні роботи при винесенні головних осей споруд та пунктів геодезичної основи. Це пояснюється тим, що GNSS виміри виконуються на невеликій віддалі один від одного (близько 100 м) та через нетривалий проміжок часу, а вимірювання виконувалися одним і тим же приймачем, що позитивно впливає на точність вимірювань.

На даний час існує декілька підходів до відносного позиціонування – це класичний RTK та два рішення, які використовують мережі станцій VRS та RTN. Розглянемо особливості даних підходів для оптимального розв'язання задачі розмічувальних робіт.

Традиційно RTK застосовується на коротких базових лініях, що включають одну опорну станцію та один приймач, використовуючи подвійне диференціювання даних отриманих із GNSS та застосовуючи певну методику розв'язання неоднозначності. Звичайний діапазон RTK обмежений, тому що атмосферні та орбітальні похибки зростають з вихідною довжиною. В цьому полягає основна мотивація використання мережі базових станцій: моделювати та корегувати залежні від дистанції помилки, що зменшують точність звичайного RTK.

RTK дані опрацьовують на базовій станції, після чого відправляються на ровер, він обчислює різниці псевдофаз шляхом вимірювання несучої фази, яка містить супутниковий сигнал для того, щоб оцінити свою позицію. Однак із збільшенням базової довжини зростає кількість помилок (через вплив атмосфери і орбіти), що у свою чергу прямо впливає на точність отриманих даних. Це обмежує ефективний діапазон використання RTK методу до 20–30 км. Однак помилки, які залежать від віддалі можуть бути точно змодельовані шляхом аналізу вимірювань масиву опорних GNSS станцій навколо ровера. Таким чином, ефективний діапазон позиціонування результатів RTK може бути значно розширений, що і відбувається при використанні методів, що базуються на використанні мережі станцій.

Мережеві методи є логічним продовженням систем вимірювання у режимі реального часу, які значно розвинулись за останні роки. Ряд комерційних підприємств за останні роки розгорнули на території України мережу базових станцій, які використовують дві частоти при вимірах псевдовіддалей та моделюванні похибок. Технологія полягає в створенні регіональних мереж постійно діючих базових GNSS станцій і засобів зв'язку для передачі даних від мережі до користувача, свого роду єдиний технологічний комплекс. Відповідно до комерційних пропозицій цих фірм, RTN метод може забезпечити сантиметрову – точність в реальному часі на лінії довжиною до навіть до 1000 м, що робить його дуже економічним методом.

В основі даного методу лежать дві основні вимоги. По-перше, позиції опорних станцій повинні бути точно відомі, принаймні на рівні одного сантиметра. Даний рівень точності позиціонування легко забезпечується довготривалістю спостереження на опорних станціях та постобробкою даних. Друга вимога включає в себе моделювання залежних від дистанції помилок та виявлення мережевих виправлень. Дані поправки передаються на GNSS приймач для виконання корекції його позиції. Із цією метою центр опрацювання результатів спостережень моделює помилки, обчислює

коригувальну інформацію та передає її приймачам, які в свою чергу використовують дані для визначення їх місцезнаходження.

Різні виробники пропонують дещо різні концепції для RTN. За літературними джерелами [171] 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 способом, начебто він працює із реальною базовою станцією. Цей підхід вимагає великої щільності опорних станцій в області зони покриття.

Натомість Leica Geosystems™ пропонує іншу технологію, яку реалізує на території України компанія System Solution. Вони пропонують кілька рішень (MAX, Auto-MAX та iMAX) [10], причому iMAX сумісний зі старими приймачами, Auto-MAX натомість використовує двосторонні зв'язки. В принципі, майстер-станція визначається автоматично, це зазвичай є найближчою базовою станцією для приймача, однак може вибиратись в ручну користувачем. Дані отримані з кількох станцій використовуються для визначення корекції мережі на сервері, після чого транслуються на приймач сигналу у випадку iMAX, або модуль приймача сигналу вираховує корекцію мережі у випадку MAX чи Auto-MAX.

На рисунку 2.1 показано території, для яких можливе єдине вихідне (базове) рішення VRS та для RTN. Червоні стрілки представляють базові станції System Solution із навколишніми синіми колами, що представляють рекомендовану зону роботи (радіус 30 км) для VRS методу. Зелена область показує територію, де можна використовувати RTN спостереження.

Отож, RTN метод є оптимальним вибором серед різних підходів у відносному позиціонуванні, оскільки забезпечує максимальну точність і

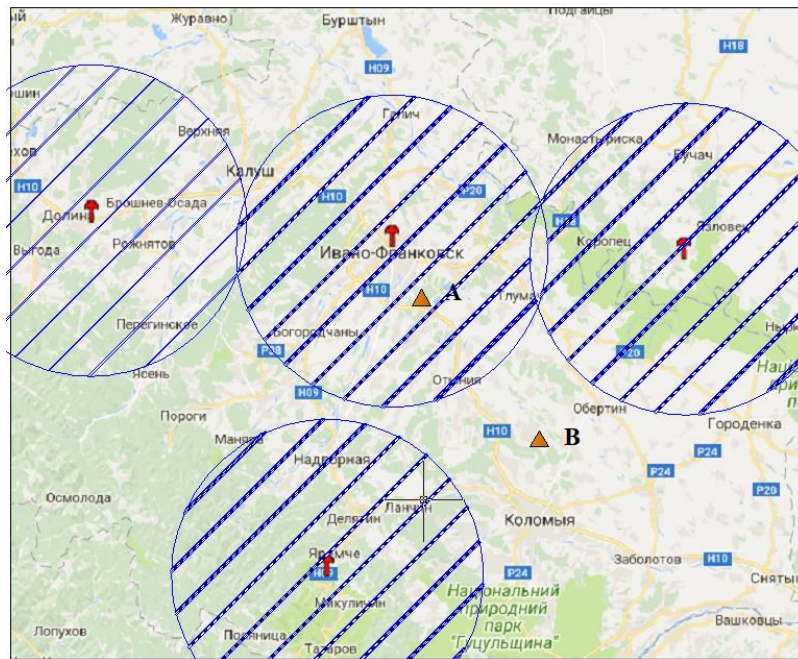


Рис.2.1 - Фрагмент карти покриття GNSS мережі компанії System Solution на території Івано-Франківської області

надійність при найбільшій області покриття та можливості виконання робіт за допомогою GNSS приймача.

2.2 Дослідження точності побудови векторів (ліній) в залежності від взаємного розміщення референсних станцій та фізико-географічних умов району робіт

На жаль, в доступному нам технічному описі ліцензованого програмного забезпечення центру опрацювання результатів спостережень RTN мереж та в літературних джерелах відсутній строгий опис математичного забезпечення використовуваних алгоритмів, тому обґрунтування методики було виконано експериментальним шляхом. Було проведено експериментальні дослідження точності визначення відносних координат вектора за вимірами параметрів GNSS сигналів (дослідити точність виконаних вимірів та можливості

виникнення аномальних похибок при визначенні довжини порівняно короткого вектора).

За вихідну досліджувану мережу було прийнято System Solutions. На попередньо прив'язаний растр Івано-Франківської області було нанесено координати референцних станцій, які знаходяться в Івано-Франківській області, або на віддалі не більше 30 км від неї, які використовуються центром управління системи для розрахунку поправок. За даними сайту System.NET. Таких станцій виявилось 6:

- Бережани (Львівська обл.);
- Бучач (Тернопільська обл.);
- Івано-Франківськ;
- Яремче;
- Вижниця (Чернівецька обл.);
- Долина.

За координатами станцій було побудовано зони їх покриття радіусом 10 км і 30 км. Аналіз цих зон дозволив розділити всю Івано-Франківську область на чотири типи:

1. Територія, яка знаходиться на віддалі до 10 км від референцної станції.
2. Територія, яка знаходиться на віддалі до 30 км від референцної станції.
3. Територія, яка знаходиться на віддалі більше 30 км від референцної станції.
4. Територія, яка знаходиться на перекритті двох або більше 30 км зон покриття.

Відповідно було поставлене завдання визначення точності винесення в натуру проектних довжин ліній в режимі RTN в залежності від зони робіт, часу спостережень на пунктах та фізико-географічної характеристики місцевості.

Експериментальні роботи виконувались з використанням двох частотного GNSS приймача QStar 8+(технічні характеристики наведені в таблиці 2.1) та

електронного тахеометра South NTS-350, в різних районах Івано-Франківської області за різних метеорологічних умов.

Таблиця 2.1

Характеристика GNSS приймача QStar 8+

Точність статички	2,5 мм + 1 мм/км СКП
Точність кінематики	10 мм + 1 мм/км СКП
Кількість частот	2 (L1 + L2/)
Кількість систем	2 (ГЛОНАСС + GPS)
Кількість супутникових каналів	120
Модеми для прийому/ передачі RTNданих	GSM + GPRS
Частота запису даних	1, 2, 5, 10 Гц
Формати даних прийому/ передачі	RTCM (2,3, 3,0, 3,1), CMR, CMR+

На основі результатів експериментальних досліджень для даного тахеометра, які описані у роботі [11], встановлено, що точність виміру віддалей довжиною до 200 м характеризується середньою квадратичною похибкою менше 0,3 мм. Дана точність в рази вища, ніж величина задекларована у технічних характеристиках приладу South NTS-350, які наведені в табл. 2.2. Тому, враховуючи характер розв'язуваної задачі, результати вимірів тахеометром South NTS-350 приймалися дійсними (безпомилковими).

Вибір пунктів був зумовлений взаємним розміщенням референцних станцій та умовами, у яких виконувались геодезичні роботи, а саме: «відкритий горизонт», «нещільна забудова», «гірська місцевість». В подальшому будемо позначати ці досліджувані об'єкти «А» «Б» «В» відповідно. На рисунку 2.2 зображено схематичне розміщення пунктів (сині трикутники), на яких виконувались досліди, відносно зон покриття референцних станцій, які позначені червоними кругами радіусами 30 км та 10 км, червоними трикутниками позначені безпосередньо референцні станції.

Таблиця 2.2

Характеристика тахеометра South NTS-350

Мінімальний відлік	1 " та 5"
Збільшення	30×
Діаметр об'єктива	45 мм (EDM 50 мм)
Кут поля зору	1° 30'
Мінімальна відстань візування	1м
Точність виміру віддалі інфрачервоний віддалемір	- 2 мм +2 мм на 1 км
Точність виміру віддалі лазерний віддалемір 300 м	- 5 мм + 2 мм на 1 км
Дальність виміру на один відбивач	3 км

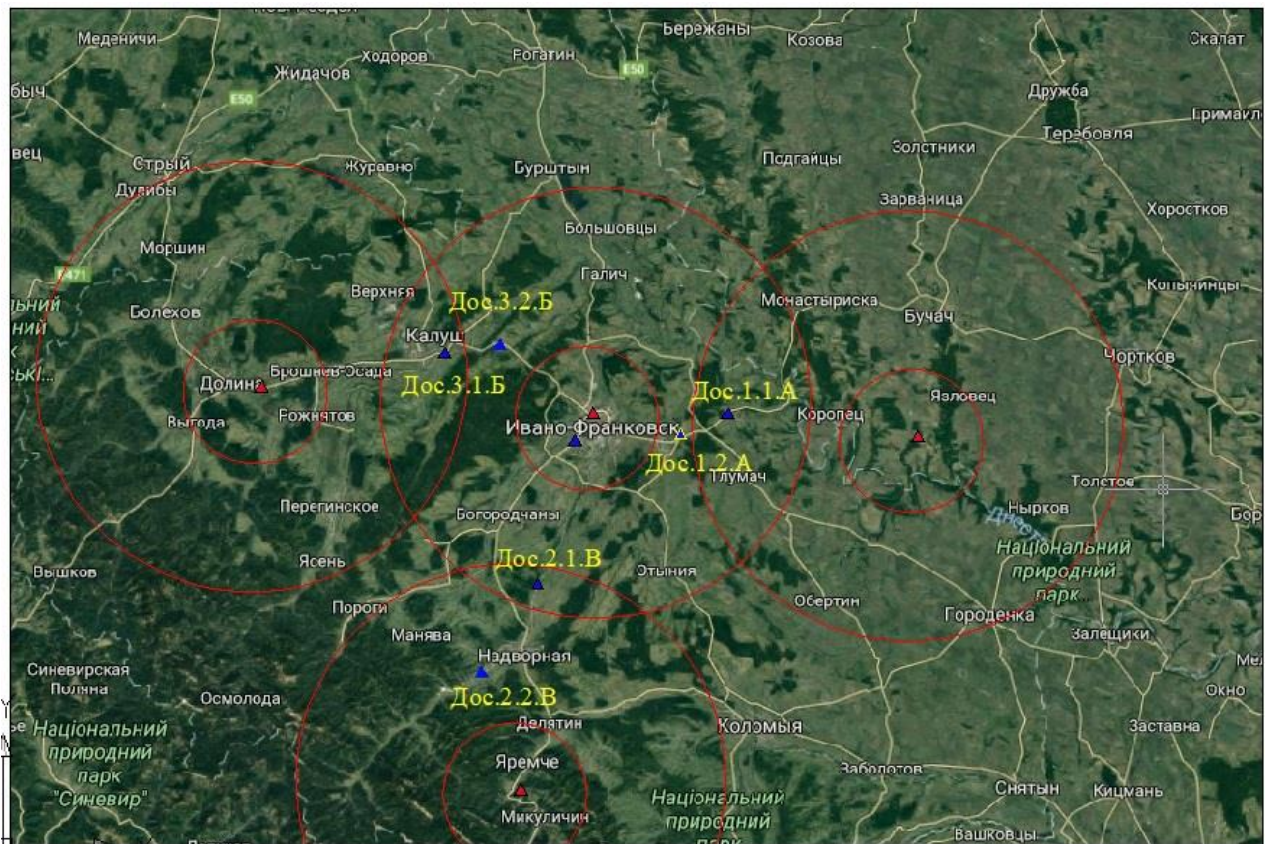


Рис. 2.2 – Розташування пунктів спостережень та референсних станцій мережі System Solutions

Перший дослід проводився у Тисменицькому районі поблизу таких населених пунктів:

- с. Олешів пересічення двох 30 км зон (Дослід 1.1. А – «відкритий горизонт»);
- с. Клубівці 30 км зона (Дослід 1.2.А – «відкритий горизонт»).

Експериментальні дослідження виконувались за такою схемою: на місцевості розміщувались три штативи, на двох встановлювався відбивач, а на іншому тахеометр. Після цього двома півприйомами виміряли віддалі. Віддалі вимірялись спочатку у прямому, а потім і у зворотному напрямках.

У роботі використовувалась automax-технологія мережевого RTN, яка базується на використанні мережі станцій, що неперервно відслідковує усі супутники в зоні видимості. Використання двочастотних приймачів дає змогу визначити вплив іоносферної рефракції на базових станціях і побудувати сіткову модель іоносфери для цілої зони покриття референцних станцій. Ця технологія розроблена компанією Leica Geosystems є базовою під час роботи в мережі System Solution.

GNSS вимірювання виконувалися на тих же штативах із трегерами, на яких до того встановлювався електронний тахеометр. Попередньо на GNSS приймачі був встановлений допуск PDOP ($1,5 \leq$) – однаковий для всіх вимірів, за якого виконувались спостереження. Оскільки ставилась задача дослідити оптимальний діапазон кількості усереднень при RTN спостереженнях, то двочастотний приймач по чергово налаштовувався на 5, 10, 15, 30, 60, 300, 600 та 900 усереднень епох.

Помилки винесення в натуру проектних довжин ліній RTN методом – Δ , були обчислені, порівнюючи віддалі одержані за різницею координат GNSS вимірювань та безпосередньо електронним тахеометром. Віддаль, виміряна електронним тахеометром – S_{ET} , приймалась за еталонну для даного базису і порівнювалась із віддалю, визначеною за допомогою RTN рішень – S^i_{RTN} при різній кількості усереднень за формулою

$$\Delta = S_{ET}^i - S_{RTN}^i, \quad (2.9)$$

де індекс « i » означає кількість усереднень під час одного виміру, даний індекс почергово приймав значення рівні: 5, 10, 15, 30, 60, 300, 600, 900.

Результати вимірів експериментальних досліджень наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Залежність точності виміру віддалі від кількості усереднень на точці та зон покриття

к-сть усередн.	5	10	15	30	60	300	600	900	СКП
Δ_1 , м	0,0081	0,00553	0,0002	0,0024	0,0052	0,0001	0,0041	0,0118	0,0059
Δ_2 , м	0,0063	0,0063	0,0052	0,0034	-0,0004	0,0044	0,0039	0,0044	0,0046

Похибки наведені в табл. 2.3 отримані за результатами вимірювань, які виконувалися 06.03.2016 р. у с. Олешів (Δ_1) на перетині двох 30 км зон і в с. Клубівці (Δ_2), розміщеному в 30 км зоні від референційної станції. Вибір пунктів зумовлений геометричним розміщенням референційних станцій на території Івано-Франківської області. Як свідчать одержані результати, різниці віддалей, отримані за допомогою GNSS вимірів та їх еталонні значення з вимірів електронним тахеометром, знаходяться у межах від 2,4 мм до 8,3 мм. Відсутня лінійна кореляція між кількістю епох, які усереднювались, та їх точністю. Тому було прийнято рішення в подальшому не виконувати спостереження при шістсот та дев'ятсот усередненнях виміру, оскільки дані виміри є довготривалі (щоб виміряти базис при дев'ятсот усередненнях необхідно в середньому близько 1 години).

Наступні дослідження виконувалися поблизу таких населених пунктів:

- с. Фитьків Надвірнянський район, м. Калуш (пересічення двох 30 км зон);
- с. Цуцилів Надвірнянський район, с. Вістова Калуський район (30 км зона).

На рис. 2.2 зображено схеми розміщення базисів на місцевості та віддалі до референцних станцій. Ці дослід виконувались за тією ж методикою, однак із деякими корективами. Як було зазначено, у роботі використовувались виміри не більше як із шістьдесятьма усередненнями, натомість кількість базисів було збільшено до трьох. Це дало можливість краще оцінювати наші виміри та збільшило довірчий інтервал при статистичних випробуваннях. Отримані результати другого і третього дослідів наведено у таблиці 2.4.

Дослід №2 виконувався 28.06.2016 р. у Надвірнянському районі:

- с. Цуцилів – пересічення двох 30 км зон (Дослід 2.1. В - «гірська місцевість»);
- с. Пнів – 30 км зона (Дослід 2.2. В - «гірська місцевість»).

Дослід №3 виконувався 1.09.2016 р. у Калуському районі :

- м. Калуш – пересічення двох 30 км зон (Дослід 3.1. Б - «нещільна забудова»);
- с. Вістова – це 30 км зона (Дослід 3.2. Б - «нещільна забудова»).

Цей дослід виконано на території населеного пункту із нещільною забудовою тому отримав індекс «Б».

Дослід №4 виконувався 13.11.2016 р. поблизу Івано-Франківська у 10 км зоні. На території м. Івано-Франківськ було закладено базис із довжиною 208 м, який розміщений на місцевості із відкритим горизонтом. Результати даного дослідів наведено у зведеній табл. 2.4.

Об'єкти досліджень були розташовані у різних частинах Івано-Франківської області, що суттєво ускладнювало переїзди, організацію та планування процесу вимірювань. Тому наше дослідження було розділено на чотири виїзди, які укомплектовувались тими приладами, що і в попередніх

Таблиця 2.4

Залежність точності виміру віддалі від кількості усереднень на точці та зон покриття

Місце знаходження	S, м	Δ, м при кількості вимірів					СКП, мм
		5	10	15	30	60	
Дос.1.А	64,916	0,0081	0,0055	0,0002	0,0024	0,0052	0,0051
Дос.2.А	55,313	0,0063	0,0063	0,0052	0,0034	-0,0004	0,0047
Дос.3.В	62,487	0,0017	-0,0074	0,0044	-0,0065	0,0055	0,0055
	55,312	0,0085	0,0069	0,0072	0,0055	0,0056	0,0068
	71,548	-0,0048	-0,0052	-0,0053	0,0006	0,0032	0,0042
Дос.4.В	47,781	0,0036	0,0068	-0,0049	0,008	-0,0057	0,0048
	41,656	-0,0065	0,0017	0,0082	0,0013	0,0008	0,0048
	41,211	-0,002	-0,0049	-0,0001	-0,0058	-0,0054	0,0042
Дос.5.Б	91,195	0,0051	0,007	0,0024	0,0051	0,0058	0,0053
	42,608	-0,0032	-0,0045	-0,0052	-0,0032	-0,0011	0,0037
	32,858	-0,0045	-0,0045	-0,0051	-0,0011	-0,0004	0,0033
Дос.6.Б	74,315	-0,0077	-0,0051	-0,0032	0,0006	0,0007	0,0044
	55,814	0,0101	0,0054	-0,0013	0,0017	-0,0014	0,0052
	48,646	0,0088	0,0044	0,0038	0,0021	0,0035	0,0051
Дос.7.А	208,142	-0,0042	0,0026	0,0031	0,0011	-0,0033	0,003

дослідженнях – двохчастотним GNSS приймачем QStar 8+ та високоточним тахеометром South. Методику виконання досліджень на об'єктах «А» (відкритий горизонт), «Б» (нещільна забудова) та «В» (гірська територія) частково зумовило взаємне розміщення референцих станцій. Проаналізувавши дані, наведені у таблиці 2.4, було прийнято рішення розглядати окремо кожен випадок відповідно до взаємного розміщення референцих станцій. Середню квадратичну похибку визначення віддалі за допомогою GNSS приймача та її точність визначено за формулами

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (2.10)$$

$$M_m = \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (2.11)$$

де Δ – помилка винесення в натуру проектних довжин ліній RTN методом;

n – кількість вимірів

У табл. 2.5 представлено результати дослідження точності винесення в натуру проектних довжин ліній RTN методом в залежності від взаємного розміщення референцних станцій та фізико-географічних умов місцевості, на якій виконувалась робота.

Таблиця 2.5

Характеристика залежності точності вимірів від віддалі до референцних станцій

Номер досліджу	СКП віддалі, м	S_1 , м	S_2 , м	S_3 , м
		Івано-Франківськ	Бучач	Яремче
1.А.	0,0051±0,0023	24028,448	24171,417	65719.97
2.А.	0,0046±0,0023	13912,824	34055,02	56829.28
	СКП	Івано-Франківськ	Яремче	Долина
3.В.	0,0056±0,0014	26634,481	28073,077	48819.62
4.В.	0,0043±0,0011	11556,252	43155,033	52796.14
	СКП	Івано-Франківськ	Долина	Яремче
5.Б.	0,0042±0,0011	22499,19	29239,34	65033.81
6.Б.	0,0049±0,0014	17377,109	36691,258	63883.80
	СКП	Івано-Франківськ		
7.А.	0,003±0,0012	1341,6018		

Результати наведені в табл. 2.5 свідчать, що точність визначення довжин мінімум два рази вища, ніж заявлена компанією System Solutions точність позиціонування в режимі реального часу [167].

При подальшому аналізі результатів виконано перевірку гіпотези про рівність генеральних дисперсій двох нормально розподілених сукупностей, розрахованих за результатами вимірювань за п'ятьма типами усереднень виміру (при 5, 10, 15, 30 та 60) (див. табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Приклад перевірки гіпотези

x_j	5	10	15	30	60
"лівостороння" перевірка гіпотези H_0 при рівні значущості (α)					
F	0,4377	0,7264	0,6976	0,7542	1,0000
$P(F \leq f)$ одностороннє	0,0671	0,2789	0,2546	0,3023	0,5000
F критичне одностороннє	0,1686	0,1686	0,1686	0,1686	0,1686
"правостороння" перевірка гіпотези H_0 при рівні значущості ($1-\alpha$)					
F	0,4377	0,7264	0,6976	0,7542	1,0000
$P(F \leq f)$ одностороннє	0,0671	0,2789	0,2546	0,3023	0,5000
F критичне одностороннє	5,9297	5,9297	5,9297	5,9297	5,9297
СКП, мм	0,0055	0,0042	0,0042	0,0040	0,0043

Розглядали процедуру перевірки гіпотези $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ за умови нормальності випадкових величин x_i і x_j . За випадкову величину x_i була вибрана вибірка результатів вимірів віддалей при 60 усередненнях. Вона почергово порівнювалась із аналогічними вибірками при 5, 10, 15 та 30 усередненнях (табл. 2.6), які приймалися за випадкову величину x_j .

Величина F, відношенням Фішера (статистикою Фішера) використовувалась в якості критерію при перевірці гіпотези H_0 та для кожної пари вибірок x_i, x_j обчислювалась за формулою

$$F = \frac{S_{xi}^2}{S_{xj}^2}, \quad (2.12)$$

де S_{xi}^2 – квадрат дисперсії i - тої вибірки;

S_{xj}^2 – квадрат дисперсії j - тої вибірки.

Дана величина має F-розподіл з $k = n-1$ і $l = m-1$ числом ступенів свободи.

Визначено критичну область для випробовуваної гіпотези H_0 , тобто безліч можливих значень статистики t , які при встановленому рівні значущості 0,001 припускають її відхилення (достовірність результатів становить 99,9 %).

Після цього виконано протилежну односторонню перевірку щодо альтернативи H_1 . Для цього знову використали режим двохвибіркового F-тесту для дисперсій, але в якості рівня значущості введено Альфа ($1 - \alpha$). Для таких же випадкових величин x_i та x_j .

Для прикладу аналізу розрахунків, наведено порівняння даних спостережень віддалей при 60 усередненнях із аналогічними вибірками при 5, 10, 15 та 30 усередненнях (табл. 2.6).

Врахувавши дані про "лівосторонню" перевірку гіпотези H_0 при рівні значущості (α) (табл. 2.6), можна зробити висновок, що критична область приймає вид інтервалу $(0; F_{кр,\alpha})$. У нашому випадку F критичне одностороннє $\equiv F_{кр,\alpha} \cong (0,4377; 0,7264) \notin (0; 0,1686)$, тому гіпотеза приймається. Відхилення вибіркового значення критичної статистики F в меншу сторону («вліво») від ідеального для H_0 значення $F = 1$ виявилось прийнятним з урахуванням прийнятого рівня ризику $\alpha = 0,001$.

У випадку для "правосторонньої" перевірки гіпотези H_0 критична область приймала вид відкритого інтервалу $(F_{кр,\alpha}; + \infty)$, для нашого випадку $(5,9297; + \infty)$. Оскільки критична статистика $F = (0,4377; 0,7264) < 5,9297$, то H_0 знову приймається.

Таким чином, гіпотези про рівність генеральних дисперсій підтвердилась, що дає нам можливість вважати виміри рівноточними. Проаналізувавши критичну статистику даних вибірок, можна зробити висновок, що виміри отримані при 5 усередненнях є небажаними, оскільки їх значення критичної статистики $F = 0,4377$ є найбільш віддалене із усіх від ідеального значення $F = 1$.

Для встановлення можливостей визначення точності відносних вимірів (кутів, відстаней та відносних координат) виконані експериментальні дослідження на попередньо закладених пунктах еталонного полігону, які знаходяться на території м. Івано-Франківська поблизу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (рис. 2.3).

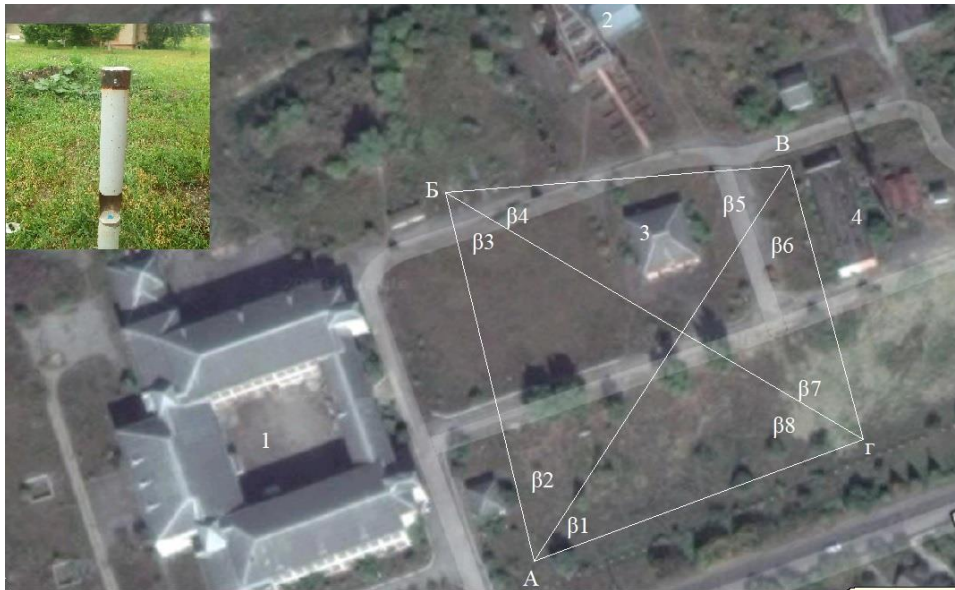


Рис. 2.3 - Схематичне зображення закладеного базису

Дослід виконувався на віддалі 2 км від референцної станції, що практично нівелювало більшість похибок та забезпечило можливість спостерігати одні і ті ж супутники. Чим ближче знаходиться GNSS приймач до референцної станції, тим точніше виконується корекція. Врахувавши ці чинники, було прийнято рішення експериментально дослідити можливості відносних вимірів за допомогою RTN рішень.

Пункти із примусовим центруванням були закладені на відкритій місцевості таким чином, щоб навколо них не було високих будівель та дерев, що могло б зумовити багатошляховість. Польові виміри виконувались за допомогою GNSS приймача QStar 8+ та електронного тахеометра South NTS-350. На основі результатів експериментальних досліджень для даного тахеометра, які описані у роботі [11], 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 приймалися еталонними (безпомилковими). Приймач QStar 8+ підтримує режим RTN. Він має 120 каналів прийому сигналів та працює із супутниками систем GNSS та 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 СКП у реальному часі становить в плані 5 мм + 1 мм/км.

Перед дослідженнями на попередньо встановлених та відцентрованих трегерах було проведено три серії вимірів. У них послідовно виміряні двома півприйомами шість віддалей та вісім кутів, як показано на рис. 2.7. Змінюючи положення приладу і відбивачів у непорушних трегерах, вимірювали всі відстані та кути. Кожну із віддалей $S_1 - S_6$ вимірювали 12 разів. Середні значення відстаней і СКП, обчислені за формулою Бесселя, наведені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Результати вимірів еталонного полігону

Геометричні параметри	Кути		Геометричні параметри	Відстані	
	виміряні значення	СКП		виміряні значення	СКП
β_1	40°49'46,0"	2,1"	S_1	204,859 м	0,3 мм
β_2	42°39'48,5"	0,1"	S_2	233,312 м	0,18 мм
β_3	37°31'12,5"	1,9"	S_3	145,544 м	0,26 мм
β_4	41°57'59,5"	0,2"	S_4	155,138 м	0,23 мм
β_5	37°59'11,5"	0,1"	S_5	237,461 м	0,32 мм
β_6	59°41'09,0"	2,9"	S_6	160,236 м	0,22 мм
β_7	58°59'36,5"	0,1"	Відносна похибка тахеометричного ходу $m = 1/95107$		
β_8	40°21'31,0"	3,1"			
Σ	360°00'14,5"				

Щоб отримати точніші дані, було виконано урівнювання даної мережі. Врахувавши особливості закладання еталонного полігону та виконані виміри,

мережу урівняли методом найменших квадратів (МНК) (геодезичний чотирикутник).

Супутникові спостереження виконувались за умов чистого неба RTN методом. Попередньо на GNSS приймачі був встановлений один технологічний допуск ($1,5 \leq \text{PDOP}$), при якому виконувались всі виміри. Таким чином, можна констатувати, що умови проведення експериментальних вимірів були сприятливими. Вимірювання виконувались по чергово на чотирьох пунктах, діапазон кількості усереднень під час одного RTN виміру складав: 1, 5, 10... 95, 100. Після групування даних було обчислено віддалі та кути, обчислені за формулами:

$$S_{GNSS}^i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}, \quad (2.13)$$

$$\cos \beta = \frac{x_a \times x_b + y_a \times y_b}{\sqrt{x_a^2 + x_b^2} \times \sqrt{y_a^2 + y_b^2}}. \quad (2.14)$$

Урівнявши закладений еталонний полігон, було порівняно кути, отримані після урівнювання та виміряні безпосередньо на місцевості, із кутами обчисленими за координатами, які отримані за допомогою GNSS приймача (табл. 2.8).

У табл. 2.8 використано такі позначення:

$\beta_{RTN}^i - \beta_{ET}$ – різниця між кутів отриманих за допомогою GNSS приймача при одинарному вимірі та виміряних безпосередньо на місцевості;

$\beta_{RTN}^i - \beta_{yp}$ – різниця між кутами отриманими за допомогою GNSS приймача при одинарному вимірі та урівняними значеннями, які виміряні тахеометром.

Таблиця 2.8

Порівняння точності вимірних кутів GNSS приймачем із еталонними

Геометричні параметри	Урівняні значення кутів, °	Значення кутів отримані за допомогою GNSS вимірів, °	$\beta_{RTN}^i - \beta_{ET}''$	$\beta_{RTN}^i - \beta_{yp}''$
β_1	42,66219322	42,6618753	10,29042234	7,122777655
β_2	40,82074377	40,82658599	5,748902525	1,191302525
β_3	37,52004911	37,51460962	19,90536746	13,17696746
β_4	41,96941678	41,96980542	11,79950972	1,125509717
β_5	59,68081933	37,99064819	14,83349817	2,211898173
β_6	37,99038578	59,68899897	11,39628009	22,35828009
β_7	58,99719122	58,99692908	12,44469233	1,444107671
β_8	40,35923878	40,35054742	29,02928798	15,41408798
Σ	359,9995578	360°00'00"	115,4479606	64,04493126

У результаті виконаного врівноваження чотирикутника, отримали відносну похибку тахеометричного ходу $m = 1/133150$, яка до урівнювання становила $1/95107$.

Це підтверджує, що більшість негативних факторів, які впливають на точність виміру псевдовідстані між супутником і приймачем, таких як: зміщення годинників супутника і приймача t, 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 ε_k^φ , вдалось мінімізувати.

Значення віддалей та кутів, одержані за різній кількості усереднень епох, порівнювались із еталонними параметрами для даного полігону. На рис. 2.4

представлені графіки похибок: 2.4 а – визначення віддалей, 2.4 б – визначення кутів RTN методом.

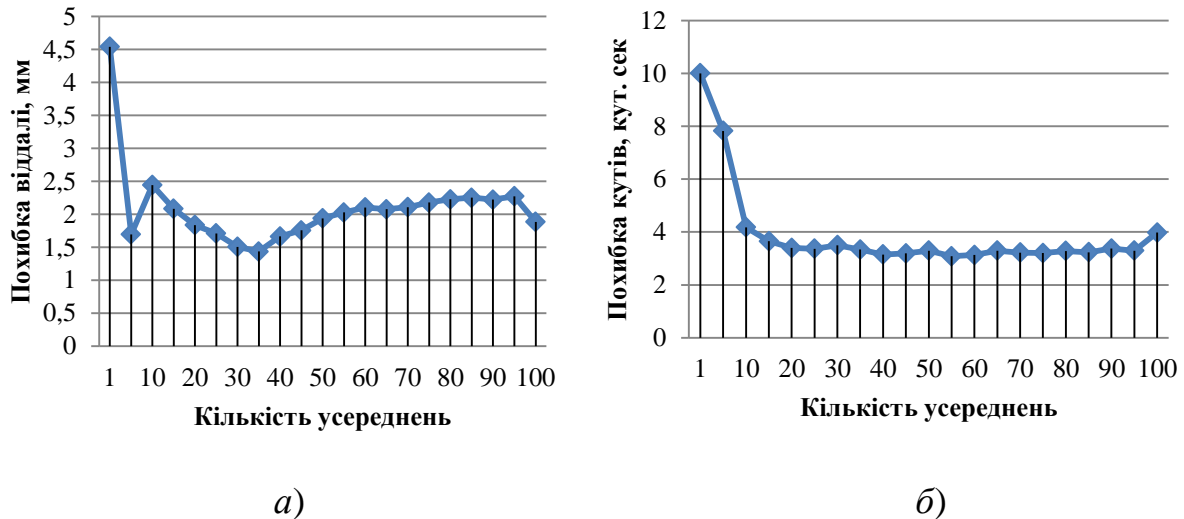


Рис. 2.4 – Похибки визначення (а) віддалей та (б) кутів із обробки RTN вимірів

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

В результаті досліджень, із отриманих даних було обчислено середню квадратичну похибку для відстаней та кутів за формулою (2.10, 2.11) та виконано оцінку надійності середніх квадратичних похибок. Виміри, виконані тахеометром, ми прийняли за еталонне значення виміру даних величин. Таким чином, середня квадратична похибка виміру кута та відстані становила $m_{\text{кут}}=4,3'' \pm 0,95''$ та $m_{\text{від}}=3,2 \text{ мм} \pm 0,01$ відповідно, що не суперечить попереднім дослідженням. Також варто зазначити, що характер одержаних кривих похибок точності визначення віддалей підтверджують висновки наведені в роботі проф. І. Тревого та інші [16, 75, 85].

2.3 Визначення впливу технологічних параметрів на точність виконання розпланувальних робіт RTN методом

Як відомо, точність визначення псевдовіддалей до супутників враховує кожен з чотирьох компонентів позиції, що вимірюється приймачем (x, y, z та t). Якщо видимі навігаційні супутники знаходяться близько один до одного в небі, геометрія є поганою і значення DOP є великим; якщо ж вони далеко один від одного, геометрія є хорошою і значення DOP малим. У нашому випадку DOP задається як набір окремих компонент:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision) – горизонтальна складова точності;
- VDOP (Vertical Dilution of Precision) – точність по вертикалі;
- PDOP (Position Dilution of Precision) – точність позиції в тривимірному просторі (3D);
- TDOP (Time Dilution of Precision) – точність часу;
- GDOP (Geometric Dilution of Precision) – сумарна геометрична точність в тривимірному просторі (3D) та часі.

Між даними технологічними параметрами існує строгий зв'язок, який описується за такими формулами

$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2, \quad (2.15)$$

де $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$

При виконанні розпланувальних робіт в конкретних виробничих умовах не завжди є можливість виконати виміри на сусідніх точках в обмежений до години-двох час. Більше того, часто через виробничі умови виміри тривають навіть декілька днів.

Оскільки технологічні параметри DOP повторюються для даного конкретного об'єкту, щодобово і їх можна точно передбачити, наприклад, з

використанням програмного забезпечення GNSS Planning, розміщеного на загальнодоступному сайті [126], крім того більш детальну інформацію про точність вимірів можна одержати із RINEX-файлу, наприклад RW5 для програмного забезпечення SurvCe. Виконані дослідження були направлені на перевірку гіпотези, що різночасові виміри, виконані при однакових параметрах DOP, дозволяють досягнути оптимальної точності.

Для визначення інформативності впливу технологічних параметрів DOP на процес побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень провели експериментальні дослідження на території будівельного майданчика, де був закладений еталонний базис (який знаходиться в 10 км зоні від референцної станції System Solutions).

Точні координати пунктів та геометричні параметри досліджуваного базису визначались за допомогою двох частотного GNSS приймача QStar 8+ (була проведена серія статичних вимірювань в продовж 16 годин) та електронного тахеометра South NTS-350. Детальний опис ділянки наведений в роботі [111]. Еталонна віддаль становила 114,8575 м, її визначено двохсекундним тахеометром, яким було проведено три серії вимірів по 12 вимірювань в прямому та оберненому напрямках, із СКП 0,27 мм обчисленою за формулою Бесселя.

RTN вимірювання виконувались з інтервалом тридцять хвилин, в продовж чотирьох годин, тобто виконано 9 вимірів, кількість усереднень у кожному складала 30 усереднень. Для можливості прогнозування даний дослід був повторений на наступний день у той же час. Значення довжини базису із RTN спостережень знаходили за формулами (2.4), (2.6).

В табл. 2.9 наведено порівняння результатів досліджень точності побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень із їх технологічними параметрами:

– Δ , м – похибка побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень, визначена як різниця довжин ліній RTN виміру та значення,

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

Таблиця 2.9

Результати дослідження точності розмічуваних робіт в RTN режимі

день	t, хв	Δ , м	HRMS	VRMS	HDOP	VDOP	TDOP	N
1	0	0,0014	0,009	0,013	0,6782	1,1414	0,7713	16
	30	0,0047	0,011	0,017	0,6711	1,0604	0,7168	16
	60	-0,0032	0,009	0,014	0,6699	0,984	0,6265	16
	90	0,0047	0,009	0,014	0,8688	1,4848	0,9568	14
	120	-0,0009	0,007	0,01	0,8163	1,3119	0,9675	14
	150	0,0025	0,008	0,011	0,7467	1,196	0,7999	14
	180	0,0246	0,04	0,049	0,8336	1,1416	0,7643	14
	210	-0,0180	0,036	0,039	0,9323	1,1314	0,7974	13
	240	-0,0265	0,049	0,05	1,2015	1,287	0,9569	12
2	0	0,0026	0,007	0,01	0,6836	1,0731	0,6859	15
	30	-0,0032	0,013	0,017	0,704	1,194	0,801	14
	60	-0,0014	0,010	0,015	0,661	1,115	0,753	16
	90	0,0023	0,0012	0,016	0,749	1,137	0,824	15
	120	-0,0021	0,015	0,019	0,842	1,399	0,873	15
	150	0,0016	0,029	0,042	0,816	1,312	0,968	14
	180	0,0038	0,032	0,039	0,744	1,197	0,798	14
	210	-0,0017	0,0265	0,029	0,733	1,099	0,760	14
	240	0,0038	0,0491	0,05	1,197	1,270	0,953	13

У зв'язку із об'ємністю вихідного файлу «RW5» (див. Додаток Б), який може використовуватися для контролю, у табл. 2.9 наведено усередненні значення похибок вимірювань та технологічних параметрів.

Для досліджень впливу технологічних параметрів на точність розрахували за цими даними коефіцієнти рівнянь регресії, залежності точності побудови векторів (ліній) $\Delta = f(\text{HDOP}, \text{VDOP}, \text{TDOP}, \text{HRMS}, \text{VRMS}, N)$ на відносно коротких віддальх (до 200 м). Обчислили кореляційну матрицю (див. табл. 2.10). Маємо 6 досліджуваних величин HDOP, VDOP, TDOP, HRMS, VRMS, N, представлених вибірками по 299 значень $X_i = \{x_{i1}, x_{i2} \dots x_{i299}\}$. Завдяки симетричності коваріації (властивість $r_{ij} = r_{ji}$), кореляційна матриця симетрична відносно головної діагоналі, тому оцінку потрібно виконати лише для елементів, що знаходяться над або під діагоналлю.

Таблиця 2.10

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	0,604379	1					
VDOP	0,090497	0,547606	1				
TDOP	0,195958	0,704374	0,922904	1			
HRMS	0,813193	0,75444	0,081818	0,236125	1		
VRMS	0,806538	0,692072	0,071648	0,202695	0,988727	1	
N	-0,56237	-0,80316	-0,46754	-0,58917	-0,62677	-0,58975	1

Далі виконали перевірку коефіцієнтів на значимість - $r_k^{a,f}$ [49]. Знову ж таки, через симетричність матриці це було зроблено лише для половини елементів. Так як для кожної вибірки було отримано по 299 значень, ступінь свободи становить $f=299-2$. Враховуючи, що $\alpha=0,05$ значення $t_{\alpha/2}^f = t_{0,025}^{297} = 2,398$ однакове для всіх елементів матриці. Далі підставили одержане значення в залежність [49] замість емпіричного значення t-статистики і розв'язали отримане рівняння

$$r_k^{a,f} = \frac{t_{a/2}^f}{\sqrt{n-2+(t_{a/2}^f)^2}}=0,447, \quad (2.16)$$

де $r_k^{a,f}$ – коефіцієнт на значимості;

$t_{a/2}^f$ – критичне значення критерію t – статистики;

n – величина вибірки.

Всі значення в кореляційній таблиці, які за модулем менші 0,447 можна вважати статистично незначимими і при створенні математичної моделі ці технологічні параметри не враховують. Згідно одержаних результатів кореляційного аналізу можна стверджувати, що такі технологічні параметри, як: VDOP, TDOP не мають значного впливу на точність процесу побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень. Також варто звернути увагу на значення HRMS і VRMS, окрім того, що вони суттєво впливають на точність, між даними технологічними параметрами є пряма і значна 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).

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

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

Основним завданням регресійного аналізу є визначення впливу факторів (технологічних параметрів) на результативний показник (в абсолютних показниках). Передусім для цього необхідно підібрати та обґрунтувати рівняння зв'язку, що відповідає характеру аналітичної стохастичної залежності між досліджуваними ознаками. Рівняння регресії

показує, як в середньому змінюється результативна ознака (Y_x – точність винесених векторів (ліній)) під впливом зміни факторних ознак (HDOP, HRMS, N).

У загальному вигляді рівняння регресії можна представити так $Y_x = f(\text{HDOP}, \text{HRMS}, N)$.

Побудова моделей множинної регресії включає в себе такі етапи:

- 1) вибір форми зв'язку (рівняння регресії);
- 2) відбір факторних ознак;
- 3) забезпечення достатнього обсягу сукупності.

Визначення типу рівняння складне тим, що для будь-якої форми залежності можна вибрати цілий ряд рівнянь, які певною мірою будуть описувати ці зв'язки. Особливе значення мають лінійні моделі в силу простоти і логічності їх фізичної інтерпретації.

Під впливом технологічного параметру N (кількість супутників) результативна ознака (Y_x – точність винесених векторів (ліній)) змінюється нерівномірно, причому зі сповільненням, що зобов'язує нас використовувати для даного параметру рівняння параболи у регресійному аналізі, про що свідчать дані наведені на рис. 2.5. В загальному із збільшенням кількості супутників точність зростає.

Оскільки зі зміною факторної ознаки результативна змінюється нерівномірно, то розглянемо багатфакторне рівняння множинної регресії при нелінійній залежності.

$$Y_x = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_4 + a_3 \frac{1}{X_6} + a_4 X_1 X_4 + a_5 X_1 \frac{1}{X_6} + a_6 X_4 \frac{1}{X_6} + a_7 X_1 X_4 \frac{1}{X_6} + a_8 X_1^2 + a_9 X_4^2 + a_{10} \frac{1}{X_6^2}, \quad (2.17)$$

де X_1, X_4, X_6 – технологічні параметри HDOP, HRMS, N відповідно;

$a_0, a_1 \dots a_{10}$ – шукані коефіцієнти математичної моделі.

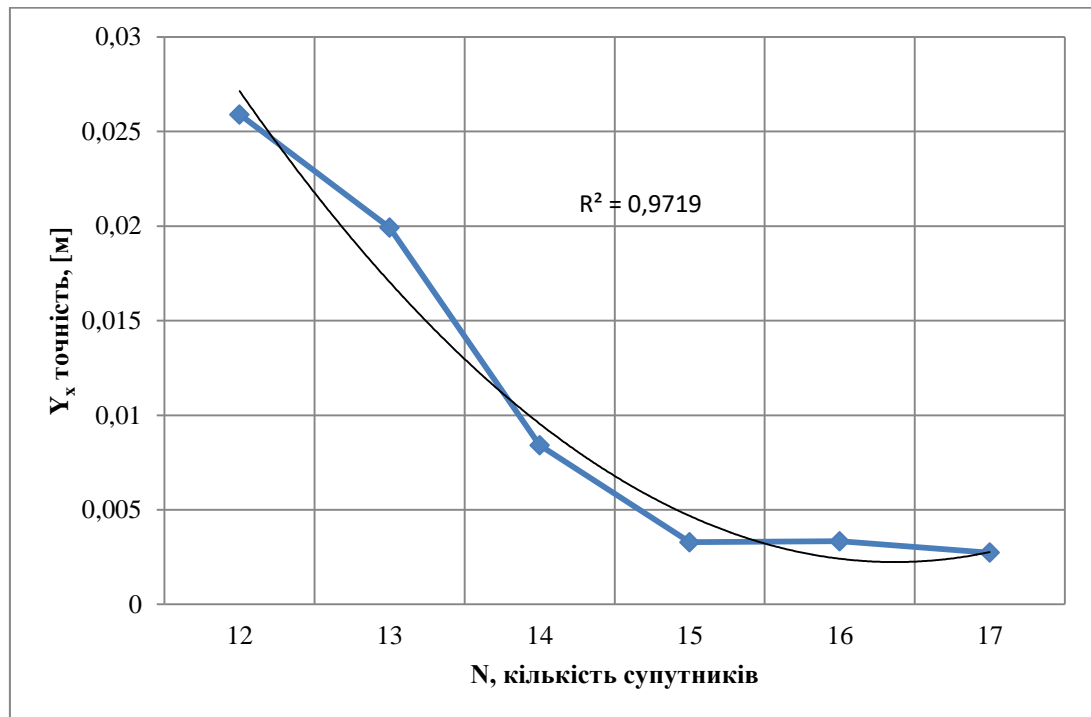


Рис. 2.5 - Залежність точності побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень від кількості супутників

Проблема відбору факторних ознак для побудови моделей взаємозв'язку може бути вирішена на основі інтуїтивно-логічних або багатовимірних математико-статистичних методів аналізу.

Був обраний спосіб відбору факторних ознак за допомогою крокової регресії (кроковий регресійний аналіз). Таким чином, ми згідно алгоритмів послідовного включення, вводили або виводили фактори в рівняння регресії з наступною перевіркою їх статистичної значущості.

При використанні даного алгоритму «включення» фактори по чергово вводяться в рівняння регресії, так званим прямим методом. При перевірці значущості введеного фактора визначається, наскільки зменшується сума квадратів залишків і збільшується величина множинного коефіцієнта кореляції.

Сутність алгоритму послідовного виключення полягає в тому, що відкидаються фактори, що стали незначущими по t -критерію Стюдента або іншими статистичними критеріями. Фактор є незначущим, якщо його

включення в рівняння регресії тільки змінює значення коефіцієнтів регресії, не зменшуючи її суми квадратів залишків і не збільшуючи їх значення.

Якщо при включенні в модель відповідної факторної ознаки величина множинного коефіцієнта кореляції збільшується, а значення коефіцієнта регресії не змінюється (або змінюється несуттєво), то дана ознака суттєва і її включення в рівняння регресії доцільно. В іншому випадку фактор недоцільно включати в модель регресії.

На підставі виконаних розрахунків, було побудовано математичну модель і досліджено залежність технологічних параметрів для процесу побудови векторів (ліній) за допомогою використання RTN рішень GNSS приймачем, налаштованого на прийом диференціальних поправок від мережі System Solutions.

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 Стюдента. Статистично незначимі коефіцієнти були відкинуті. Після цього значимі коефіцієнти рівнянь регресії другого порядку підставлені у формулу (2.17) в результаті чого отримано

$$Y_x = 7,844 * \frac{HRMS}{N} - 0,0013 * HDOP. \quad (2.18)$$

В додатку Б табл. Б.3 та табл. Б.4 наведена перевірка адекватності отриманої математичної моделі процесу побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень.

З метою підтвердження одержаних результатів та регресійної моделі, було повторено експеримент у червні 2019 року на тому ж базисі, однак іншим GNSS приймачем фірми Topcon. Особливістю даного дослідження є те, що окрім вимірів виконаних через встановлений проміжок часу виконувались і

синхронні. У результаті проведених досліджень одержані наступні дані, що наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Результати другого дослідження точності розмічуваних робіт в RTN режимі

t, хв	Поетапні вимірювання				Синхронні вимірювання			
	Δ, мм	HRMS	HDOP	N	Δ, мм	HRMS	HDOP	N
0	1,8	0,009	0,79	15	1,8	0,009	0,79	15
15	2,7	0,007	0,81	14	3,9	0,007	0,81	14
30	4,9	0,012	1,08	9	6,0	0,012	1,08	9
45	9,1	0,012	1,17	10	8,3	0,012	1,17	10
60	3,0	0,007	0,93	13	0,7	0,007	0,93	13
75	1,6	0,007	0,95	13	0,9	0,007	0,95	13
90	1,4	0,008	1,03	11	1,0	0,008	1,03	11
105	5,5	0,010	0,87	12	4,9	0,010	0,87	12
120	0,9	0,007	0,82	13	1,6	0,007	0,82	13
135	4,7	0,007	0,87	12	0,3	0,007	0,87	12
150	2,6	0,009	0,88	12	2,6	0,009	0,88	12
165	1,0	0,007	0,78	14	3,5	0,007	0,78	14
180	0,0	0,007	0,83	13	6,2	0,007	0,83	13
195	2,7	0,009	0,78	13	9,6	0,009	0,78	13
210	0,7	0,010	0,75	14	0,5	0,010	0,75	14
225	2,3	0,008	0,75	14	1,2	0,008	0,75	14
240	4,3	0,010	0,72	15	4,0	0,010	0,72	15
255	3,6	0,009	0,75	14	5,9	0,009	0,75	14
270	0,3	0,007	0,81	13	4,3	0,007	0,81	13
285	5,6	0,008	0,83	13	0,3	0,008	0,83	13
300	10,0	0,008	1,28	10	0,8	0,008	1,28	10
315	9,8	0,009	1,29	10	9,6	0,009	1,29	10
330	9,1	0,008	1,06	11	5,6	0,008	1,06	11
345	2,1	0,010	0,99	12	9,0	0,010	0,99	12
360	3,7	0,009	0,9	13	3,9	0,009	0,9	13

Дані наведені у табл. 2.11 підтверджують тісний зв'язок між точністю побудови проектних векторів ліній та технологічними параметрами. В даному

експерименті технологічні параметри наприклад HMRS змінювались в меншому діапазоні в порівнянні із попереднім 7 – 10 мм, що відповідно відобразилось на точності побудови вектора з RTN вимірів – від 1 до 10 мм. В результаті виконаних досліджень було одержано 720 значень віддалі із відповідними технологічними параметрами. Дану вибірку було об'єднано із попередньою, яка складалась із 299 значень, та повторно розраховано рівняння регресії залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань

$$Y_x = 7,5706 * \frac{HRMS}{N} - 0,0012 * HDOP \quad (2.19)$$

Оцінка точності одержаної математичної наведена у Додатку Б, табл. Б.5 та табл. Б.6. Після проведення дослідження одержаних рівнянь регресії (2.18) та (2.19) було встановлено, що максимальне відхилення даних функцій при критичних значень не перевищує 10 %, у той час середнє відхилення складає 2,6 %. Одержані значення свідчать про високу достовірність одержаних результатів, так як середні відхилення не перевищують рівень надійності регресійного аналізу.

Для дослідження впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній) побудували поверхні відгуку у залежності від двох змінних факторів (інші фактори знаходились на постійному основному рівні), використавши вільне програмне забезпечення GNU Octave (додаток Б, рис. Б.1).

Аналіз отриманого рівняння регресії (2.19) та побудованих поверхонь відгуку (рис. Б.1) свідчать, що величини технологічних параметрів (HDOP, HRMS, та кількості супутників) суттєво впливають на процес побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень GNSS приймачем.

За ступенем впливу технологічних параметрів на точність побудови проектних векторів (ліній) можна розмістити їх в такому порядку: HRMS, N і HDOP.

Аналіз отриманого рівняння регресії (2.19) та побудованих поверхонь відгуку (рис. Б.1) свідчить, що для побудови проектних векторів (ліній) за допомогою RTN рішень найбільш значний вплив мають такі технологічні параметри, як HRMS та кількості супутників. Хоча вплив параметра HDOP на остаточну точність побудови проектних віддалей є значним, проте він має тісний математичний зв'язок із горизонною 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 вигляду:

$$Y_x = 7,2002 * \frac{HRMS}{N} \quad (2.20)$$

Формула (2.20) відображає регресійний зв'язок між технологічними параметрами (HRMS кількістю супутників) та точністю побудови проектних векторів (ліній) за допомогою RTN вимірювань (рис. 2.6). Оцінка точності одержаної регресійної моделі наведена у табл. 2.12 та табл. 2.13.

Таблиця 2.12

Регресійна статистика досліджуваної моделі

Множинний R	0,853567
R-квадрат	0,798461
Нормований R-квадрат	0,794416
Стандартна похибка	0,0071
Кількість вимірів	1019

Також було проведено аналіз впливу часу на точність одержаних результатів для цього було виконано кореляційний аналіз між одержаною точністю побудови проектних векторів (ліній) та проміжком часу який пройшов

від першого вимірювання на першій точці та поточним часом.

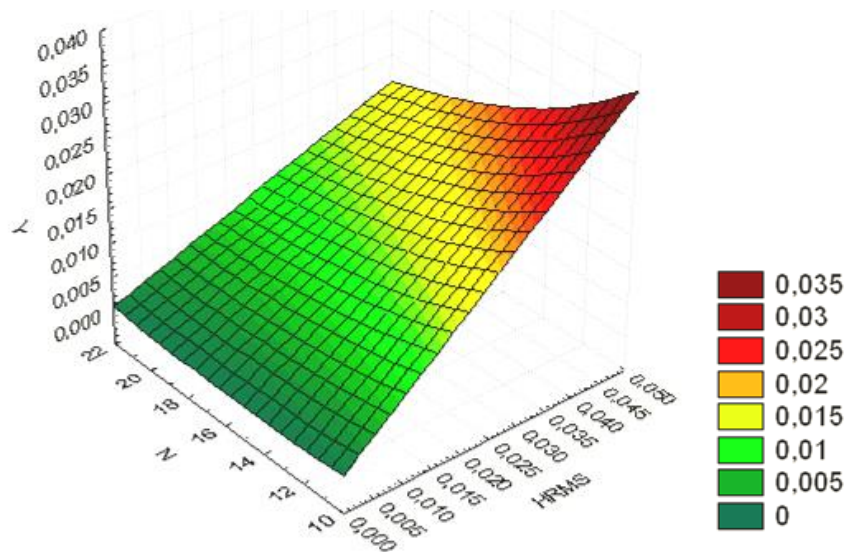


Рис.2.6 - Поверхні відгуку залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань

Таблиця 2.13

Дисперсійний аналіз отриманих коефіцієнтів

	Стандартна похибка	<i>t</i> -статистика	<i>P</i> -Значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
a_0	—	—	—	—	—
HRMS/N	0,000598	-2,21776	0,027328	-0,0025	-0,00015

В результаті проведеного випробування кореляція між розглянутими параметрами склала 0,2753, що говорить незначний впливу даного фактору на точність. Даний результат підтверджується практично відсутністю середніх різниць точності між синхронними (3,9 мм) та вимірюваннями проведеними через різний проміжок часу (3,7 мм).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Виконано теоретичне обґрунтування ефективного використання RTN вимірювань для основних планових розмічувальних робіт на будівельному майданчику. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що точність винесення координат пунктів за допомогою GNSS приймача та пристрою для центрування антени при дотриманні розроблених методичних рекомендацій не перевищує 5 мм, що повною мірою задовольняє високі темпи сучасного будівництва та дозволяє відмовитись від побудови класичної будівельної сітки.

2. За результатами експериментальних досліджень на території Івано-Франківської області та еталонному полігоні встановлено, що точність визначення довжин ліній мінімум в два рази вища, ніж точність визначення координат, за якими ці довжини визначали. RTN метод дозволяє, використовуючи двохчастотний GNSS приймач для визначення просторових (відносних) координат, одержати знайдені значення віддалей та кутів з точністю доступною для сучасних тахеометрів.

3. За допомогою двохвибіркового F-тесту для дисперсії було доведено рівноточність вибірки результатів вимірювань віддалей при 10, 15, 30 та 60 усередненнях виміру. Це дозволяє рекомендувати 15–30 усереднень вимірів, що дозволяє оптимізувати час спостережень.

4. Доведено, що розпланувальні та розмічувальні інженерно-геодезичні роботи можна продовжити виконувати протягом декількох днів при дотриманні подібних технологічних параметрів. Ці параметри порівняно просто прогнозуються за допомогою спеціальних інтернет-ресурсів (наприклад, у вільному доступі GNSS Planning) та запропонованого регресійного рівняння (2.18), що дозволяє спрогнозувати точність виконання даних робіт.

5. Вперше побудовано математичну модель і досліджено залежність точності процесу побудови векторів (ліній) за допомогою використання RTN-

рішень GNSS приймачем від технологічних параметрів DOP, особливо тих, зміни яких повторюються в часі.

6. Вперше встановлено інформативність технологічних параметрів DOP, для можливості прогнозування точності вимірювання при виконанні розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт RTN методом, при неможливості виконання синхронних спостережень.

7. Досліджено, що для забезпечення необхідної точності (3–5 мм) при виконанні розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт слід дотримуватись таких рекомендацій: кількість супутників ≥ 15 , HRMS $\leq 0,009$, GNSS приймач повинен бути налаштований хоча б на 25 усереднень.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ СТВОРЕННЯ ПЛАНОВОЇ РОЗПЛАНУВАЛЬНОЇ ОСНОВИ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

3.1 Загальні принципи та особливості проведення планових розмічувальних робіт на будівельному майданчику

При проектуванні великого комплексу споруд та промислових об'єктів використовують умовну систему плоских прямокутних координат [4, 12, 35, 40] (в подальшому генплану), у якій осі абсцис і ординат розташовують паралельно головним осям майбутніх споруд або червоним лініям. Дана система координат є досить зручною з точки зору спрощення розрахунків для виносу осей споруд і підземних комунікацій. Однією з переваг системи є те, що розрахунок координат пункту у випадку паралельності лініям забудови осей координат зводиться до сумування технологічних розмірів будівлі та запроектованих віддалей між ними, що практично усуває можливість помилок під час обчислень. Важливим фактором є те, що взаємне розміщення і розміри будівель визначені в системі координат генплану безпомилкові, а координати пунктів особливо червоних ліній і навіть пунктів геодезичної основи відомі з певною точністю і можуть містити навіть грубі похибки.

Класично саму систему умовних координат виносять і закріплюють на місцевості в підготовчий період будівництва як будівельну сітку. Напрямок осей координат вибирають паралельно лініям будівельної геодезичної сітки, а початок координат – таким, щоб всі пункти мали позитивні координати (часто за початок координат умовно приймають південно-західний кут будівельної геодезичної сітки).

Для винесення в натуру сітки одну лінію її прив'язують до пунктів геодезичної основи [12, 40] і закріплюють на місцевості. Потім будують в точці початку відліку дві взаємно перпендикулярні лінії і від цих ліній розбивають сітку. По вершинах сітки прокладають полігонометричні ходи для визначення

уточнених координат та проводять їх редукування, тому пункти повинні закладатись з мінімальним відхиленням від проектного положення. При необхідності забезпечення високої точності розпланувальних робіт необхідно будувати будівельну сітку із сторонами квадратів 50 м, що призводить до високих матеріальних затрат на виготовлення та закладання пунктів. Також значним недоліком є те, що при виконанні земляних робіт на будівельному майданчику неминучі втрати закладених пунктів, що зумовлює до необхідності їх відновлення. Після закріплення пунктів бетонними знаками є необхідність у додаткових роботах з винесення головних осей.

Наявність будівельної сітки дещо спрощує виконання розмічувальних робіт з перенесення проекту на місцевість, однак її створення, як це було вище описано, це доволі клопіткий, часо- та матеріальнозатратний процес. В сучасних реаліях, коли зростає тенденція зведення цілих житлових масивів із висотними будівлями складної конфігурації, що мають нетипові поверхи і елементи конструкцій різних форм, створення будівельної сітки не є ефективним, оскільки вимагає великих затрат як часу, так і фінансів.

Таким чином, є необхідність впровадження сучасних засобів геодезичних вимірювань, які повинні супроводжуватися створенням нової методики виконання розмічуваних робіт та опрацювання результатів. Альтернативою класичної будівельної сітки може бути виростання RTN рішень для створення на будівельному майданчику зовнішньої геодезичної розмічувальної основи та винесення в натуру положення головних осей. Згідно з виконаними дослідженнями [10, 111-116, 117, 120, 153, 168], гарантована споживачам послуг мережа референцних станцій надає точність винесення координат пунктів в стандартному RTN режимі з використанням віхи для встановлення GNSS антени, яке не перевищує 2 см. У той же час згідно досліджень, що виконані на еталонному полігоні, який знаходиться на віддалі 2 км від референцної станції, встановлено, що середня квадратична похибка виміру кута та відстані становила $m_{\text{кут}}=4,3'' \pm 0,95''$ та $m_{\text{від}}=3,2 \text{ мм} \pm 0,01$ відповідно.

Розрахуємо похибку через нахил віхи зумовлену круглим рівнем

$$m_{\text{нахилу}} = \operatorname{tg}(\nu) L = 0,0057596 \cdot 1,5 \text{ м} = 0,009 \text{ м}, \quad (3.1)$$

де ν – точність круглого рівня ($\pm 10'$);

L – висота віхи (1,5 м).

Таким чином, можна зробити висновок, що використання віхи для виконання основних планових розмічуваних робіт є недоцільним. Похибка винесення точки спричинена низькою точністю круглого рівня віхи та становить 9 мм, що безпосередньо перевищує СКП винесення віддалей RTN методом.

Для вирішення даної проблеми було створено пристрій для центрування GNSS антени [59]. В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення пристрою для центрування, який дозволяє підвищити продуктивність геодезичних робіт і точність отриманих результатів. Ця задача була вирішена шляхом використання в конструкції пристрою оптичного центрира, що дозволило зменшити час центрування та підвищити його точність, адже точність передачі координат від репера або геодезичного знаку на приймач за допомогою оптичного центрира буде вищою, ніж за допомогою віхи з круглим рівнем. Однією із особливостей даного пристрою є те, що завдяки сферичному шарніру, на якому базується стрижень із противагами, завжди встановлює вісь стрижня вертикально, що значно полегшує його приведення в робоче положення. Застосування змінних противаг дозволяє базувати на пристрої важкі та несиметричні прилади.

Пристрій для центрування рисунок 3.1 містить основу 1, яка складається із сталюого диска з привареними до нього кронштейнами. На ній базується збірна кришка 2, до якої входять накладка 3 та втулка 4, що в своїй нижній частині містить різьбову поверхню, які нерухомо з'єднано гвинтами 5. Внутрішні поверхні накладки 3 та втулки 4 формують внутрішню сферичну

поверхню, яка разом зі сферичною втулкою 6, що напресована на державці 7 утворюють сферичний шарнір, кришка 2 фіксується на основі 1 за допомогою кріпильної гайки 8, яка нагвинчується на різьбову поверхню втулки 4, яка в свою чергу проходить через отвір основи 1. Державку 7 виконано пустотілою, всередині отвору якої встановлено оптичний центрир, що складається з об'єктива 9 та окуляра 10. У верхній її частині виконано точну виточку 11, яка дозволяє базувати прилади (GNSS, відбивач тощо), при цьому по зовнішній поверхні державки 7 у нижній частині встановлюють змінні противаги 12, що являють собою набір дисків з отвором, які фіксують в осьовому напрямку гайкою 13, яка нагвинчується на різьбу, що нарізана у нижній частині державки. Ніжки 14 шарнірно з'єднані з кронштейнами основи 1 за допомогою шпильок 15 та гайок 16. Ніжки 7 виконано із алюмінієвої труби із загостреними сталевими вставками 17.

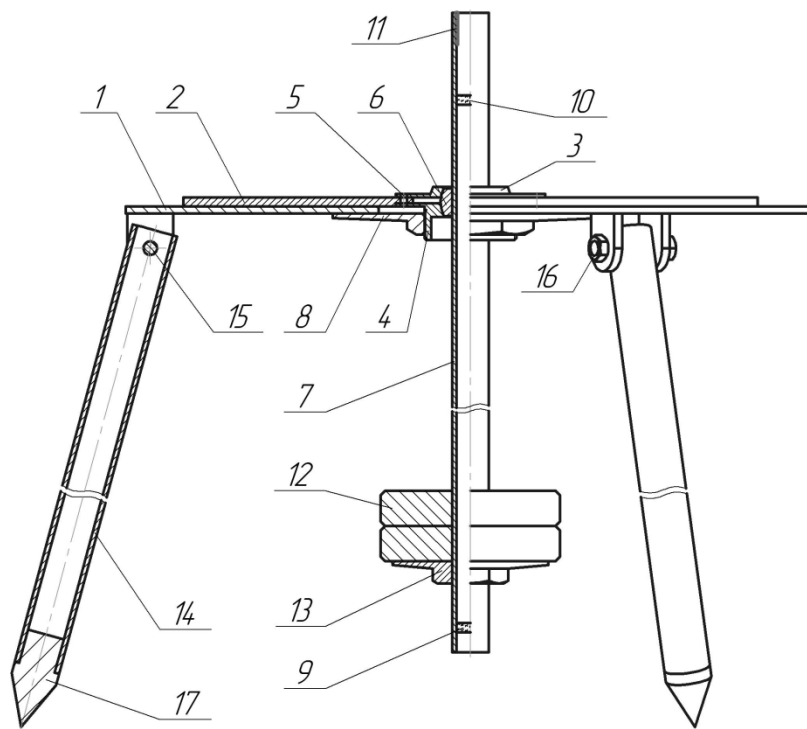


Рис.3.1 - Схема пристрою для центрування GNSS антени

Встановлюють основу 1 пристрою за допомогою ніжок 14 з вставками 17 над попередньо знайденим репером або геодезичним знаком, переміщаючи

збірну кришку 2 відносно основи 1 в площині їх дотику, і таким чином за допомогою оптичного центрира із об'єктивом 9 та окуляром 10 суміщають вісь державки 7 з центром репера. Вісь пристрою завжди займає вертикальне положення завдяки сферичному шарніру, що формується внутрішніми поверхнями накладки 3 та втулки 4, які нерухомо закріплені гвинтами 5 до збірної кришки 2 та сферичною втулкою 6, що напресована на державці 7, на якій також по її зовнішній поверхні базуються противаги 12, які за допомогою сили тяжіння встановлюють пристрій, що встановлюється на виточці 11 у верхній частині державки 7, в робоче положення. Після проведення центрування фіксують збірну кришку 2 до основи 1 за допомогою кріпильної гайки 8 та встановлюють на виточку 11 державки 7 прилад (GNSS приймач, відбивач тощо), за допомогою якого виконують вимірювання. Противаги базуються по зовнішній циліндричній поверхні державки 7 в її нижній частині і зафіксовані в осьовому напрямку гайкою 13, монтують на пристрій при потребі встановити прилад із зміщеним центром мас або з великою масою у вітряну погоду, а при встановленні легких приладів пристрій може працювати і без них.

Точність роботи пропонованого пристрою залежить від похибки наведення оптичного центрира, яка забезпечує вищу точність, ніж пристрої, побудовані на базі стрижня із круглим рівнем, що дозволяє якісно підвищити передачу координат пункту на прилад.

Одержані результати дають змогу виконати розрахунок похибки виносу проектної точки на місцевість - m_n . Наприклад, при способі полярних координат

$$m_n = \sqrt{m_s^2 + (m_\beta / \rho)^2 \times S^2}, \quad (3.1)$$

де m_s – точність визначення лінії;

m_β – точність визначення кута;

S – віддаль в мм.

Класично на точність виконанні розмічувальних робіт тахеометром (m_p) впливають такі технічні похибки, як центрування приладу і візирних цілей ($m_{Ц}$), похибки фіксації на місцевості (m_{ϕ} , яка є стандартною і приймається рівною 2 мм), похибки вихідних даних ($m_{ВИХ}$), а також похибки власне розмічувальних робіт m_{PP} , які залежать від геометричного методу розмічування

$$m_p = \sqrt{m_{PP}^2 + m_{ВИХ}^2 + m_{Ц}^2 + m_{\phi}^2} \quad (3.2)$$

При виконанні планових розпланувальних робіт GNSS приймачем та розробленим пристроєм для центрування антени це не так. Запропонована методика має ряд переваг порівняно із класичними методами, зокрема, на взаємну точність винесення елементів супутниковими методами не впливає ряд технічних похибок, притаманних тахеометрам, наведених у співвідношенні (3.2). Тому формула для винесення проектних елементів буде мати такий вигляд

$$m_p = \sqrt{m_{PP}^2 + m_{\phi}^2} . \quad (3.3)$$

Взаємна точність винесення точки RTN методом за результатами досліджень склала 3,8 мм для віддалей до 100 м.

На підставі виконаних обчислень можна стверджувати, що загальна похибка розмічувальних робіт m_p визначена за (3.3) буде становити 4,3 мм.

У таблиці 3.1 наведено технологічні допуски точності виготовлення і монтажу конструкцій та геодезичних робіт відповідно до діючих норм [19, 20] на розмічувальні роботи для віддалей 100 м залежно від класності роботи.

$$\Delta L = i \cdot K \quad (3.4)$$

де i – одиниця допуску допуску;

K – коефіцієнт точності табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Необхідна точність розмічувальних робіт в залежності від класу точності

Технологічний процес	Коефіцієнт (в класах точності) K					
	1	2	3	4	5	6
Геодезичні роботи	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5
ΔL г. р. [мм] при $L=100m$	12,5	20	30	50	80	125

При геодезичних роботах одиницю допуску i визначають за формулою

$$i=0,001 \cdot \alpha \cdot L \quad (3.5)$$

де α – коефіцієнт, при плановому розмічуванні точок та осей приймається 1;

L – розмір конструкції в мм, або довжина осей при перенесенні їх в натуру.

Найбільшої точності вимагають геодезичні розмічувальні роботи першого класу. Взаємна точність винесених елементів не повинна перевищувати 12,5 мм та створення будівельної сітки, а точність взаємного розташування суміжних пунктів не повинна перевищувати 10 мм при довжині сторони будівельної сітки 200 м, що складає відносну похибку 1:20 000 [4, 82].

Виконання основних планових розмічувальних робіт (винесення опорної геодезичної та головних осей будівництва) GNSS приймачем має ряд переваг порівняно з класичними методами, зокрема, на взаємну точність винесення елементів супутниковими методами не впливають технічні похибки, притаманні класичним методам, зокрема, похибки центрування приладу, візирних цілей вихідних даних та власне розмічувальних робіт [19, 20]. Розмічувальні інженерно-геодезичні роботи можна продовжити виконувати навіть через тривалий термін (декілька місяців), однак за дотримання подібних технологічних параметрів, таких як HDOP, HRMS та кількість супутників N .

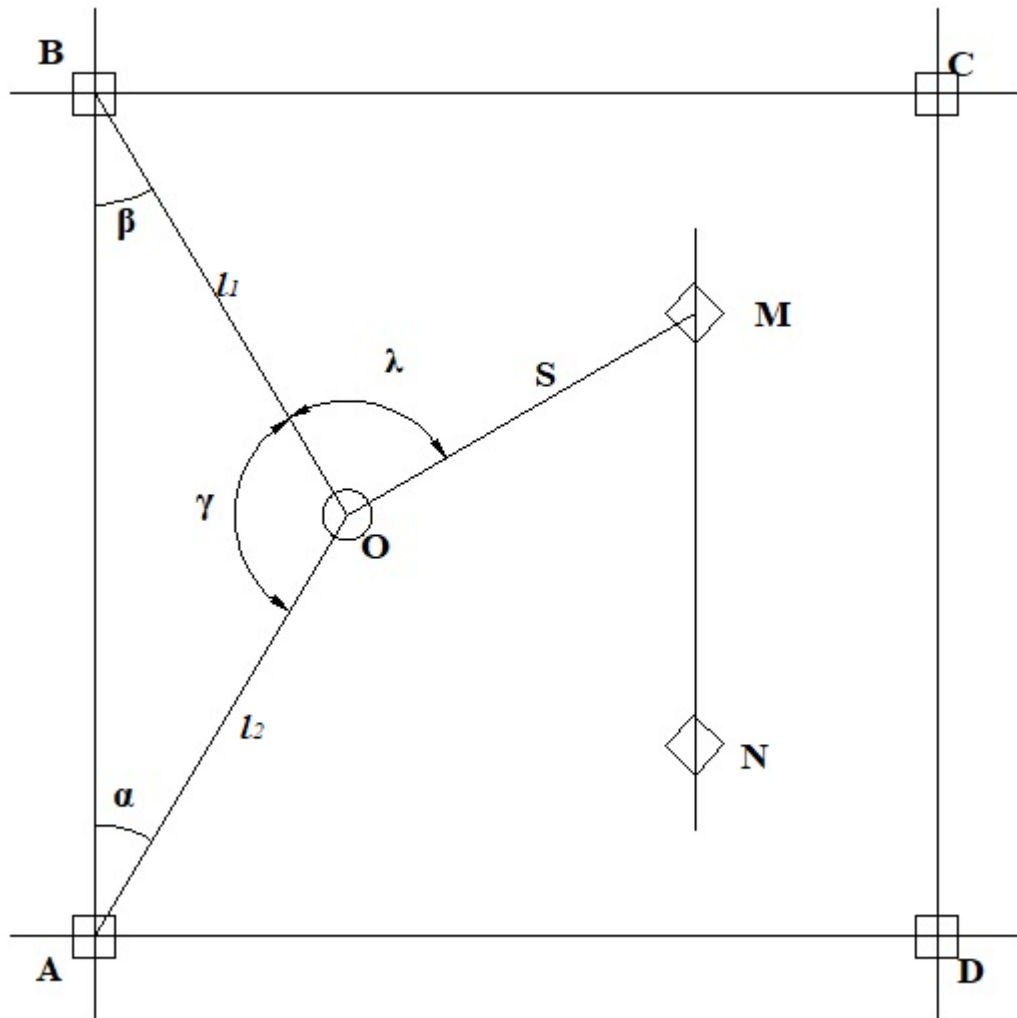
3.2 Можливості виконання детальних розмічувальних робіт з використання сучасних технологій (RTN рішень та TPS)

Особливості та методики використання GNSS вимірів були представлені у дисертаційних роботах Медведського Ю. В. [56] (геодезичне забезпечення будівництва висотних будинків) та Яндрова І. О. [100] (виконання детальних розпланувальних роботах на будівельному майданчику). Однак необхідно відзначити, що в даних роботах не розглядаються можливості RTN спостережень, які не були достатньо розвинуті на той час в Україні.

Як відомо, основною проблемою при виконанні розмічувальних робіт на будівництві є необхідність дотримання принципу підвищення точності при переході від вищого ступеня до нижчого [24, 26, 27]. Такий принцип на практиці досить важко реалізувати, оскільки класично нижчий ступінь успадковує всі похибки вищого. Також координатне забезпечення будівельного майданчика на якому є декілька споруд, що мають спільні конструктивні зв'язки, повинно бути реалізоване шляхом створення геодезичної розмічувальної основи. Згідно діючих нормативних документів [19, 20] це повинна бути мережа мікротріангуляції, полігонометрії, мікротрилатерації або будівельна сітка, що враховуючи сучасні можливості GNSS недоцільно.

В роботі [114] рекомендується оптимальна методика створення геодезичної основи на будівництва для однієї чи комплексу споруд об'єднаних одним технологічним циклом. У цьому випадку опорною геодезичною мережею на будівельному майданчику повинні слугувати мінімум два базиси, 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 може збільшитись в залежності від конфігурації та особливостей будівництва. Детальні розмічувальні роботи необхідно виконувати електронним тахеометром за типовою схемою у режимі виміру відносно базової лінії, яка дає змогу позбутися похибок вихідних

даних (рис. 3.2). Опорний базис також слугує додатковим контролем, адже його віддаль визначена за координатами опорних пунктів порівнюється із відповідною віддалю виміряною за допомогою тахеометра.



- – пункти опорної геодезичної мережі;
- ◇ – точки закріплення основних осей;
- – місце розташування електронного тахеометра.

Рис. 3.2 Типова схема розмічувальних робіт з використанням RTN-методу

Використовуючи робочі креслення створені в AutoCad, готують відповідні файли з координатами для винесення від головної осі (базової лінії) в натуру електронним тахеометром елементи будівництва. В роботі [114] рекомендується

використовувати опорний базис для додаткового контролю, адже його віддаль визначена за координатами опорних пунктів порівнюється із відповідною віддалю виміряною за допомогою тахеометра. Уточнимо, в загальному випадку горизонтальне прокладення базисної лінії - S , слід визначати не за координатами в УСК-2000, чи іншими картографічними, а за формулою (3.9) за геоцентричними координатами.

Для виконання детальних розмічувальних робіт в цьому випадку достатньо знати тільки координати x та y однієї точки базису та задатись дирекційним кутом лінії 0° чи 90° . Розпланувальні роботи можна виконати із одного базиса, однак ми рекомендуємо закласти мінімум два та більше, щоб забезпечити видимість на всьому об'єкті з врахуванням можливої втрати пунктів під час будівельних робіт.

Важливу роль відіграє і те, що пункти А, В, С, D виносяться без накопичення таких похибок, як центрування візирних цілей та похибки вихідних даних. Розглянемо можливість використання описаної вище методики винесення основних осей споруди для забезпечення розмічувальної мережі будівельного майданчика і споруди без побудови класичної будівельної сітки та покажемо можливість додаткового контролю цих робіт шляхом використання одержаних з GNSS вимірів довжин базисів.

Як відомо, режим виміру відносно базової лінії [11] ґрунтується на вимірюванні віддалей l_1, l_2 та кута γ , після ЕТ визначає координати свого місцезнаходження, що дає можливість без накопичення похибок центрування, виконувати винесення в натуру. Цей метод крім переваг (зокрема, на взаємну точність винесення елементів не впливають такі похибки, як центрування приладу, похибки фіксації точки О на місцевості, похибки вихідних даних та відносна простота у застосуванні), має і недолік, що полягає у відсутності контролю. Тому рекомендується виконувати повторні контрольні виміри, змінюючи місце розташування ЕТ.

У випадку, якщо винесення точок базисів виконано за допомогою GNSS приймача і ми знаємо довжину базису з цих вимірів з достатньою точністю, є можливість ще одного додаткового контролю визначення координат точки О. Для цього спочатку визначаємо довжину базиса, наприклад, АВ за теоремою косинусів з рівняння

$$AB = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \gamma} \quad (3.6)$$

Після того, знаючи відстань, за відомою формулою знаходимо кут α

$$\sin \alpha = \frac{l_2 \cdot \sin \gamma}{AB} \quad (3.7)$$

Знаючи кут α , можна визначити прирости координат точки О, на якій безпосередньо знаходиться тахеометр. Дві віддалі та кут між ними – це мінімальна кількість вимірів, за якими можна знайти умовні координати точки О, з початком координат в точці А. Саме в такій орієнтації вони подаються робочих кресленнях

$$y = l_1 \sin \alpha, \quad x = l_1 \cos \alpha \quad (3.8)$$

Недолік режиму вимірювання відносно базової лінії полягає у відсутності контролю, тому щоб уникнути повторних контрольних вимірювань з іншої точки, знайдене у рівнянні (3.6) значення віддалі слід порівнювати з довжиною базиса, визначеною за координатами згідно рівняння

$$AB = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2) - \Delta H^2}, \quad (3.9)$$

де ΔX , ΔY , ΔZ , ΔH – різниці координати опорних пунктів одержані за результатами супутникових спостережень.

Визначимо допустиме розходження між двома значеннями віддалей, визначеними за формулами (3.6) та (3.9). Для спрощення і наочності розрахунку розглянемо частковий випадок, коли сторони l_1 та l_2 однакові та виміряні електронним тахеометром з однаковою точністю, СКП рівні $m_{l_1} = m_{l_2}$

$$AB = \sqrt{2l^2 - 2l^2 \cos \gamma} = \sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)}. \quad (3.10)$$

Продиференціюємо функцію (3.10) за l та γ , в результаті чого одержимо:

$$\frac{\partial AB}{\partial l} = \frac{2l(1 - \cos \gamma)}{\sqrt{2l^2(1 - \cos \gamma)}} = \sqrt{2(1 - \cos \gamma)} = \sqrt{\frac{4(1 - \cos \gamma)}{2}} = \sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}} = 2 \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial AB}{\partial \gamma} = \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{2(1 - \cos \gamma)}} = \frac{l \sin \gamma}{\sqrt{4 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}} = \frac{l \sin \gamma}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = \frac{2l \sin \frac{\gamma}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} = l \cos \frac{\gamma}{2}. \quad (3.12)$$

Тоді точність знаходження віддалі за допомогою електронного тахеометра з врахуванням часткових похідних (3.11) та (3.12) буде

$$m_{AB}^2 = \left(\frac{dAB}{dl}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{dAB}{d\gamma}\right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} = \left(2 \sin \frac{\gamma}{2}\right)^2 m_S^2 + \left(l \cos \frac{\gamma}{2}\right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}.$$

Після спрощення, отримаємо

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} l^2 \cos^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (3.13)$$

Згідно формули (3.13), максимальне значення похибки розраховується

$$m_{AB}^2 = 4m_S^2 + l^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \quad (3.14)$$

Розрахунки за формулою (3.14) проілюстровано на рисунку 3.3, де по осі абсцис відкладено віддаль l , а – ординат кут γ .

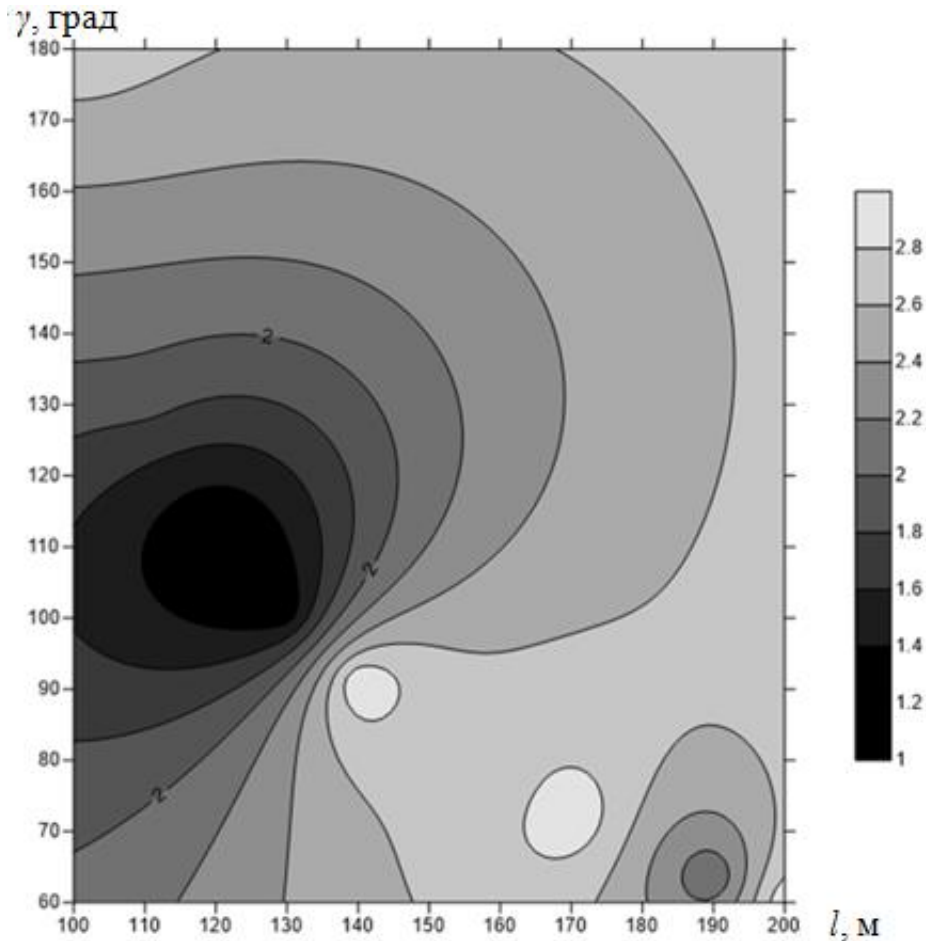


Рис.3.3 - Залежність похибки визначення віддалі m_{AB} від положення точки O на будівельному майданчику

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. При обчисленнях приймали точність визначення віддалей $m_S = 0,0015$ м та кута $m_\beta = 2''$.

Таким чином, СКП винесення базису AB супутниковим методом та максимальна похибка визначення цієї відстані методом вимірювання відносно

базової лінії є рівноточними, що дає нам можливість, порівнюючи дані значення віддалі, додаткового контролю виконання оберненої лінійно кутової засічки.

3.3 Запропонована методика координатного забезпечення розпланувальних робіт на проммайданчику GNSS методом

Для більшості інженерно геодезичних робіт, зокрема геодезичного супроводу будівництва, є необхідність визначення та винесення в натуру саме натуральних віддалей та кутів. У той же час координати опорних пунктів самого генплану відомі, у проекції Гаусса-Крюгера, у поєднанні з нормальною висотою (УСК 2000 та похідні від неї 26 місцевих систем координат, в подальшому будемо їх називати картографічними). Визначені за цими картографічними координатами довжини ліній, відрізняються від проектних на величину, зумовлену проектуванням на референц-еліпсоїд (поправка - Δ_H) та на дотичний циліндр в проекції Гауса-Крюгера, або січний в проекції UTM (поправка - Δ_Γ):

$$\Delta_H = -S \times \frac{H_m}{R_m}, \quad (3.15)$$

$$\Delta_\Gamma = +S \times \frac{y_m^2}{2R_m^2}. \quad (3.16)$$

де H_m – середня висота вимірної сторони, для будівельного майданчика;

S – горизонтальне прокладення віддалі між точками;

R_m – середній радіус кривизни еліпсоїда;

y_m – середнє значення із перетворених ординат кінців лінії.

Оскільки поправки Δ_Γ і Δ_H із протилежними знаками, то частково загальна поправка компенсується. Ця загальна поправка за перехід на площину в проекції Гаусса-Крюгера як і UTM матиме вигляд

$$\frac{\Delta_{\text{ред}}}{S} = \frac{\Delta_{\Gamma} + \Delta_H}{S} = \left(\frac{y_m^2}{2R_m^2} - \frac{H_m}{R_m} \right). \quad (3.17)$$

Розглянемо частковий випадок коли вибір розміщення будівельного майданчика відносно осьового меридіану та висот місцевості співпадають, таким чином, щоб сума цих двох поправок була рівна нулю:

$$\Delta_{\Gamma} = \Delta_H, \quad (3.18)$$

$$S \times \frac{y_m^2}{2R_m^2} = S \times \frac{H_m}{R_m}. \quad (3.19)$$

Звідси, якщо задана H_m то

$$y_m = \sqrt{2R_m \times H_m}. \quad (3.20)$$

Якщо відома величина y_m то

$$H_m = \frac{y_m^2}{2R_m}. \quad (3.21)$$

Таким чином, якщо будівництво ведеться, для прикладу, на віддалі 14 км від осьового меридіану, то для того щоб поправка (3.15) була рівна нулю висота поверхні - H_m повинна становити

$$H_m = \frac{14^2}{2 \times 6371} = 15,4 \text{ м.} \quad (3.22)$$

До речі, саме такий вибір поверхні відносності рекомендується у роботі [35].

У той же час середні висоти для даної місцевості 250-300 м, що робить такий підбір практично не реальним, тому різниця між натуральною довжиною лінії та визначеною за координатами в УСК-2000 буде рівна 1/25 000 довжин ліній на генплані (див. рис. 3.4).

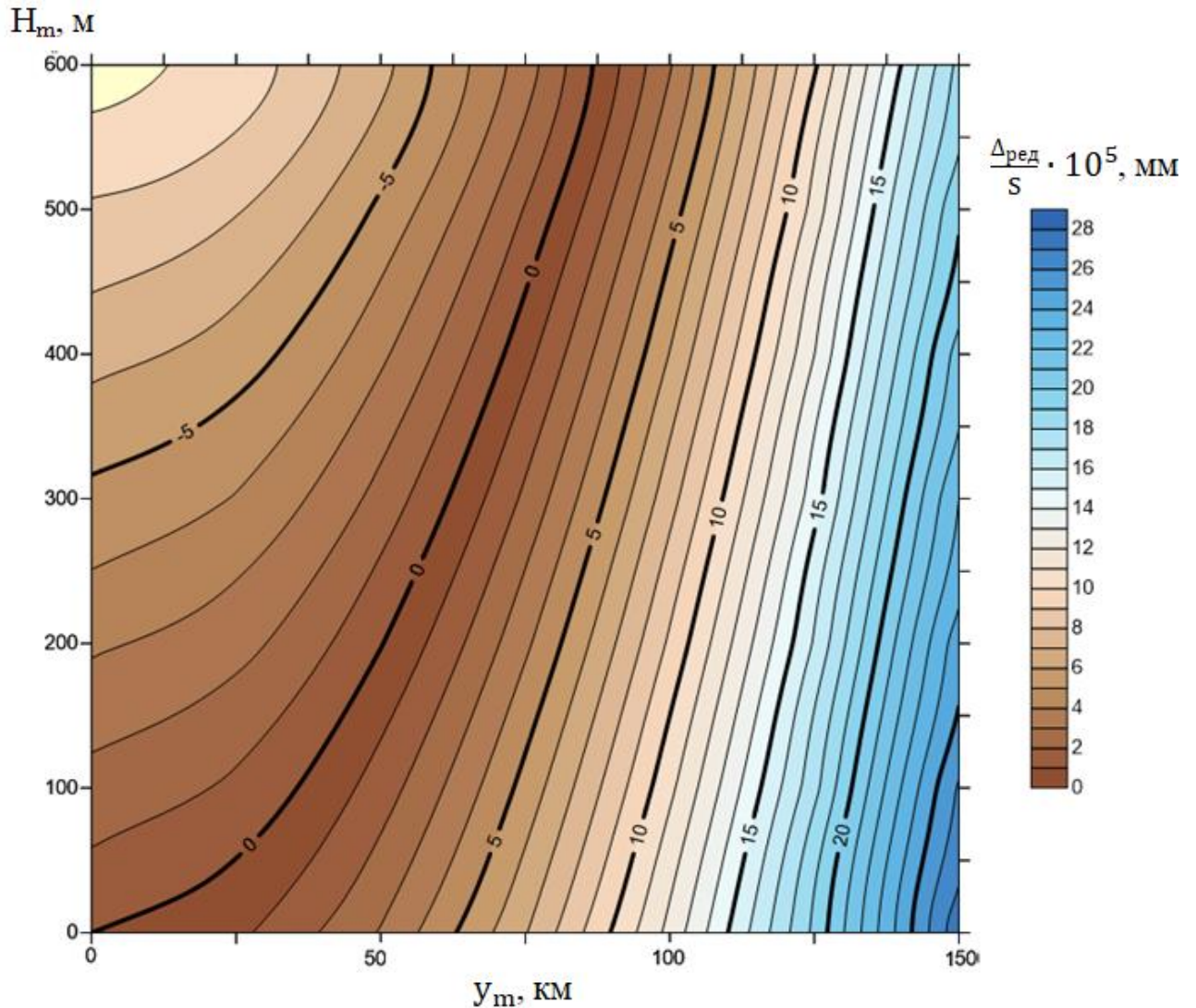


Рис. 3.4 – Розподіл загальної поправки переходу на площину в проекції Гаусса-Крюгера у залежності від віддалі до осьового меридіана та середньої висоти вимірної сторони

На рис. 3.4 проілюстровано загальну поправку переходу на площину в проекції Гаусса-Крюгера, згідно формули (3.15). По осі абсцис відкладено значення віддалі u_m від осьового меридіана до проммайданчика в км, а по осі ординат – середню висоту H_m вимірної сторони в метрах. Для наочності

одержаних значень всі коефіцієнти $\frac{\Delta_{ред}}{S}$, що наведені на графіку помножені на 10^5 (що відповідає довжині лінії 100 м). Наприклад, при середній висоті будівельного майданчика 300 м та його віддаленості від осьового меридіану 100 км максимальна поправка при винесенні ліній довжиною 100 м, за редукування складає – 10 мм. При більших довжинах ліній значення поправки буде пропорційно зростати, при тих же умовах поправка для віддалі 300 м становитиме 30 мм, проте відносна похибка не перевищить 1/10 000 для усіх випадків. Аналіз рис. 3.4 показує, що у трьохградусній зоні максимальна відносна похибка не перевищує 1/4 000, тому при виконанні зйомок, навіть в масштабі 1:500, нею можна нехтувати. Це ж стосується і першого етапу основних розпланувальних робіт. Цей етап полягає в тому, що від геодезичних пунктів, виносять і закріплюють головні розмічувальні осі. Нормативна точність цих робіт повинна складати 3-5 см. Згідно одержаних результатів, які відображені на рис. 3.4 можна стверджувати, що необхідна точність на першому етапі розпланувальних робіт досягається навіть на краю зони при полярних віддальх до 100 м. У той же час на віддалі до 50 км від осьового меридіану можна виносити в натуру базисні сторони довжиною навіть до 1 км. Також слід відзначити, що при пошуку параметрів трансформування для даних випадків масштабний коефіцієнт m можна приймати рівним 1. Проте для забезпечення міліметрової точності, яка потрібна при основних розпланувальних роботах, картографічними координатами ми можемо користуватись тільки у вузькій смузі від 40 до 60 км від осьового меридіану (при середній висоті проммайданчика 300 м).

Розглянемо випадок, коли необхідно враховувати різницю у довжинах ліній, винесених за картографічними координатами в УСК-2000 і проектними довжинами, наприклад, на краю трьохградусної зони при полярних віддальх більше 100 м, а також на другому етапі розпланувальних робіт.

Нормативна точність другого етапу розпланувальних робіт (винесення основних осей) складає 3-5 мм. За результатами досліджень точності RTN

вимірів в мережі, наприклад, System Solutions [10, 111] було встановлено, що середня квадратична похибка виміру кута та віддалі не перевищує $m_{\text{кут}} = 4,3''$ та $m_{\text{від}} = 3,2$ мм відповідно. Для статичних, синхронних вимірів досягнута точність навіть більша [63, 78, 8891], що дозволяє використовувати GNSS виміри і при другому етапі розмічувальних робіт або хоча б для контролю вимірів електронним тахеометром.

Для забезпечення високої точності розпланувальних робіт (3-5 мм) ми рекомендуємо додатково використовувати топоцентричну прямокутну систему координат [63, 64]. Дана необхідність обґрунтовується специфікою задачі: порівняно малі віддалі між точками 100 – 200 м та використання GNSS приймача. У такому разі трансформування пунктів необхідно виконувати в два етапи: спочатку визначити геоцентричні координати опорних базисів (проектні координати яких відомі згідно технологічних креслень), після чого за строгими формулами (3.27-3.33) перейти до запропонованої координатної площини. За неї приймається площина не геодезичного горизонту, а горизонтальна площина, як на генплані, із віссю x напрямленою в площині геодезичного меридіану. Дана математична основа буде найкращим рішенням для геодезичного забезпечення окремого будівельного майданчика. При використанні ортогональної проекції на горизонтальну площину у прямокутній декартовій системі координат у виміряні величини не вводяться поправки для переходу на поверхню відносності та на площину проекції Гаусса-Крюгера. Тому при аналітичній підготовці проекту будівництва, знайдені за плановими координатами в цій проекції довжини і напрямки, будуть рівні їх технологічним розмірам, що дозволяє трансформувати проектні координати елементів в систему, із якою працює GNSS без врахування масштабного коефіцієнта.

Доведемо, що у нашому випадку ортогональна проекція на горизонтальну площину може вважатись такою, що співпадає з топоцентричною системою координат (див. рис. 3.5). При такому виборі координатної площини, напрямки

Поправка в горизонтальний кут за відхилення прямовисної лінії від нормалі обчислюється за формулою

$$v = (\eta \cos A - \xi \sin A) \operatorname{ctg} z, \quad (3.23)$$

де $z = 90 - v$, v - вимірний кут нахилу лінії;

A - азимут напрямку;

η, ξ - складові відхилення прямовисної лінії проекції на площини першого вертикалу та меридіана.

Оскільки розмічування ведеться на розпланованій місцевості приймемо, що максимальний ухил будівельного майданчика не перевищує 5° тоді максимальне значення поправки у горизонтальний кут за відхилення прямовисної лінії від нормалі становитиме

$$v_{max} = \eta \operatorname{ctg} z = 0,09\eta. \quad (3.24)$$

Середнє відхилення прямовисних ліній на території України рівне 4-5", а у гірських районах може сягати 30" [21], що впливає на поправку у визначений напрямок не більше ніж на 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.

Так само у більшості випадків є несуттєвим і вплив різниці в відхиленнях виска на кінцях лінії, на величину горизонтального прокладення – δS , який можна визначити за формулою

$$\delta S = \frac{u_2'' - u_1''}{\rho''} H_m. \quad (3.25)$$

При умові $\delta S \leq 1$ мм максимальне значення $u_2'' - u_1''$, яке можна не враховувати у залежності від висоти проммайданчика, знаходимо з виразу

$$(u_2'' - u_1'') \max = \frac{\rho''}{H_m(\text{в мм})}. \quad (3.26)$$

Наприклад для висот до 400 м $(u_2'' - u_1'')_{\max}$ допускається до 0,5", більша величина ніж 0,5" на порівняно невеликих віддальх, навіть 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, не говорячи вже про окремі їх комплекси, 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.

Виходячи з цього можна запропонувати наступну оптимальну методику розпланувальних робіт при забудові проммайданчиків.

1. За технологічними розмірами визначаємо проектні координати – $X_{г.п.}$, $Y_{г.п.}$ всіх пунктів існуючої геодезичної основи і кінців базисних ліній, паралельних до осей генплану, від яких будемо вести розпланування споруди, або комплексу пов'язаного єдиним технологічним циклом. Як це описано в роботі [114] виносимо та закріплюємо в натурі базову лінію АВ. Враховуючи вірогідність знищення одного з пунктів при проведенні земляних робіт, у натуру бажано винести і закріпити мінімум дві базові лінії. Наприклад, для випадку зображеного на рис. 4.1 доцільно винести в якості базових пункти А, В і С – на перетині створів існуючої будівлі та запроектованих точок основної осі 16-15. Точки А та С можна винести навіть і за картографічними координатами.

2. Після закріплення базисів у натурі визначаємо координати методом GNSS X_A, X_B, Y_A, Y_B – геоцентричні координати точок базису,

B_A, L_A, B_B, L_B – геодезичні координати точки В базису, а також для контролю координати точок червоних ліній, від яких виконано проектування розміщення споруд.

3. Обов’язково аналізуємо одержані координати точок червоних ліній на можливі грубі помилки у координатах, визначаючи за геоцентричними координатами GNSS віддалі між ними (за формулою (2.14)) та порівнюючи їх з технологічними розмірами. При виявленні помилок, узгоджуємо це питання з проектантом.

4. Для винесення контуру споруди – основних осей знаходимо за проектними координатами точок, які будуть закріпляти контур споруди і проектними координатами точок базису їх топоцентричні координати – x_i, y_i за формулами, які представимо у вигляді

$$x_i = S \cos A, \quad y_i = S \sin A, \quad (3.27)$$

де S – віддаль від початку координат до точки;

A – азимут до точки, $A = A_{\text{поч}} + \beta$

Віддаль від початку координат до точки знаходять за формулою

$$S = \sqrt{\Delta x_{A-i}^2 + \Delta y_{A-i}^2}, \quad (3.28)$$

де $\Delta x_{A-i}, \Delta y_{A-i}$ – різниця проектних координат точки А (початку проектної системи координат) та i -тої, яку виносять в натуру.

Азимут до точки знаходять за формулою

$$A = A_{\text{поч}} + \beta, \quad (3.29)$$

де β – азимут, що рівний, $\beta = \arctg \frac{\Delta y_{A-i}}{\Delta x_{A-i}}$.

$A_{\text{поч}}$ – геодезичний (від площини геодезичного меридіану) азимут базисної лінії АВ, що рівний, $A_{A-i} = \arctg\left(\frac{y'_B}{x'_B}\right)$.

Вище описані азимути визначається із результатів GNSS вимірів на точках базису. Для нашого випадку його можна обчислити за формулами:

$$\begin{vmatrix} x'_B \\ y'_B \end{vmatrix} = P'_B \begin{vmatrix} X_A - X_B \\ Y_A - Y_B \end{vmatrix}, \quad (3.30)$$

де P'_B - матриця перетворення;

$$P'_B = \begin{vmatrix} -\sin B_B & -\sin B_B \sin L_B & \cos B_B \\ -\sin L_B & \cos L_B & 0 \\ \cos B_B \cos L_B & \cos B_B \sin L_B & \sin B_B \end{vmatrix}. \quad (3.31)$$

де X_A, X_B, Y_A, Y_B – геоцентричні координати точок базису;

B_B, L_B – геодезичні координати точки В базису.

Відповідно, геоцентричні координати проектних точок, які потрібно винести в натуру, використовуючи GNSS приймач, знаходимо за формулою

$$\begin{vmatrix} X_i \\ Y_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_A \\ Y_A \end{vmatrix} + P \begin{vmatrix} x_i \\ y_i \end{vmatrix}. \quad (3.32)$$

де P – матриця повороту, елементи якої геодезичні координати вихідної точки;

X_i, Y_i, x_i, y_i – відповідні геоцентричні та топоцентричні координати елементів будівництва які необхідно винести;

X_A, X_B - геоцентричні координати пункту базису відносно якого будуть вестись розпланувальні роботи.

$$P = \begin{vmatrix} -\sin B_A & -\sin L_A & \cos B_A \cos L_A \\ -\sin B_A \sin L_A & \cos L_A & \cos B_A \sin L_A \\ \cos B_A & 0 & \sin A \end{vmatrix}. \quad (3.33)$$

Для обчислень геоцентричних координат за координатами точок генплану розроблений програмний комплекс.

5. Використовуючи GNSS приймач, за знайденими координатами WGS-84 виносимо і закріплюємо в натурі головні та основні осі.

6. Для контролю виносимо ці ж точки від базових ліній електронним тахеометром, так як це описано в роботі [6, 114].

Співпадіння в натурі точок, винесених GNSS та розпланованих електронним тахеометром методом від базисної лінії, буде відмінним контролем як для польових, так і камеральних робіт.

Пропонована методика випробувана при детальному розплануванні контуру будівлі як на експериментальному полігоні, так і при винесені в натуру контурів (основних осей) реальних будівель. Результати підтвердили високу оперативність та точність виконання робіт. Потреба в редукуванні винесених пунктів, що закріплюють контур споруди, якщо і виникала, то редуційні величини в усіх випадках були меншими 10 мм. Дані результати були отримані при використанні запатентованого пристрою для центрування GNSS антени [59].

3.4 Апробація методики створення планової розмічувальної мережі

У попередніх підрозділах було запропоновано методичні рекомендації, що до виконання основних розмічувальних робіт (створення на будівельному майданчику геодезичної розмічувальної основи та винесення в натуру положення головних осей) та детальних розмічувальних робіт (режим виміру відносно базової лінії) за допомогою сучасних технологій, а саме використання RTN рішень та TPS.

Як відомо, розмічувальні роботи виконуються одночасно із земельними роботами, що частково ускладнює процес виносу проектних точок на місцевість. На даному етапі будівництва геодезичні роботи виконуються в умовах обмеженої видимості через наявність на майданчику котлованів насипів та великої кількості розташованої техніки. Все це обмежує проходження сигналів до приймачів та можливої відсутності прямої видимості для прив'язки електронного тахеометра, що може впливати на точність отриманих результатів. Тому необхідним є дослідження ефективності запропонованої методики в умовах реального будівництва.

Під час дослідження розроблено та запропоновано проект планових геодезичних розпланувальних робіт із застосуванням запропонованої методики та технологічних рішень для спорудження будівлі складної конфігурації на прикладі будівництва, що здійснювалося у м. Івано-Франківськ. Проект виконання геодезичних робіт розроблений для геодезичного забезпечення будівництва надземної частини дев'ятиповерхового житлового будинку з підземною автостоянкою, розташованого за адресою: вул. Мазепи, 164, п'ята черга.

Проект геодезичних робіт складено відповідно до принципів розробки проектів виконання геодезичних робіт та із врахуванням особливостей об'єкта згідно із сучасними методами і засобами геодезичних вимірювань. Цей проект охоплює такі розпланувальні роботи як: основні планові розмічувальні роботи, тобто винесення та закріплення на будівельному майданчику положення опорних базисів та головних осей з використання супутникових технологій (RTN методу), що визначає загальне положення контуру споруди на місцевості; детальне планові розмічувальні роботи, тобто винесення в натуру та закладання основних (якщо раніше були винесені головні) і детальних осей, а також інших видів робіт для визначення у плані положення елементів і вузлів будівельних конструкцій за допомогою ЕТ.

Перший етап розмічувальних робіт (основні планові розмічувальні роботи) виконувався безпосередньо за допомогою GNSS приймача, який працював в RTN режимі.

При використанні супутникової технології необхідно знати координати мінімум чотирьох пунктів зовнішньої розмічувальної мережі в двох системах координат: в системі координат генплану та у геоцентричній системі координат. Ці пункти потрібні для визначення параметрів зв'язку між системами координат для того, щоб в подальшому, виконуючи розмічувальні роботи за допомогою GNSS приймача та визначивши координати пунктів на будівельному майданчику, мати можливість перерахувати їх в систему координат генплану.

Для цього по чергово на пунктах зовнішньої розмічувальної мережі було встановлено антену GNSS приймач із врахуванням розміщення фазового центру. При спостереженні на одному пункті RTN методом оптимальна кількість усереднень складає 25 – 45. Протягом усіх спостережень потрібно дотримуватись наступних рекомендацій: кількість супутників ≥ 15 , HRMS $\leq 0,009$, HDOP $\leq 0,66$, GNSS приймач повинен бути налаштований на можливість виконання вимірів при фіксованому розв'язку (FIXED).

Параметри трансформації повинні бути визначені із пунктів, які були попередньо вирівняні, або з використанням алгоритмів, математичний апарат яких має можливість відбракування пунктів з грубими помилками. Перерахунок координат здійснювався у два етапи (див. підрозділ 3.3) за алгоритмом, запропонованим в роботі [112].

Спочатку на вказаному об'єкті необхідно було закріпити будівельну систему координат. Для побудови та закріплення опорної геодезичної системи координат на будівельному майданчику необхідно винести у натуру два базиси АВ і CD за допомогою GNSS приймача так, щоб вони були паралельними осям координат X та Y генерального плану, на якому запроектовано об'єкт. Система координат генплану плоска, прямокутна, початок цієї системи збігається з

перетином осей AB і AD (рисунок 3.6) так, що всі основні пункти розмічувальної мережі мали позитивні значення абсцис і ординат. Координатні осі позначені літерами X і Y , причому вісь X направлена уздовж осі AB і позитивний напрямок від осі AD до BC , вісь Y направлена уздовж осі AD і позитивний напрямок від AB до DC .

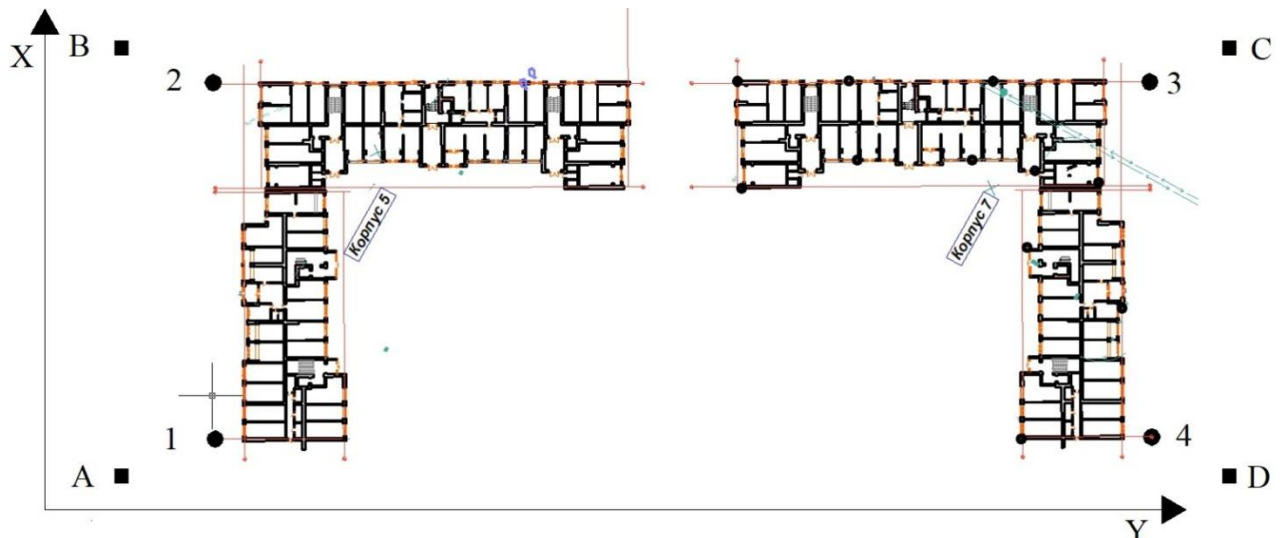


Рис.3.6 - Система координат генплану

Перед винесенням у натуру елементів будівництва їх координат необхідно розрахувати із будівельних креслень та трансформувати у систему координат, із якою безпосередньо працює GNSS приймач.

Безпосередньо для винесення в натуру положення головних осей та характерних точок конструкцій також треба використовувати двочастотний приймач, налаштований на роботу RTN методом. Після цього потрібно закріпити твердими пунктами та забезпечити стабільність їх положення. Відповідні роботи виконують під час будівництва підземної частини будинку і на початковій стадії будівництва надземної частини будівлі. Варіант типового розташування пунктів основної розмічувальної мережі представлений на рис. 3.7.

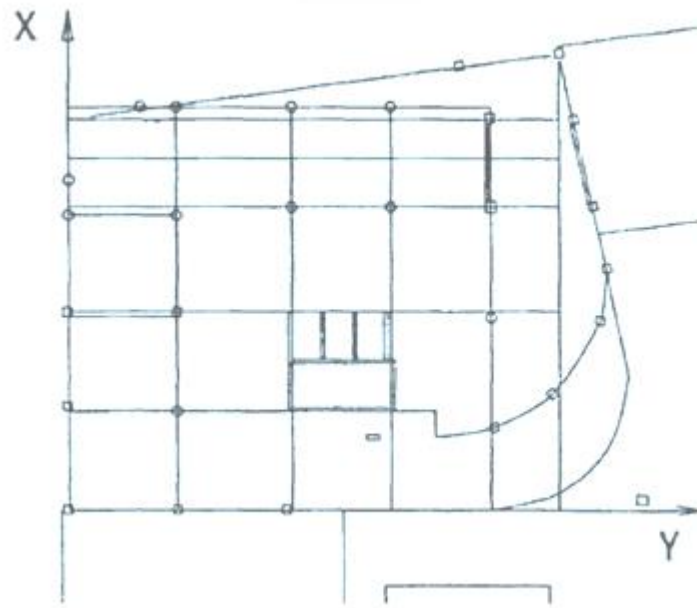


Рис.3.7 - Схема розміщення пунктів планової розмічувальної основи

Для ілюстрації можливостей виконання основних планових розмічувальних робіт за допомогою RTN рішень на закладених пунктах проведено серію контрольних вимірювань високоточним електронним тахеометром для того, щоб оцінити точність координат винесених пунктів. Дослідження виконувались на реальному об'єкті спорудження будівлі складної конфігурації в м. Івано-Франківськ.

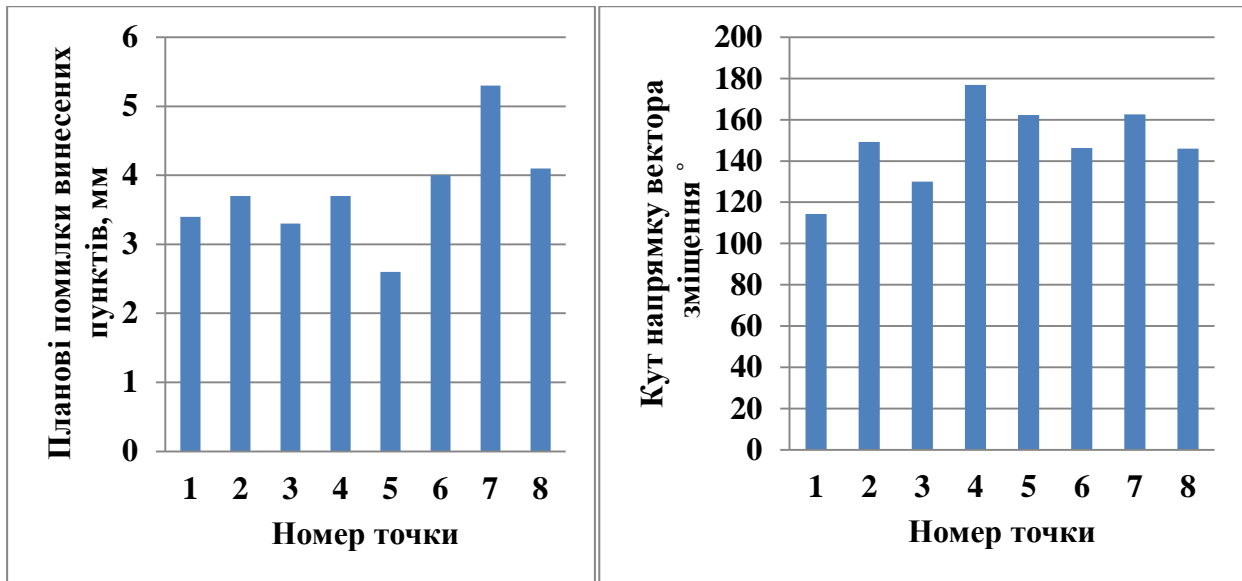
На основі результатів, одержаних електронним тахеометром та GNSS приймачем, визначено різницю координат відповідних пунктів. Дані різниці можна інтерпретувати, як помилки винесення координат пунктів за допомогою RTN вимірювань. Тому далі ці різниці називаємо помилками виконання основних планових розмічувальних робіт відповідним методом δ_x , δ_y . Результати вимірювань наведені у табл. 3.2, в передостанньому рядку наведена сума, а в останньому рядку – середнє значення відповідних похибок у стовпчику 4 вказані помилки кожного з пунктів у плані ($\delta_{\text{план}}$), у стовпчику 6 представлено точності віддалей побудованих базисів (δ_s), обчислених за координатними тих же пунктів.

Таблиця 3.2

Середні квадратичні похибки винесення в натуру
координат пунктів та віддалей

№ пункти	δ_x , мм	δ_y , мм	$\delta_{\text{план}}$, мм	S	δ_s , мм
1	2	3	4	5	6
1	3,1	-1,4	3,4	1-2	2,2
				2-3	1,2
2	1,9	-3,2	3,7	3-4	2,8
				4-1	3,7
3	2,5	-2,1	3,3	1-3	0,9
				2-4	1,8
4	0,2	-3,7	3,7	A-B	3,1
				B-C	1,9
A	-0,8	-2,5	2,6	C-D	1,8
				D-A	3,2
B	2,2	-3,3	4	A-C	3,5
				B-D	0,1
C	1,6	-5,1	5,4	Σ	26,2
				серед	2,2
D	2,3	-3,4	4,1		
Σ	13	-24,7	31,6		
серед	1,8	-3,1	4,0		

Із таблиці бачимо, 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, обчислених за координатними тих же пунктів. Отримані результати планових помилок координат пунктів та зміна напрямків векторів помилок визначені за результатами досліджень зображені на рис. 3.8 а та рис. 3.8 б, а характер напрямків помилок проілюстровано на рис. 3.9.



а)

б)

Рис. 3.8 – Зміна помилок винесення в натуру пунктів та кут напрямку зміщення вектора

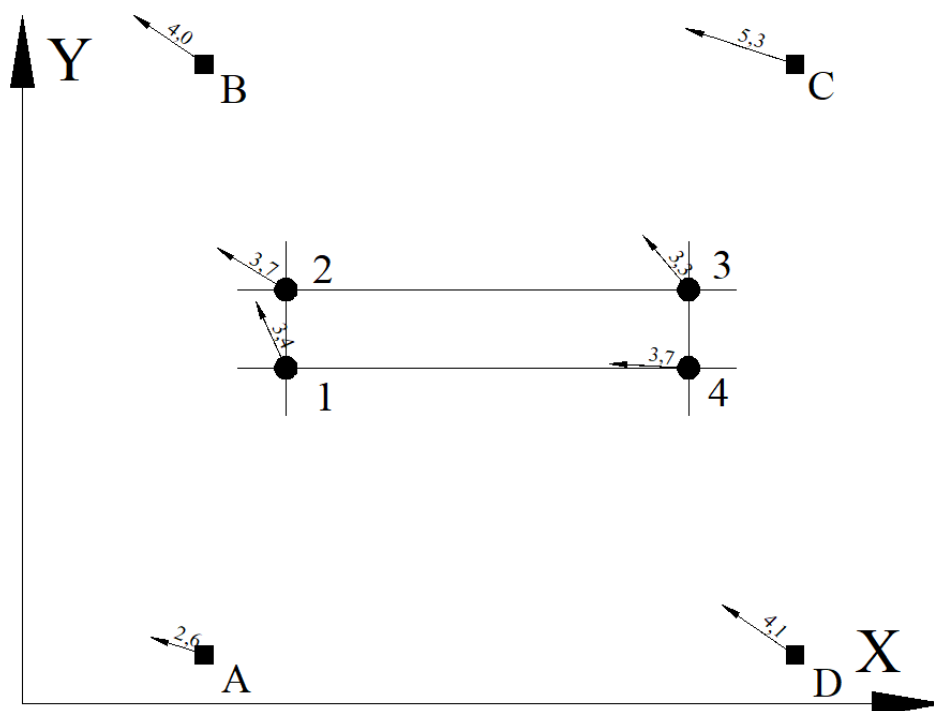


Рис. 3.9 – Схематичне зображення векторів похибок

На основі виконаних досліджень встановлено, що використання RTN методу забезпечує необхідну точність для виконання основних планових розмічувальних робіт. Згідно з нормативними документами планова помилка

положення пунктів головних осей та опорної геодезичної мережі не повинна перевищувати 50 мм, у той же час винесення в натуру даних елементів будівництва супутниковим методом не перевищувала 10 мм, а середня квадратична похибка – 4 мм. Також варто відзначити, що одержані результати на 89% збігаються із даними, отриманими у експериментальних дослідженнях, які детально описані в підрозділах 3.1, де середня квадратична похибка розмічуваних робіт даним RTN методом становила 3,8 мм. Це дозволяє рекомендувати використання відносного методу позиціонування RTN рішень для розв'язання ряду інженерно-геодезичних, зокрема, виконання основних планових розмічувальних робіт.

Другий етап розмічувальних робіт – це детальні планові розмічувальні роботи. Цей етап характеризується високою складністю виконання робіт, оскільки від раніше винесених головних осей (осей симетрії) або пунктів опорної геодезичної мережі (в даному випадку опорних базисів) необхідно створити на будівельному майданчику внутрішню розмічувальну мережу, пункти якої вимагають на порядок вищої точності. Це суперечить головним принципам створення геодезичних мереж, адже класично при переході від вищої ступені до нижчої точність зменшується.

Таким чином, згідно з ДБН взаємна планова точність пунктів зовнішньої розмічувальної мережі не повинна перевищувати 50 мм, у той же час від пунктів внутрішньої розмічувальної мережі, які є нижчим ступенем, вимагається точність 5 мм.

Дотримуючись принципу підвищення точності при переході від вищого ступеня до нижчого, а також враховуючи можливості сучасних TPS, пропонується вести детальні розмічувальні роботи за типовою схемою у режимі виміру відносно базової лінії, яка дає змогу позбутися похибок вихідних даних. У більшості сучасних ЕТ є відповідне програмне забезпечення, яке цей режим підтримує.

Далі, опираючись на два пункти опорної геодезичної мережі (два базиси АВ і CD (рис. 3.2), які є паралельними осям координат X та Y генерального плану, на якому запроектовано об'єкт) за допомогою ЕТ в режимі виміру відносно базової лінії, виконуємо всі детальні розмічувальні роботи. Основною перевагою цього методу порівняно із класичними засічками є те, що на точність винесених елементів не впливають похибки вихідної мережі. В той же час проблема контролю вимірів вирішується шляхом порівняння довжини опорного базису, одержаного із тахеометричних та RTN спостережень. Це можливо завдяки використанні пристрою або штативів для центрування антени GNSS, одержане з цих вимірів значення довжини базису визначене із точністю, що не перевищує 4 мм. Це дозволяє додатково надійно контролювати точність визначення координат станції, на якій встановлюється електронний тахеометр при детальних розмічувальних роботах. Тому необхідно передбачити взаємну видимість між пунктами опорної геодезичної мережі та пунктами внутрішньої розпланувальної мережі. Всі переваги та недоліки роботи в режимі виміру відносно базової лінії описано в попередніх розділах.

Передаючи координати із зовнішньої розмічувальної мережі в будівельній системі координат на характерні точки та виносячи в натуру основні та детальні осі, необхідно передбачити видимість між пунктами. Характерні точки слід вибрати заздалегідь з таким розрахунком, щоб вони були видимі з усіх горизонтів будівництва. Ці точки можуть бути використані в подальшому для розбивки пунктів на монтажному горизонті методом зворотної кутової (при можливості лінійно-кутової) засічки.

Таким чином, ми пропонуємо принцип побудови спеціальних інженерно-геодезичних розпланувальних мереж, який задовольняє існуючі вимоги точності та високі темпи будівництва. Він докорінно відрізнявся від основного принципу побудови геодезичних мереж тим, що точність вимірів не знижується, а підвищується при умові переходу від вищого ступеня до нижчого.

Як відомо, геодезичні розмічувальні роботи виконуються приблизно одночасно із земляними роботами на будівельному майданчику, що зумовлює неминучі втрати закладених пунктів, як внутрішньої, так і зовнішньої розмічувальної мережі [55, 93–97]. Втрачені елементи будівництва неодмінно повинні бути відновлені, тому виникає необхідність повторних розмічувальних робіт. Тоді як винесення елементів зовнішньої розмічувальної мережі не є складною задачею, оскільки не вимагає високої планової точності виконання робіт (50 мм). Винесення елементів внутрішньої розмічувальної мережі вимагає високої точності. Якщо пункти опорного базису, від яких вперше виконувались детальні розмічувальні роботи, залишились не пошкодженими, то втрачені елементи треба виносити від них же.

Для дослідження точності винесення одних і тих же елементів внутрішньої розмічувальної мережі від різних опорних пунктів були зроблені дослідження на тому ж об'єкті висотної забудови в м. Івано-Франківськ. Так як планові детальні розмічувальні роботи на даному об'єкті висотного будівництва уже були виконані проектною організацією, а пункти закладені, повторно винесено в натуру, як основні осі. Високоточним електронним тахеометром почергово прив'язувались до пунктів опорної геодезичної мережі (опорного базису ABCD), кожного разу виносили та закріплювали на будівельному майданчику тільки точки основних осей. Для підвищення точності одержаних даних в парі з електронним тахеометром використовували розроблений та запатентований «пристрій для центрування геодезичних приладів» із відбивачем, який встановлювався над існуючими пунктами. Основною перевагою використання даного пристрою є полегшення процесу центрування та винесення елементів, завдяки можливості вільного ходу рис. 3.10. За допомогою рухомої збірної кришки, яка рухається по основі діаметром 4 см, ми поєднуємо центр оптичного центра із центром пункту.



Рис. 3.10 – Центрування пристрою для центрування геодезичних приладів над пунктом

Встановивши відбивачі на двох опорних пунктах тахеометром в режимі виміру відносно базової лінії, виносимо чотири пункти внутрішньої розмічувальної мережі. Після встановлення пристрою для центрування на наступний пункт опорного базису дослід повторюємо. Далі за допомогою штангенциркуля вимірювалось відхилення точок від істинного положення. Вважатимемо, що істинне положення мають пункти, які закладені проектною організацією. Вимірювання виконувались за схемою наведеною на рис. 3.11.

Високоточний електронний тахеометр встановлювався на станції 1, прив'язуючись до пунктів опорного базису АВ, після чого виносили в природу та закріплювали на території будівельного майданчику 4 пункти основних осей. Далі, як зображено на рис. 3.11, тахеометр переміщували на іншу станцію та, зорієнтувавши його на інші пункти опорного базису, виносили ті ж елементи

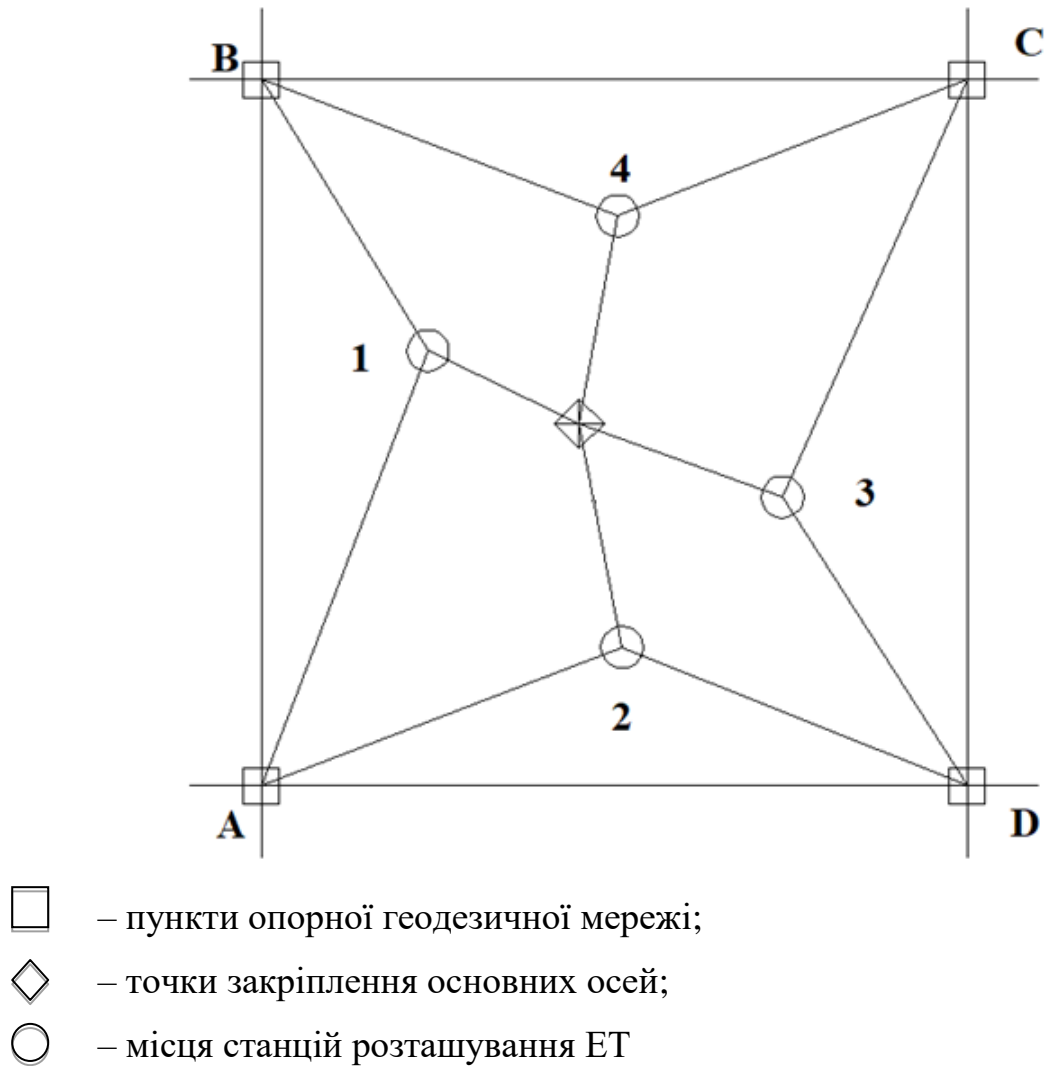


Рис 3.11 - Схема виконання експериментального дослідження точності
винесення пунктів від різних опорних базисів

будівництва та фіксували на місцевості. Потім за допомогою штангенциркуля вимірюємо різниці між точками винесеними проектною організацією та нами. Ці різниці можна інтерпретувати, як величину помилок δ винесення координат пунктів від різних опорних базисів. Тому далі ці різниці називаємо похибками відповідної серії. Зміщення визначались за центрами пунктів, тому від одержаних результатів ми віднімали радіуси відповідних закладених точок. Результати визначення помилок координат пунктів представлено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати дослідження точності винесення пунктів від різних опорних базисів

№ пункту	$\delta_{пл.1}$, мм	$\delta_{пл.2}$, мм	$\delta_{пл.3}$, мм	$\delta_{пл.4}$, мм
1	4,5	3,8	5,4	4,3
2	2,9	5,4	7,2	4,8
3	3,9	6,3	4,7	6,1
4	3,6	4,5	5,1	5,5
Σ	3,7	5	5,6	5,2

Отримані результати зміни помилок винесення координат пунктів за результатами досліджень зображені на рис. 3.12 а – 3.12 в. Відповідно до стовпчикових діаграм, можна зробити висновок, що відхилення отримані між пунктами винесеними при першій серії вимірювань та наступними серіями в деяких випадках перевищують вимоги діючих норм 5 мм.

Як видно з аналізу рисунка 3.12, серед точок винесених на будівельний майданчик у другій та третій серії вимірювань є такі, що не відповідають вимогам точності діючих нормативних документів ($\delta_{план} \leq 5$ мм). Однак треба звернути увагу, що всі пункти винесені у першій серії вимірювань не перевищують допуск у 5 мм. Це можна пояснити тим, що саме на цей базис опирались геодезисти проектної організації при створенні внутрішньої планової розмічувальної основи. Також можна зробити висновок про те, що одержані похибки винесення пунктів від різних опорних базисів викликані не тільки помилками приладу, але й вихідних даних. Оскільки різні серії розмічувальних робіт виконувались по чергово від різних пунктів опорної геодезичної мережі (опорних базисів ABCD).

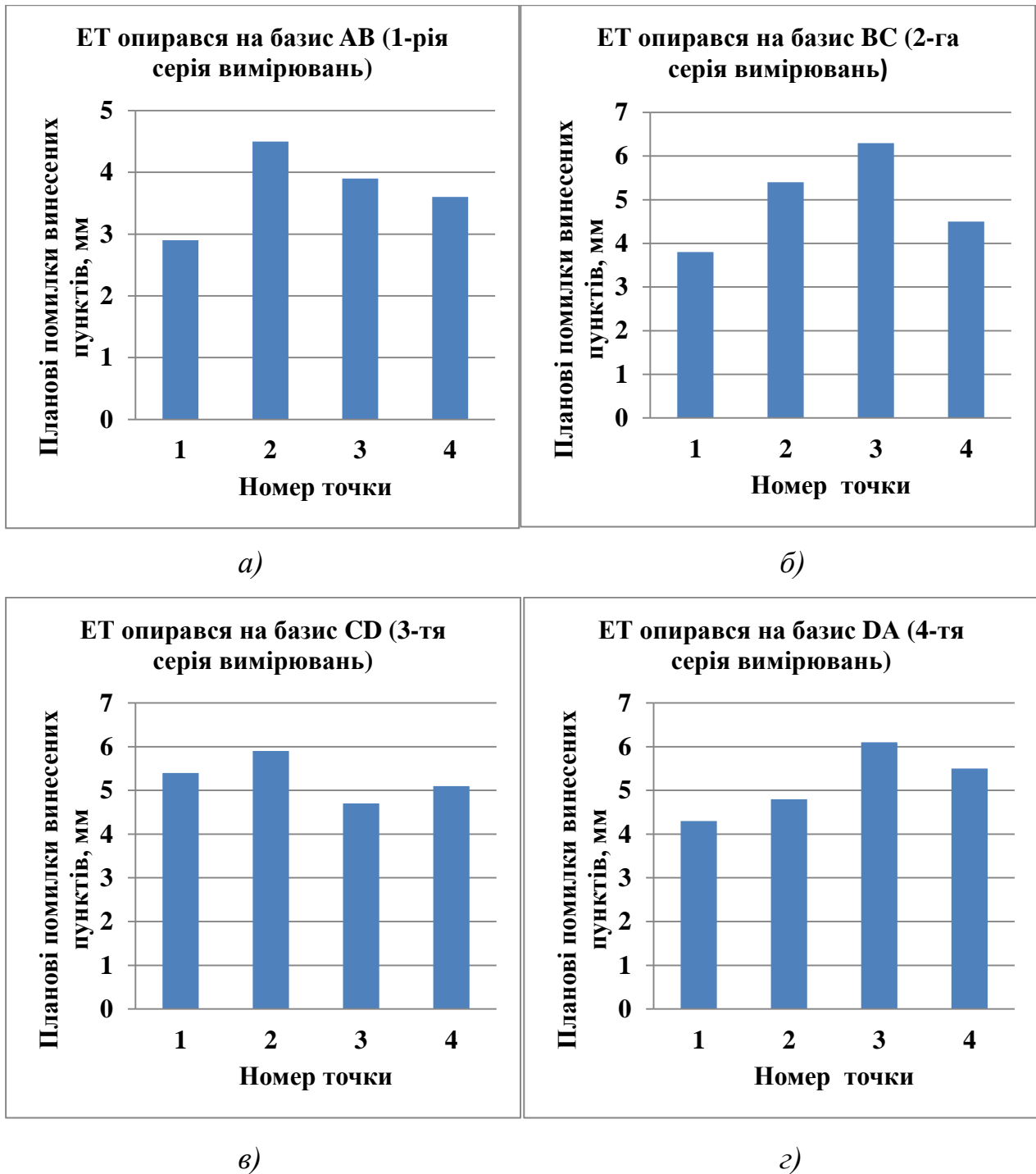


Рис. 3.12 - Помилки планового положення пунктів винесених від різних опорних базисів

Опорні пункти ABCD виносились на будівельному майданчику за допомогою RTN методу GNSS приймачем (як уже було вище описано у розділі), взаємна точність винесення в натуру даних елементів будівництва супутниковим методом не перевищувала 10 мм, а середня квадратична похибка

рівна 4 мм, що повністю задовольнило вимоги створення зовнішньої розмічувальної мережі. В той же час, як показали дослідження, виконувати детальні розмічувальні роботи електронним тахеометром, опираючись на різні опорні пункти, не є можливим.

Враховуючи те, що в даній задачі ми маємо справу із дуже точними вимірюваннями, то для підтвердження або спростування результатів досліджень розглянемо дану задачу теоретично.

Із результатів досліджень виконаних на еталонному полігоні та безпосередньо на даному об'єкті будівництва у м. Івано-Франківськ було встановлено, що взаємна точність винесення пунктів опорної геодезичної мережі (опорних базисів ABCD) RTN методом становить 4 мм. Це означає, що результуючий вектор похибки на будь яких двох пунктах не повинен перевищувати 4 мм, оскільки це середнє квадратичне значення виконання розпланувальних робіт, то наступні розрахунки необхідно провести за його максимальним значенням 5,6 мм. Таким чином, вектор похибки планового положення на кожному пункті не повинен перевищувати 2,8 мм.

Розглянемо три критичні варіанти напрямленості похибок:

- два вектори є колінеарними та напрямлені в різні сторони, тому результуючий вектор похибки буде різницею довжин цих векторів;
- два вектори є колінеарними та напрямлені в одну сторону, тому результуючий вектор похибки буде суммою довжин цих векторів;
- два вектори є перпендикулярні, тому результуючий вектор похибки буде рівний кореню квадратному суми квадратів цих векторів.

Проаналізувавши рис. 3.7 бачимо, що максимальна точність виконання розпланувальних робіт RTN методом не повинно перевищувати 5,6 мм та змінюється в залежності від направленості вектора. Таким чином, виконувати детальні розмічувальні роботи на одному об'єкті від різних пунктів опорної мережі не можна, тому що тоді на взаємну точність винесення елементів

внутрішньої розмічувальної мережі впливає не тільки точність самого приладу, але й похибка вихідних даних.

На основі виконаних досліджень встановлено, що при втраті частини будівельних елементів та неможливості виконання детальних розмічувальних робіт від одного опорного базису, виносити втрачені пункти треба від пунктів внутрішньої розмічувальної мережі електронним тахеометром в режимі вимірювання відносно базової лінії, оскільки взаємна точність пунктів внутрішньої розмічувальної мережі в рази вища.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Розроблено практичні рекомендації щодо виконання планових розмічувальних робіт за типовою схемою у режимі виміру відносно базової лінії, опираючись на пункти винесені за допомогою RTN методу, які дають змогу забезпечити необхідну планову точність відповідно до діючих норм та значно зменшують затрати часу на здійснення геодезичних робіт на будівельному майданчику.

2. Запропоновано практичні рекомендації використання RTN рішень для розв'язання ряду інженерно-геодезичних, а саме, виконання основних планових розмічувальних робіт, що ґрунтуються на розроблених методиках. Розроблено спеціальний штатив для центрування антени GNSS, що дозволяє підвищити точність виконання робіт (передачі координат з приладу на місцевість). Крім цього при використанні даного штатива, одержують з RTN вимірів значення довжини базису, яке можна використовувати для додаткового контролю точності визначення координат станції, на якій встановлюється електронний тахеометр при детальних розмічувальних роботах.

3. На основі виконаних експериментальних досліджень на реальному об'єкті висотного будівництва в м. Івано-Франківськ встановлено, що винесення в натуру елементів будівництва RTN методом із пристроєм для

центрування антени не перевищувала 10 мм, а середня квадратична похибка рівна 4 мм. Одержані результати на 89% збігаються із даними отриманими у попередніх експериментальних дослідженнях, де точність розмічуваних робіт даним методом відносного позиціонування становила 3,76 мм.

РОЗДІЛ 4

ПРОБЛЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ ОПОРНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА ЧЕРВОНИХ ЛІНІЙ ЗАБУДОВИ

4.1 Трансформування координат пунктів опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови для використання RTN рішень в процесі розпланувальних робіт на будівельному майданчику

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. При спорудженні великого комплексу споруд та будівель складної конфігурації розпланувальні та розмічувальні інженерно-геодезичні роботи є одним із найвідповідальніших та водночас найскладніших етапів будівництва. При горизонтальному плануванні складають проект розміщення всіх будівель і споруд, укладання транспортних і інших комунікацій. З цією метою спочатку на плані проектують систему ліній регулювання забудови, за яку не повинна виходити жодна з будівель, що зводяться, а при проектуванні житлових масивів – систему червоних ліній, які відділяють території кварталів від вулиць і проїздів. Положення червоних ліній визначається координатами вузлових точок, кутами дирекційних напрямків і відстанями між точками.

Процес створення зовнішньої та внутрішньої розмічувальної мережі на будівництві значно ускладнюється наявністю декількох систем координат та можливими помилками у координатах опорної геодезичної мережі. Згідно з діючими нормативними документами [19, 20], лінії забудови (головні осі будівель) рекомендується переносити в натуру від пунктів опорної геодезичної

мережі і, або червоних ліній забудови, закріплених на місцевості, із похибкою в положенні осей 50-80 мм залежно від типу забудови. Проект червоних ліній може складатись навіть у масштабі 1:2000 [24]. В той же час взаємне положення пунктів, які закріплюють основні осі (контури будівлі), повинно бути визначене з похибкою 3–5 мм [19, 20]. Це зумовлює необхідність подальшого редукування положення пунктів, які закріплюють основні осі, що значно ускладнює процес розмічувальних робіт.

Використання GNSS технологій при геодезичному супроводі будівництва має ряд переваг, головними з яких є відсутність накопичення систематичних похибок під час виконання розпланувальних робіт, та можливість одержання високої взаємної точності геометричних елементів будівлі при дотриманні технологічних рекомендацій (див. розділ 2).

Очевидно, що ідеальною математичною основою для геодезичного забезпечення окремого будівельного майданчика є ортогональна проекція на горизонтальну площину у прямокутній декартовій системі координат. При цьому у виміряні величини не вводяться поправки для переходу на поверхню відносності та на площину проекції Гаусса-Крюгера.

Зазвичай координати елементів будівництва відомі у проектній системі координат генплану (будівельної сітки), а геодезична розмічувальна основа, для прикладу, в УСК-2000, тому при використанні GNSS приймачів виникає потреба встановлення параметрів переходу між цими системами з можливістю врахування, як похибок вимірів, так і відбракування можливих грубих похибок. При розплануванні промислових об'єктів використання системи координат генплану є навіть більш зручним з точки зору спрощення розрахунків для виносу осей споруд та підземних комунікацій. Трапляються випадки, коли будівельною сіткою користуються і при розплануванні об'єктів житлового будівництва у містах навіть і у наш час.

Згідно діючих норм, всі елементи будівництва повинні мати координати у державній геодезичній системі України [14, 81], однак в минулому будівництво

велося, як правило, в раніше прийнятих місцевих системах координат або системі координат СК-63, що створює необхідність забезпеченням зв'язку між ними і УСК-2000. Тому однією із вимог до створення геодезичної мережі на будівництві [24] також є необхідність перетворення в різні системи координат, у тому числі визначення параметрів трансформації між цими системами координат.

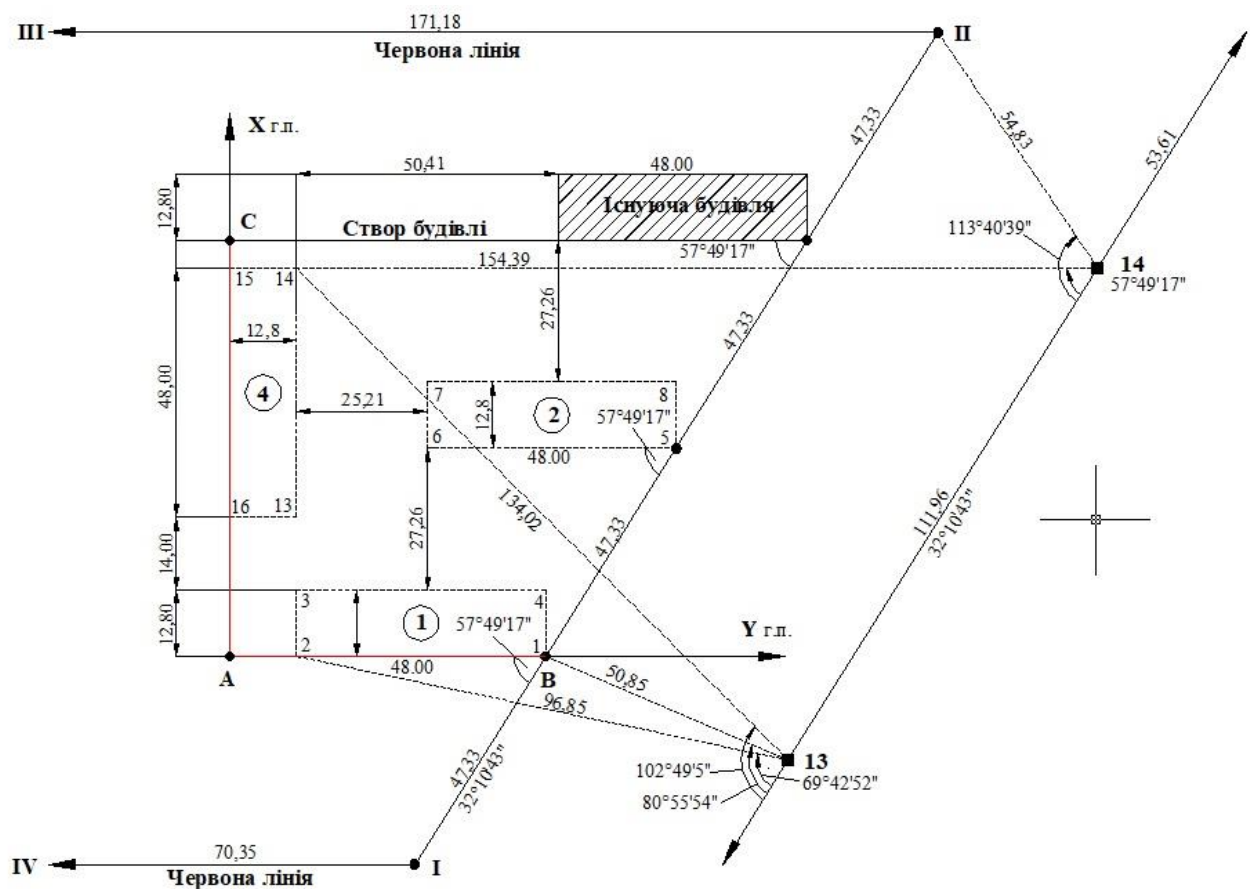
При цьому неодмінно слід врахувати, що на великих промислових об'єктах при виконанні розпланувальних робіт для спрощення розрахунків доцільно використовувати дві системи координат. Одна з яких система генплану, в якій осі координат паралельні лініям забудови, а інша – це державна геодезична система координат, у якій згідно з діючими нормативними документами повинні бути відомі координати пунктів геодезичної основи. Від цих пунктів виносяться в натуру червоні лінії для житлової забудови або пункти будівельної сітки на промислових майданчиках.

Рис. 4.1 запозичений із відомої монографії Барана [4], переконливо показує переваги використання системи координат генплану при розмічуваних роботах. Однією з яких є те, що розрахунок координат пункту у випадку паралельності лініям забудови осей координат зводиться до сумування технологічних розмірів будівлі та запроектованих віддалей між ними, що практично усуває можливість помилок під час обчислень. При наявності робочих креслень в AutoCad, координати можна визначити безпосередньо з комп'ютера, сформувавши автоматично файл для розмічувальних робіт за допомогою електронного тахеометра чи GNSS приймача.

У той же час, для практичної реалізації вимоги, що до наявності координат всіх пунктів розмічувальної мережі в УСК-2000 необхідно вирішити проблему трансформування координат між умовною системою координат генплану та УСК 2000.

В усіх випадках для розв'язку цієї задачі потрібно мати координати ідентичних пунктів в системі координат генплану і загальноприйнятій

державній системі. Оскільки два пункти, які закріплюють на місцевості початковий пункт системи координат генплану і положення однієї з осей в цій системі (система координат генплану) вибираються нами, то в першому наближенні параметри перетворення координат - X_0, Y_0 , кут повороту - ΔQ , масштабний коефіцієнт - m легко знаходяться, за відомими координатами цих точок в системі координат генплану та картографічними координатами цих точок, чи виміряних GNSS.



13–14 – пункти геодезичної основи; I–VI – пункти червоних ліній

Рис. 4.1 – Розмічувальне креслення групи будинків мікрорайону

Параметри трансформації між координатами пунктів можна знайти за відомими [51] формулами, які наведено в координатному вигляді для зручності програмування:

$$\begin{cases} X'_i = X_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q - \Delta Y_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q \\ Y'_i = Y_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q + \Delta Y_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q \end{cases} \quad (4.1)$$

де

$$\begin{cases} \Delta X_i = x_{г.п.}^i - x_{г.п.}^0 \\ \Delta Y_i = y_{г.п.}^i - y_{г.п.}^0 \\ \Delta Q = Q - Q' \end{cases} \quad (4.2)$$

де $x_{г.п.}^0, y_{г.п.}^0$ – координати початкового пункту в системі координат генплану;

$x_{г.п.}^i, y_{г.п.}^i$ - координати пунктів геодезичної мережі в системі координат генплану.

Попередньо параметри трансформації були розраховані за відомими формулами результати наведені в Додатку Е. Із одержаних результатів можна стверджувати, що вплив масштабного коефіцієнта є незначним ($m=1,000006$). Дану особливість можна обґрунтувати також тим, що перший етап основних розпланувальних робіт вимагає забезпечити точність 3-5 см. Тому навіть на краю трьохградусної зони можна виконувати основні розпланувальні роботи користуватись картографічними координатами при полярних віддальх до 100 м, а на віддальх до 50 км від осьового меридіану можна виносити вектори (лінії) навіть до 1 км (див підрозділ 2.1). Тобто, для більшості практичних випадків масштабний коефіцієнт m в формулах (4.1) можна приймати рівним 1.

За результатами досліджень точності RTN вимірів в мережі System Solutions [10, 111] було встановлено, що середня квадратична похибка виміру кута та віддалі не перевищує $m_{кут} = 4''$ та $m_{від} = 3$ мм відповідно. Для статистичних, синхронних вимірів є можливим досягнути точність навіть 1 мм [63, 78, 8891] (Роботи по Новодністровську, дисертація), такий високий результат теоретично дозволяє використовувати GNSS приймачі і для виконання детальних розмічувальних робіт, або хоча б контролювати виміри виконані електронним тахеометром.

Важливим фактором є те, що взаємне розміщення і розміри будівель визначені в системі координат генплану безпомилкові. В той же час координати

пунктів особливо червоних ліній і навіть пунктів геодезичної основи відомі з певною точністю і можуть містити навіть грубі похибки. Все це необхідно враховувати при розробці алгоритму визначення елементів трансформації між цими системами.

Для того, щоб отримати координати пунктів не тільки в системі, з якою безпосередньо працює GNSS приймач, але і в проектній системі координат, необхідно на точках контурів забудови та існуючих будівель, що мають відомі координати в системі генплану провести RTN вимірювання, після чого знайти параметри переходу між вище вказаними системами.

Існує велика кількість методів розрахунку параметрів трансформації, які можна поділити на теоретичні та емпіричні. Емпіричні методи розв'язують дану задачу [51], як класичним методом найменших квадратів, так і з використанням методу нелінійного програмування [3, 5]. Останній дає змогу вирішувати це завдання шляхом не тільки мінімізації суми квадратів похибок, але й мінімізації максимального відхилення.

Проте в цих роботах не розглядається проблема відбракування грубих похибок. Також значно погіршує одержані параметри трансформації те, що на практиці похибки винесених червоних ліній можуть перевищувати допустиме значення 0,05 м, при необхідності забезпечити взаємне положення пунктів основних осей з похибкою 3–5 мм [3, 5].

Таким чином, без ґрунтовної методики зрівнювання пунктів опорної геодезичної мережі та можливості відбракування елементів будівництва, які містять грубі похибки, наступне виконання планових геодезичних розпланувальних робіт та пошук параметрів трансформації є неможливим. Тому ми зосередились на розробленні та дослідженні алгоритму 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, а також його експериментальне підтвердження.

4.2 Можливості застосування альтернативних алгоритмів визначення параметрів трансформацій

Пошук параметрів трансформації значно ускладнюється через те, що координати пунктів особливо червоних ліній і навіть пунктів геодезичної основи відомі з плановою точністю 5 см і можуть містити навіть грубі похибки при необхідності забезпечити взаємне положення пунктів основних осей з похибкою 3 - 5 мм. В цьому розділі ми зосередимось на проблемі пошуку та вилучення найслабших пунктів у геодезичній мережі за допомогою алгоритму трансформування координат.

Створено алгоритм, суть якого полягає в тому, що зв'язок між системою координат генплану та УСК-2000 знаходиться за допомогою відомих формул (4.3). Для цього необхідно визначити три параметри трансформації – це кут Q повороту осей двох систем та зміщення початку координат однієї системи відносно іншої X_0, Y_0

$$\begin{cases} X'_i = X_0 + X_i \cos Q - Y_i \sin Q \\ Y'_i = Y_0 + X_i \sin Q + Y_i \cos Q \end{cases} \quad (4.3)$$

де X_i, X'_i і Y_i, Y'_i – координати точки i в УСК-2000 та системі координат генплану.

Для спрощення подальших розрахунків і можливості використання стандартних процедур MathCad приведемо систему (4.3) до лінійного виду. Для цього виразимо $\cos Q$ із першого та другого рівняння системи, як функцію координат та прирівняємо праві частини отриманих виразів. Після низки перетворень одержимо для кожного пункту, на якому виконано виміри, рівняння вигляду

$$\sin Q = \frac{X_i(Y'_i - Y_0) - Y_i(X'_i - X_0)}{X_i^2 + Y_i^2}. \quad (4.4)$$

При винесенні з рівняння (4.4) невідомих параметрів трансформації отримаємо

$$\sin Q - X_0 \frac{Y_i}{X_i^2 + Y_i^2} + Y_0 \frac{X_i}{X_i^2 + Y_i^2} = \frac{X_i Y_i' - Y_i X_i'}{X_i^2 + Y_i^2}. \quad (4.5)$$

Для зручності виконання подальших розрахунків зробимо заміни у формулі (4.5) відомих величин коефіцієнтами k, a, b, c , і отримаємо:

$$aX_0 + bY_0 + k = c, \quad (4.6)$$

$$k = \sin Q, a = -\frac{Y_i}{X_i^2 + Y_i^2}, b = \frac{X_i}{X_i^2 + Y_i^2}, c = \frac{X_i Y_i' - Y_i X_i'}{X_i^2 + Y_i^2}. \quad (4.7)$$

У рівнянні (4.6) є три невідомі (параметри переходу), тому для отримання однозначного розв'язку, необхідно виконати виміри хоча б у трьох точках і скласти систему рівнянь у вигляді

$$\begin{cases} a_1 X_0 + b_1 Y_0 + k_1 = c_1 \\ a_2 X_0 + b_2 Y_0 + k_2 = c_2 \\ a_3 X_0 + b_3 Y_0 + k_3 = c_3 \end{cases} \quad (4.8)$$

На практиці відповідно до складності об'єкту кількість пунктів може бути різною. Першочергове завдання полягає у визначенні GNSS приймачем планового положення поворотних точок червоних ліній і існуючих будівель (із відомими координатами у системі генплану), для знаходження параметрів переходу між цими системами та наступного перерахунку координат в УСК-2000. Блоксхема розробленого алгоритму та його програмна реалізація в середовищі MathCad представлена на рис. 4.2.

Алгоритм розв'язує задачу шляхом забезпечення оптимальної співвісності координат пунктів в двох системах. Він складається із двох підпрограм: перша частина розраховує наближені значення параметрів

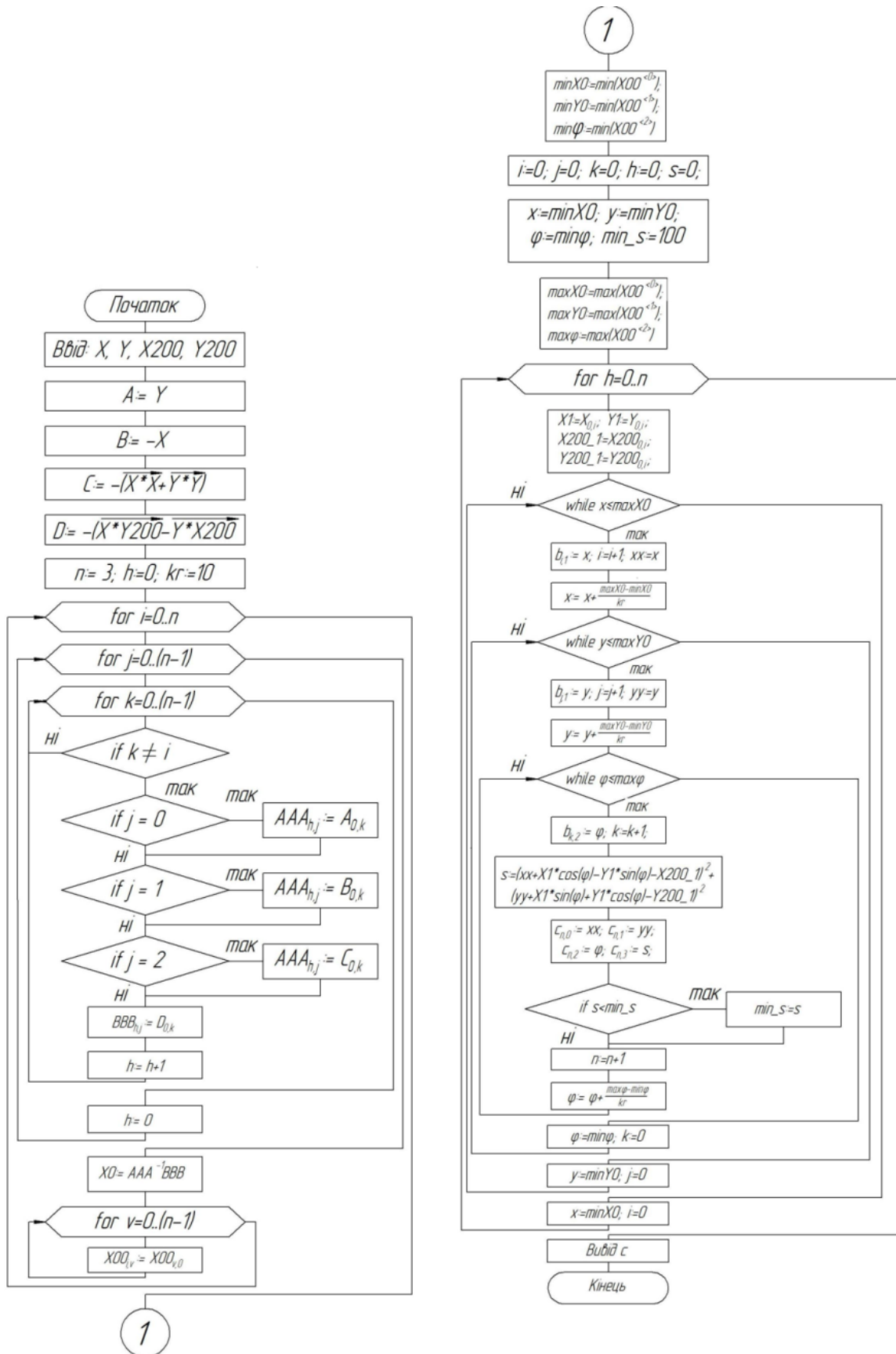


Рис. 4.2 - Блок схема запропонованого алгоритму обчислення параметрів трансформації

трансформації, із яких в другому блоці за допомогою цільової функції виконується точний розрахунок шуканих величин

$$S_i^2 = (X_0 + X_i \cos Q - Y_i \sin Q - X_i^*)^2 + (Y_0 + X_i \sin Q + Y_i \cos Q - Y_i^*)^2 \rightarrow \min. \quad (4.9)$$

Використана цільова функція, яка запропонована в роботі [112, 115], повинна мінімізувати довжини векторів не співвісності координат S_i , отриманих із GNSS вимірів та обчислених із параметрів переходу у кожній точці.

Розглянемо більш детально роботу даного алгоритму на конкретному прикладі трансформації координат, одержаних під час перевірки розробленої методики на еталонному полігоні на будівельному майданчику.

Полігон складається із 4-х пунктів. Пункти з примусовим центруванням (рис. 4.3) закладені на території, що знаходиться під охороною.

На території будівельного майданчика знаходяться: 1 - навчально-виробничий центр з технічним обладнанням, 2 - бурова вишка (52 м), 3 - електрична підстанція, 4 - котельня. (рис. 4.3).



Рис.4.3 - Схема розміщення еталонного полігону

Координати тих же пунктів в умовній системі одержали також за допомогою електронного двохсекундного тахеометра South NTS-350, яким здійснено три серії вимірів, у яких послідовно вимірювали двома півприйомами вісім кутів та шість віддалей, як це зображено на рис. 4.3. Кожну із віддалей вимірювали 12 разів. Середні значення і СКП параметрів еталонного базису за внутрішньою сходимістю обчислені за формулою Бесселя. СКП виміру кутів виявились в межах $0,1-2,1''$, а сторін $0,18-0,3$ мм.

За допомогою програмного забезпечення CREDO DAT за результатами зрівнювання було виконано оцінку точності еталонного полігону (за результатами вимірів електронним тахеометром), як замкнутого тахеометричного ходу. Відносна середньо квадратична похибка становила $1/130000$ при довжині ходу $665,776$ м.

У табл. 4.1 наведені координати опорних пунктів в умовній системі координат за результатами вимірів електронним тахеометром, статичних та RTN вимірів в УСК-2000. Різниця між координатами одержаними із статичних GNSS та RTN вимірів не перевищує 15 мм.

Таблиця 4.1

Координати опорних пунктів в місцевій системі координат та УСК 2000

Точка	Координати пунктів, м					
	Електронним тахеометром		у RTN режимі		у статичному режимі	
	X_i	Y_i	X_{RTN_i}	Y_{RTN_i}	$X_{ст.}$	$Y_{ст.}$
А	1000	1000	5424202,862	5331275,015	5424202,865	5331275,013
Б	1204,855	1000	5424305,285	5331452,430	5424305,291	5331452,423
В	1176,551	847,461	5424423,237	5331351,644	5424423,241	5331351,641
Г	1016,511	855,397	5424336,347	5331217,013	5424336,350	5331217,010

З використанням зрівняних значень вимірів ЕТ для знаходження параметрів трансформування між системами умовних координат еталонного полігону та УСК-2000 (з RTN вимірів) було складено чотири рівняння

вигляду (4.3) із трьома невідомими. Щоб отримати однозначні розв'язки системи кількість її рівнянь має відповідати кількості невідомих, тому можемо отримати чотири різні системи ($C_4^3 = 4$). Розв'язавши системи рівнянь типу (4.8) отримаємо розв'язки, кожен з яких задовольняє тільки ті три пункти, що входять в систему. В результаті, ми отримали чотири варіанти параметрів трансформації, які між собою відрізняються на певні величини, які виникають тому, що RTN виміри виконані із похибками, які спадково передались на обчислені параметри трансформації.

Отримавши чотири варіанти параметрів переходу (таблиця 4.2), які наближено задовольняли всі опорні пункти, розв'яжемо задачу оптимізації, яка повинна нівелювати систематичні похибки.

Таблиця 4.2

Параметри трансформації одержані із розв'язання чотирьох систем лінійних рівнянь вигляду (4.3)

	bcd	acd	abd	Abc
X_0 , м	5424568,861	5424568,872	5424568,913	5424568,908
Y_0 , м	5329908,918	5329908,974	5329908,966	5329908,915
Q, рад	1,04724623	1,04719293	1,04724220	1,04728819

За допомогою пакету програм MathCad, використавши рівняння мінімізації довжини векторів неспіввідності координат, як цільову функцію (4.9), визначено параметри оптимізації – X_0 , Y_0 та Q, які знаходяться в межах поля допустимих значень функцій.

Отож, ми виконали перерахунок для всіх точок (А, Б, В, Г) із відомими координатами у двох системах. Максимальне та мінімальне значення параметрів оптимізації вибрали із даних отриманих із розв'язання чотирьох систем рівнянь (4.8), які наближено задовольняють всі опорні пункти (табл. 4.2). Кількість кроків ітерацій була обрана десять, що дало 1000 результатів для кожної точки. Проаналізувавши результати даних вибірок,

зроблено висновок, що мінімальні значення цільова функція (4.9) приймала при одних і тих же параметрах трансформації на всіх точках: $X_0 = 5424568,884$, $Y_0 = 5329908,974$, $Q = 1,0471929$ рад.

Перерахували координати пунктів полігону за допомогою знайдених параметрів трансформації та порівняли одержані дані із вимірами GNSS приймача при статичному та RTN режимах роботи (табл. 4.3) за формулами:

$$\Delta_{\text{ст.-RTN}} = \sqrt{(X_{\text{ст.}} - X_{\text{RTN}})^2 + (Y_{\text{ст.}} - Y_{\text{RTN}})^2}, \quad (4.10)$$

$$\Delta_{\text{ст.-п.т.}} = \sqrt{(X_{\text{ст.}} - X_{\text{п.т.}})^2 + (Y_{\text{ст.}} - Y_{\text{п.т.}})^2}, \quad (4.11)$$

де $X_{\text{ст.}}$, $Y_{\text{ст.}}$, X_{RTN} , Y_{RTN} і $X_{\text{п.т.}}$, $Y_{\text{п.т.}}$ – координати досліджуваних пунктів одержані відповідно GNSS приймачем в статичному, RTN режимі та за допомогою параметрів трансформації.

Таблиця 4.3

Порівняння точності обчислених пунктів

	$\Delta_{\text{ст.-RTN}}$, мм	S_{min}^2 , мм	$\Delta_{\text{ст.-п.т.}}$, мм	
			МІ	МНК
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

Для порівняння цю задачу розв'язували, окрім пропонованого методу ітерацій (МІ), відомим методом найменших квадратів (МНК)

$$X = (A^T * A)^{-1} * (A^T * L), \quad (4.12)$$

де X – вектор невідомих, $X = \begin{bmatrix} C \\ S \end{bmatrix}$;

$$A, L - \text{матриці коефіцієнтів, } A = \begin{bmatrix} (X'_i - X'_0) & (Y'_i - Y'_0) \\ (Y'_i - Y'_0) & (X'_i - X'_0) \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} X_0 - X_i \\ Y_0 - Y_i \end{bmatrix};$$

$$X'_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_i, Y'_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y'_i; \quad X_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, Y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (4.13)$$

Після визначення невідомого вектора X координати шуканих пунктів в новій системі координат обчислили за формулами

$$\begin{cases} X_i = (X'_i - X'_0) * C + (Y'_i - Y'_0) * S + X_0 \\ Y_i = (Y'_i - Y'_0) * C + (X'_i - X'_0) * S + Y_0 \end{cases} \quad (4.14)$$

За результатами мінімізації цільової функції S_{min}^2 можна побачити грубі похибки в мережі, що дає змогу знайти найслабшу точку і надалі не враховувати її при обчисленнях. Як видно із розрахункових даних, наведених у табл. 4.3, в нашому випадку це точка Б, у якій похибка RTN виміру була максимальною та становила 9,1 мм, що в свою чергу вплинуло на значення цільової функції S_{min}^2 , яке рівне 0,0240 мм. Також із наведених результатів можна стверджувати, що при наявності грубих похибок у мережі, метод ітерацій дозволяє точніше знаходити координати шуканих пунктів, ніж вищеописаний метод найменших квадратів. При використанні створеного алгоритму, що базується на мінімізації квадрату вектора неспіввідності, похибки всіх пунктів зміщені в одну сторону, а при застосуванні інших емпіричних методів вони мають стохастичний напрямок, що у свою чергу буде спричиняти накопичення похибок тензорних величин обчислених за координатами.

Після виключення точки Б, яка була найслабшою у нашій мережі, було повторно перераховано координати пунктів та виконано їх порівняння із значеннями, які вважаємо еталонними (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Остаточне порівняння точності координат обчислених пунктів

Пункти	$\Delta_{\text{ст.-п.т.}}, \text{ мм}$		Віддалі	$S_{\text{тах.}} - S_{\text{п.т.}}, \text{ мм}$	
	МНК	МІ		МНК	МІ
А	3,2	3,4	АВ	3,5	1,4
В	3,9	5,1	АГ	1,4	0,1
Г	4,1	3,0	ВГ	1,5	0,5

Із розрахункових даних, наведених у табл. 4.4, можна зробити висновок, що в залежності від поставленої мети для забезпечення максимальної точності взаємного положення пунктів, ми рекомендуємо 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.

4.3 Можливості застосування методів нелінійного програмування для визначення параметрів трансформації

Без ґрунтовної методики вирівнювання пунктів опорної геодезичної мережі та відбракування будівельних елементів, котрі містять грубі похибки, подальше виконання планових геодезичних розмічувальні робіт та пошук параметрів трансформації не є можливим. Класично ця проблема вирішується так: як мінімум на чотирьох пунктах з відомими проектними координатами виконують довготривалі статичні GNSS вимірювання. Для визначення положення пунктів у державній геодезичній системі координат з плановою точністю 3–5 мм, тривалість вимірів на одній точці повинна становити близько 6 годин [85, 131, 148, 151]. Наступним кроком вирівнюють мережу за допомогою Credo або будь якої іншої спеціалізованої геодезичної програми. За результатами вирівнювання пунктів знаходять параметри трансформації. Цей

процес є досить затратним у часі, а враховуючи високі темпи сучасного будівництва, не є актуальним. У своїй роботі ми зосередимось на створенні ґрунтовної методики, яка буде вирішувати вище описані проблеми методами нелінійного програмування. За допомогою надлишкових високоточних вимірів дослідимо її можливості на конкретному прикладі висотного будівництва шумозахисного багатофункціонального будинку в м. Івано-Франківськ на вул. Мазепи, 164 (рис. 3.4).

Визначаємо положення пунктів опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови за допомогою RTN (Real Time Networks) методу. Особливістю даного різновиду відносного позиціонування є те, що при дотриманні методичних рекомендацій за короткий проміжок часу (30 - 60 с) можна отримати координати пунктів у УСК 2000 із плановою точністю 20 – 30 мм.

Наявність всіх елементів будівництва в системі координат генплану (запроектвані координати) та в локальній визначені на будівельному майданчику із використанням GNSS вимірювань робить можливим аналітичне розв'язання цієї задачі шляхом встановлення залежностей технологічних (нормативних) обмежень рівності геометричних параметрів будівель, що характеризують відхилення від істинних запроектованих довжин ΔS_i . Задача дещо наближена до задач розрахунку оптимальних даних для збереження співвідношення деталей РУ типу ВВЕР-1000 та оптимального узгодження розмірів між осями анкерних болтів фундаментів і анкерних отворів опорних плит обладнання, рішення яких наведено в роботах [3, 5, 112, 115]. В цій же роботі відзначається, що задача вирішується при будь якій функції мети і для випадку $\sum \Delta S_i^2 = \min$ рішення доведено до координатного вигляду.

Покажемо доцільність такого підходу і для розв'язку задачі забезпечення рівності геометричних параметрів будівель між запроектованими розмірами та їх практичними результатами на будівельному майданчику з використання при цьому такого інструментального методу електронних таблиць Excel як Solver, що має в своєму арсеналі потужні універсальні методи рішення задач

математичного програмування: алгоритм нелінійної оптимізації і алгоритм симплексного методу для рішення лінійних і цілочисельних задач з обмеженнями. Застосування Solver дозволяє вирішувати вказану задачу з будь-якими функціями мети та при необхідності накладати обмеження (згідно вимог). На конкретному прикладі підтвердимо ефективність методики при забезпеченні відповідності запроєктованих геометричних параметрів та їх практичних значень визначених за результатами GNSS вимірювань.

Для використання запропонованого методу необхідно виразити S_i , як функцію від параметрів, які необхідно знайти: величини зміщення початку координат X_0, Y_0 та кута повороту осей координат Q . Також потрібно встановити обмеження на взаємозв'язок розрахункових величин із забезпеченням рівності запроєктованих розмірів будівель та взаємного розміщення між спорудженими та проєктованими спорудами із точністю 3–5 мм.

Прийmemo, що пункти основних осей існуючих та проєктованих будівель характеризується плановими координатами із генплану X'_i, Y'_i і X_i, Y_i - GNSS вимірювання. За допомогою відомих формул трансформації встановимо зв'язок між елементами будівництва у двох системах координат.

За допомогою (4.9) знайдемо довжини векторів, що характеризують зміщення i -ої точки після перерахунку її в систему координат генплану від її запроєктованих координат. Таке зміщення викликане, як плановими похибками закріплених пунктів опорної геодезичної мережі i , або червоних ліній забудови, так і похибками GNSS спостережень.

Наступним кроком необхідно накласти технологічні (нормативні) обмеження рівності геометричних параметрів будівель згідно генплану та результатами GNSS вимірювань

$$\Delta S = S_i - S'_i = \sqrt{(X'_B - X'_A)^2 - (Y'_B - Y'_A)^2} - \sqrt{(\cos Q(X_B - X_A) - \sin Q(Y_B - Y_A))^2 + (\sin Q(X_B - X_A) + \cos Q(Y_B - Y_A))^2} \leq 5\text{мм}. \quad (4.15)$$

На основі виразів (4.3) та (4.9) можемо розв'язати систему із n рівнянь з трьома невідомими, що дозволяє сформулювати відповідну оптимізаційну задачу та знайти значення параметрів трансформації, при яких величину S_i буде мінімальною із обов'язковим накладанням технологічних (нормативних) обмежень $\Delta S \leq 5\text{мм}$.

Для ілюстрації можливостей запропонованої методики розглянемо виміри планових зміщень пунктів опорної геодезичної мережі та контурів червоних ліній на конкретному прикладі шумозахисного багатофункціонального висотного будівництва в м. Івано-Франківськ на вул. Мазепи, 164, які були виконані уже на закладених пунктах після основних розпланувальних робіт. Для перевірки запропонованої методики на будівельному майданчику були виконані повторні високоточні вимірювання та визначені похибки пунктів. Співнаправленість знайдених похибок пояснюється притаманній для RTN методу систематичній складовій похибок. Це явище було досліджено у попередньому підрозділі.

В таблиці 4.5 наведені запроектовані координати пунктів, їх спотворені значення в локальній системі координат та відповідні зміщення Δ .

Для вирішення задачі мінімізації вектору зміщення i -тої точки (S_i) методами нелінійного програмування використаємо надбудову Solver (пошук рішення) в Excel. В цьому випадку виконано розрахунки оптимальних значень для всіх пунктів мережі при почерговому використанні в розрахунках двох цільових функцій $\sum S_i^2$ та $S_i \text{ max}$ та накладені технологічні (нормативні) обмеження $\Delta S \leq 5\text{мм}$ (4.15). Далі була виконана перевірка інваріантності, рішення вибору відносно початку координат, здійснені 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 $S_i \text{ max}$.

Таблиця 4.5

Координати пунктів опорної геодезичної мережі

№ пункту	Запроектвані координати		Локальна система координат		Δ	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м	X, м	Y, м
1	100	100	5424201,1268	5329669,4572	0,032	-0,02
2	100	150	5424157,8117	5329694,3884	0,048	-0,037
3	100	200	5424114,4646	5329719,3506	0,032	-0,023
4	150	100	5424226,0730	5329712,7913	0,03	-0,017
5	150	150	5424182,7429	5329737,7365	0,031	-0,02
6	150	200	5424139,4128	5329762,6818	0,032	-0,023
7	200	100	5424251,0232	5329756,1154	0,032	-0,024
8	200	150	5424207,6851	5329781,0727	0,025	-0,015
9	200	200	5424164,3570	5329806,0139	0,032	-0,02

В табл. 4.6 наведено результати оптимізації зміщення і-тих точок відносно безпомилкових координат генплану для пунктів червоних ліній та опорної геодезичної мережі шумозахисного багатофункціонального висотного будівництва із врахуванням накладених технологічних (нормативних) обмежень.

Для наочності на рис. 4.4 представлено графік вектора зміщення по точках до оптимізації та після.

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

Завдяки виконаній перевірці на інваріантність з використанням почергово двох цільових функцій було зроблено висновок, що координати пунктів спотворені випадковими величинами, які підлягають нормальному закону

Таблиця 4.6

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
Σ	353,3	183,5	52,1	249,7	110,6
AM	37,7	25,3	4,9	13,8	8,3

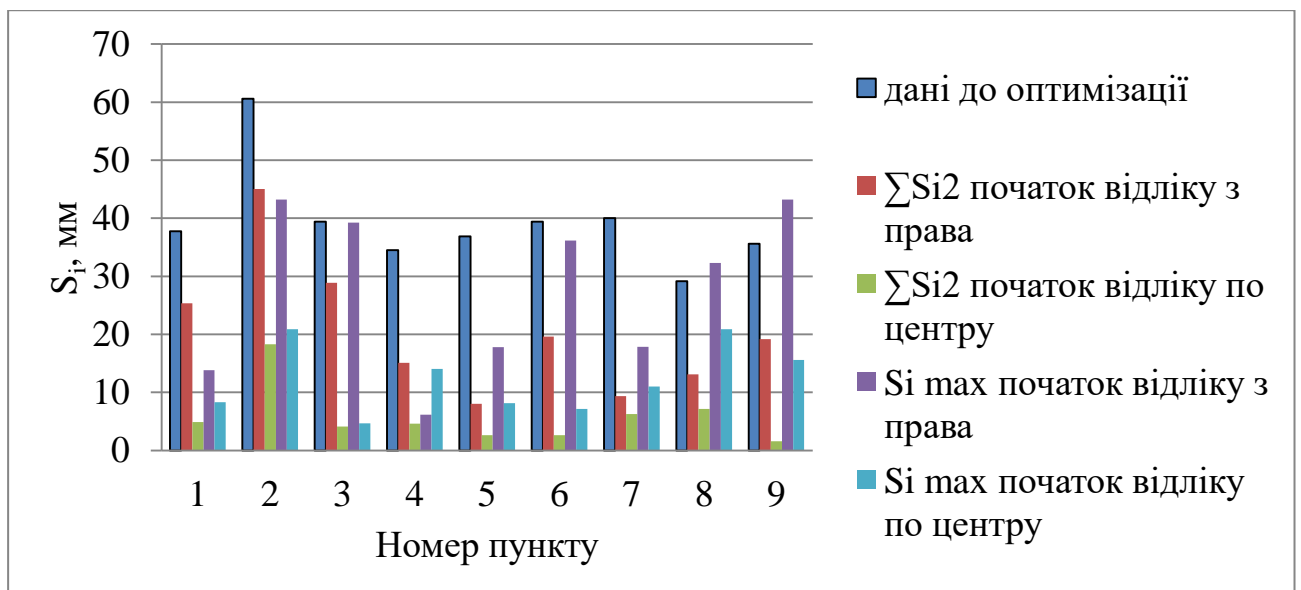


Рис. 4.4 - Порівняння результатів оптимізації використання різних цільових функцій

розподілу. Також із розрахунку цієї моделі можна зробити висновок, що запропонована методика відмінно справляється з цією задачею, коли більшість похибок у мережі направлені в одну сторону. Така особливість

співнапрямленості вектора похибок притаманна більшості геодезичних мереж. Її можна пояснити спадковістю (похибки вихідних даних при розмічувальних роботах передаються на всі винесені елементи будівництва) і особливістю виконання розмічувальних робіт шляхом RTN вимірювань (співнапрямленістю систематичної складової похибки [10, 111, 114]).

Маючи параметри трансформації ($X_0 = 5424237,9064$, $Y_0 = 5329532,8998$, $Q = 1,04845947$ рад), які максимально задовольняють нашу мережу (були одержані при мінімізації цільової функції $\sum S_i^2$ з початком відліку справа), можна виконати основні розмічувальні роботи двох частотним приймачем налаштованим на роботу RTN методом, основною перевагою якого є те, що виміри виконуються одним геодезистом за короткий проміжок часу.

4.4 Дослідження точності визначення параметрів трансформації

GNSS спостереження широко використовуються для різного роду інженерно-геодезичних робіт, однією із сфер застосування яких є супровід будівництва, а особливо розпланувальні та розмічувальні інженерно-геодезичні роботи при спорудженні великого комплексу споруд та багатофункціональних висотних будівель складної конфігурації. Створення зовнішніх та внутрішніх розмічувальних мереж є відповідальним та водночас складним етапом будівництва, тому важливим є отримання результатів високої точності.

Пропонується використовувати один із різновидів відносного позиціонування RTN метод головною перевагою якого є те, що при дотриманні методичних рекомендацій за короткий проміжок часу можна отримати координати пунктів у УСК 2000 із плановою точністю 20 – 30 мм. Виконання геодезичних розмічувальних робіт за допомогою RTN рішень вимагає високої точності під час перерахунку будівельних елементів із системи координат генплану в систему, із якою безпосередньо працює двочастотний GNSS приймач. Тому важливою є точність, з якою будуть трансформовані всі

елементи будівництва. Також необхідно врахувати те, що пункти опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови відомі з певною точністю та можуть містити навіть грубі похибки. Ми пропонуємо вирішувати цю проблему таким способом: як мінімум на чотирьох пунктах з відомими проектними координатами виконувати GNSS вимірювання, за даними яких визначають параметри трансформації; після чого перераховувати всі елементи будівництва в УСК 2000 та винести їх на будівельний майданчик.

Виходячи з цього, доцільно дослідити ефективність та особливості різних методів трансформування координат, щоб максимально точно забезпечити усі умови сучасного будівництва. Розглянуто модельну задачу, метою якої було дослідити, який із трьох методів забезпечить найвищу взаємну точність знайдених трансформованих координат елементів будівництва. Для порівняння було обрано три різних методи: класичний метод найменших квадратів (МНК), ітераційний метод (ІМ) та нелінійне програмування в Solver (НЛП). Два останні базуються на мінімізації довжин векторів зміщення i -тої точки після їх перерахунку в іншу систему координат.

Для оцінки точності високоточних інженерно-геодезичних мереж при наукових дослідженнях використано метод спотвореної математичної моделі. В основі методу лежить математичне моделювання результатів геодезичних вимірів. Зокрема генерування випадкових чисел, що підлягають заданому закону розподілу вірогідностей з заданим математичним очікуванням і дисперсією.

Модельна задача представлена опорною геодезичною мережею, що складається з 10-ти пунктів з відомими координатами у двох системах координат (генплану та УСК-2000) та параметрами трансформації. Дані наведені в табл. 4.7.

Математичну модель заданої геодезичної мережі створювали наступним чином. Координати пунктів у двох системах координат (генплану і УСК 2000) та параметри трансформації приймаємо безпомилковими. Процес визначення

координат RTN методом змодельовано за допомогою спотворення ідеальних значень координат точок надбудовою Excel – «Аналіз даних». Для цього було задано необхідні параметри для генерації випадкових даних:

- закон розподілу – нормальний;
- математичне очікування результату виміру;
- стандартне відхилення (СКП);
- випадкове розсіювання.

Таблиця 4.7

Параметри ідеальної опорної геодезичної мережі

Номер пункту	Вихідні дані, м			
	Генплан		УСК-2000	
	X	Y	X	Y
1	1,63	8,59	5424231,23	5329539,617
2	1,62	137,69	5424119,344	5329603,025
3	341,92	137,69	5424289,141	5329898,936
4	341,92	8,59	5424401,022	5329834,52
5	48,65	1,42	5424261,905	5329576,788
6	12,44	1,42	5424243,837	5329544,408
7	12,44	146,02	5424118,524	5329617,558
8	325,26	146,02	5424274,61	5329888,655
9	331,84	1,42	5424402,206	5329821,207
10	295,65	1,42	5424384,149	5329790,844

Координати перших чотирьох пунктів, із яких визначали параметри трансформації було спотворено. Після чого перераховували координати наступних шести пунктів та порівнювали їх із еталонними значеннями відповідних координат елементів будівництва. В табл. 4.8 наведено змодельовані похибки координат пунктів для чотирьох етапів спотворень.

Перше спотворення імітує співнаправленість помилок притаманних для RTN методу, що пояснюється систематичною складовою похибок GNSS вимірювань. Наступні спотворення створені генератором випадкових чисел, однак з різними відхиленням від істинних значень.

Таблиця 4.8

Зміщення координат відповідних пунктів на різних етапах спотворення.

Номер пункту	Похибки для етапів спотворення, м							
	1		2		3		4	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
1	0,031	-0,02	-0,005	0,005	0,005	-0,012	-0,032	0,0056
2	0,032	-0,023	-0,002	-0,008	-0,012	0,007	0,024	-0,015
3	0,032	-0,024	0,005	0,004	0,014	0,01	-0,018	0,029
4	0,025	-0,015	0,003	-0,003	-0,009	-0,008	0,0095	-0,011
СКП	0,025894		0,004704		0,010019		0,020102	

Далі за модельованими результатами вимірів обчислювали зрівноважені координати і порівнювали їх із відповідними значеннями ідеальної математичної моделі. На рис. 4.5 зображено схему розташування пунктів. Точки із 1-ої до 4-ої є опорними, тобто мають відоме планове розміщення в двох системах координат, тому на них визначились параметри трансформування точок із 5-ої до 10-ої, які мають відомі тільки запроєктовані координати (система координат генплану), а потрібно знайти їх також і у державній геодезичній системі.

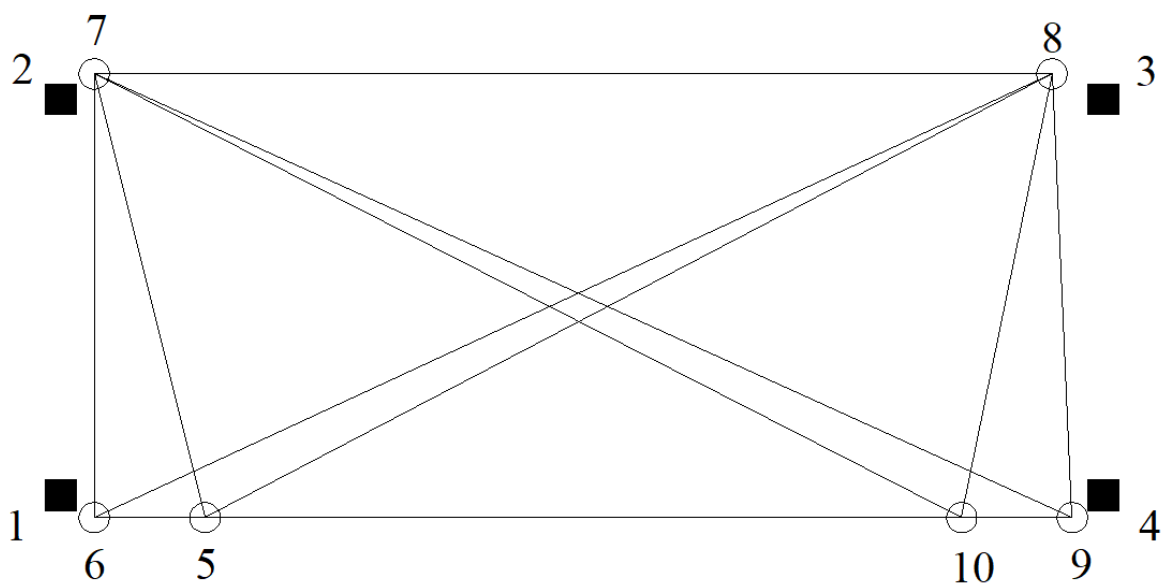
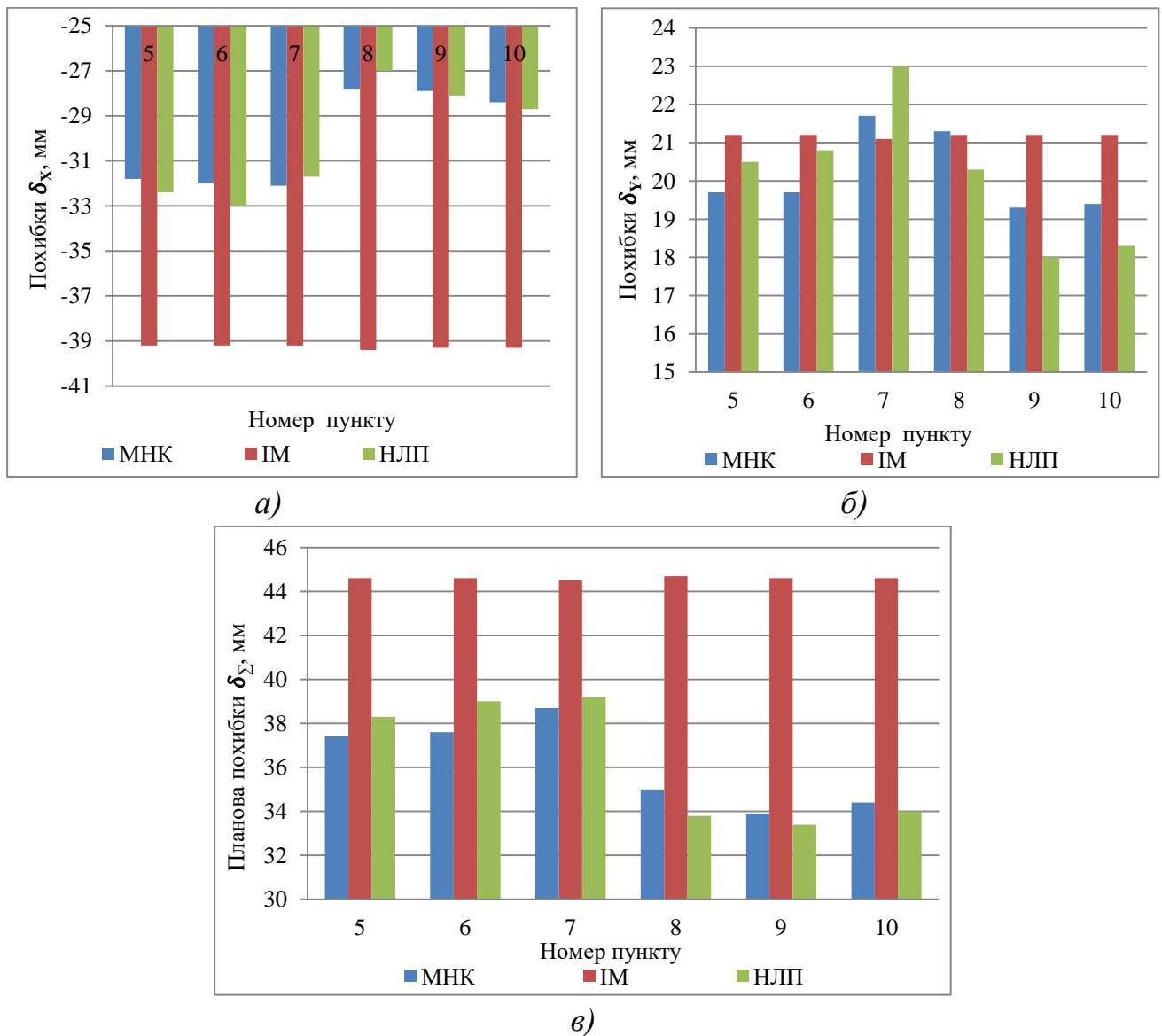


Рис. 4.5 – Схема розташування пунктів геодезичної мережі

Для оцінювання доцільності використання запропонованих методів розв'язано модельні задачі, результати яких представлено у Додатку В, табл. В1 та рис. 4.6, де показано порівняння помилок трансформованих координат пунктів від їх істинних значень при використанні відповідних методів трансформування в залежності від величини спотворення вихідних даних.



а – похибки трансформування координат по осі абсцис δ_x , мм; *б* – похибки трансформування координат по осі ординат δ_y , мм; *в* – планові похибки трансформування координат δ_Σ , мм

Рис. 4.6 - Порівняння точності трансформованих координат пунктів геодезичної мережі запропонованими методами

Із одержаних результатів зміни похибок визначених координат пунктів трансформуванням трьома методами при першому спотворенні мережі видно, що всі методи виконали поставлене завдання за наявності систематичних похибок у вихідних даних, які часто виникають на пунктах опорної геодезичної мережі та червоних ліній забудови. Використання класичного методу найменших квадратів та нелінійного програмування дозволяє знаходити трансформовані координати точок за наявності помилок у вихідних даних з мінімальним відхиленням від істинних значень. Ітераційний метод порівняно із МНК дав результати на 43% гірші, так як на всіх етапах спотворення для наочності використовувалась однакова кількість ітерацій ($N = 10$). За великих відхилень від істинних значень діапазон можливих розв'язків досить суттєво зростає. Наприклад, при першому спотворенні даний діапазон був в межах:

$$- 5424237,8005 < X_0 < 5424239,4785;$$

$$- 5329528,8707 < Y_0 < 5329533,0532.$$

Згідно вибраних діапазонів було призначено наступні кроки ітерації по X та Y – 0,1678 та 0,4182 відповідно. Таким чином, при великому розкиді даних для підвищення точності результатів доцільно збільшувати кількість кроків ітерації. Проміжні дані роботи алгоритму наведені в Додатку В, табл. В1.

При трансформуванні координат точок інженерно-геодезичної розмічувальної мережі варто розглядати не тільки відхилення від істинних значень координат пунктів, але й взаємну точність винесених елементів. У Додатку В, табл. В2 представлено помилки геометричних елементів опорної геодезичної мережі ліній (векторів). На основі істинних координат пунктів визначались довжини усіх можливих ліній для точок від 5-ої до 10-ої та порівнювались із лініями визначеними за спотвореними координатами відповідних точок.

На підставі виконаних досліджень встановлено, що точність знаходження координат методом найменших квадратів є вищою за запропоновані ітераційний метод та нелінійного програмування. Варто зазначити, що віддалі

(вектори), що обчислені за знайденими координатами пунктів, мають вищу точність при використанні методів, що базуються на мінімізації довжин векторів зміщення і-тої точки після її перерахунку в іншу систему координат, про що свідчать результати наведені у Додатку В табл. В2 та на рис. 4.7.

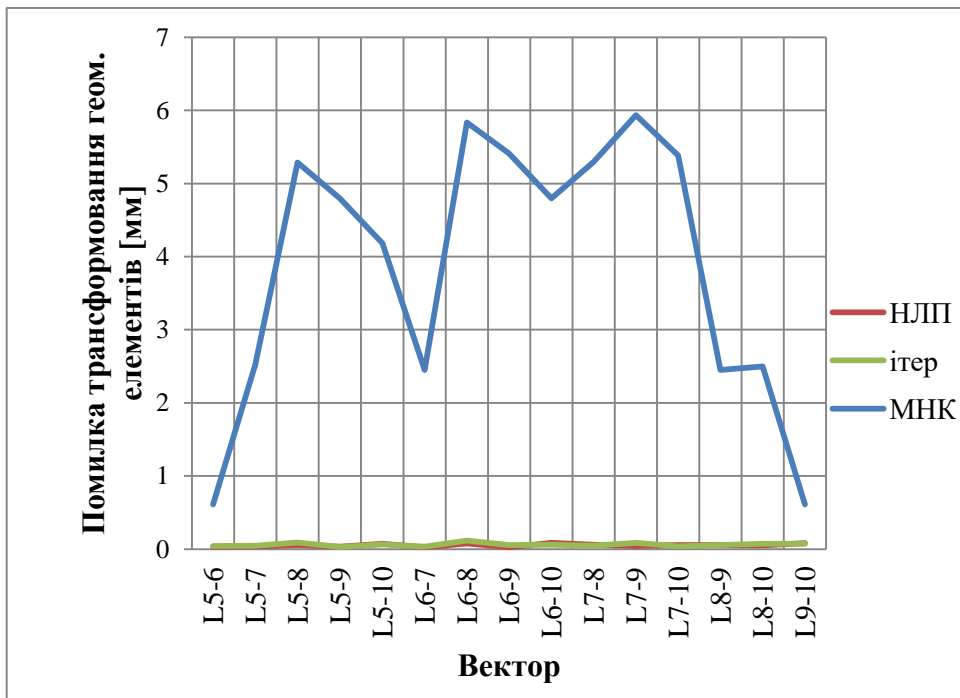


Рис. 4.7 - Порівняння взаємної точності елементів геодезичної мережі одержаних після трансформування запропонованими методами

Для створення планової основи на будівництві доцільно використовувати запропонований ітераційний метод та метод нелінійного програмування, оскільки одержані координати мають значно вищу планову взаємну точність. Необхідно відзначити вагому перевагу ітераційного методу, який за допомогою особливостей алгоритму має можливість знайдення найслабшої точки в мережі, що ще раз підтверджує присутність систематичних похибок у вимірах та ефективність врівноваження мереж модифікованим параметричним методом.

На основі виконаних досліджень встановлено ефективність використання запропонованих методів особливо за присутності великих похибок у вимірах (5 см), оскільки вони дозволяють вилучити з опрацювання систематичні похибки, які проявляються при використанні RTN методу. Взаємна точність трансформованих елементів будівництва при використанні

ітераційного методу та нелінійного програмування є надзвичайно висока. Натомість при опрацюванні мереж класичним методом помилки значно перевищують визначені параметри точності мережі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Запропонований алгоритм розрахунку, що базується на використанні методу ітерації та цільової функції, яка мінімізує довжини вектора не співвідносності між координатами отриманими із вимірів та із обчислень дозволяє з міліметровою точністю трансформувати координати пунктів мережі будівельного майданчика. Особливістю даної методики є те, що одержані результати не несуть в собі похибок вимірів, оскільки вони практично нівелюються за допомогою мінімізації запропонованої цільової функції.

2. Запропонована методика дає можливість без додаткових вимірювань вилучати грубі похибки координат, як пунктів геодезичної основи, так і пунктів визначених за допомогою GNSS приймача.

3. Аналіз результатів експерименту, наведених в таблиці 4.9, дає змогу також рекомендувати оптимізаційні методи ітерації для зрівнювання спеціальних лінійно кутових мереж шляхом складання шаблону електронної таблиці та включенням відповідного програмного блока в систему автоматизованого опрацювання.

4. Запропоноване аналітичне рішення задачі забезпечення запроектованих розмірів будівель та взаємного розміщення між ними шляхом пошуку оптимальних параметрів трансформації між системою координат генплану та державною геодезичною мережею України (УСК-2000) дає можливість не тільки уникнути помилок при визначенні зв'язку між системами та наступному винесенні елементів будівництва RTN методом, але забезпечити необхідну точність розмічуваних робіт.

ЗАГАЛЬНІ 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 референціальних станцій: для 10 км зони складають 3.0 ± 1.2 мм; для 30 км зони 4.6 ± 0.8 мм; для перетину двох і більше 30 км зон становить 5.0 ± 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 epoch.

3. Запропоновано алгоритм розрахунку, що базується на використанні методу ітерації та цільової функції, яка мінімізує довжини вектора неспіввідповідності 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: ФГУП «Картогеоцентр». Т. 2. 2006. 360 с.
2. Адаменко О.В. Методи розрахунку точності геодезичних робіт при зведенні мостів шляхом моделювання напружено-деформованого стану [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.В. Адаменко. – К., 2012. - 18 с.
3. Баран П. И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. М.: Недра, 1990. 234 с.
4. Баран П. І. Інженерна геодезія. К.: ВІПОЛ, 2012. 618 с.
5. Бурак К. О. Розрахунок оптимальних даних для забезпечення співвісності деталей РУ типу ВВЕР-1000 при монтажі. Інженерна геодезія. 2002. № 45. С.34–40.
6. Бурак К. О. Технологія розпланувальних робіт і виконавчих знімачів з використанням TPS. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2011. №75. С. 53–57.
7. 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. Місто, 2018 рік. С 15–16.
8. 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 Частина 1. С. 134-142.
9. Бурак К. О., Лиско Б. О. Ітераційний алгоритм трансформування координат для розпланувальних робіт при будівництві GEOFORUM 2019 Тези доповідей «GEOFORUM'2019». 24-та Міжнародна науково-технічна конференція 10–12 квітня 2019 р., Львів–Брюховичі–Яворів С. 56-57

10. 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.

11. Визначення точності відхилення положення близькостворної точки за допомогою електронного тахеометра / Бурак К. О., Гринішак М. Я., Ковтун В. М., Михайлишин В. П., Шпаківський О. П. *Вісник геодезії і картографії*. Київ, 2012. №2 (77). С. 15–17.

12. Власенко Е. П. Разработка методики создания разбивочной основы на монтажном горизонте высотных зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: МИГАиК, 2009. 24 с.

13. Войтенко С. П., Шульц Р. В., Медведський Ю. В. Сучасні методи передачі координат пунктів просторової геодезичної мережі на монтажний горизонт. *Будівництво України: наук.-виробн. журнал*. К., 2009. Вип. № 9–10. С. 21–24.

14. Впровадження державної геодезичної референцної системи координат України – УСК 2000 / О. Кучер, Ю. Стопхай, Р. Васютенко, О. Ранкевич. Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід. Вип.4. Чернігів, 2008. С. 25–3

15. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2. : навчальний посібник / Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с

16. Геодезия и метрология больших длин и коротких векторов. Эксперименты и эталоны / Купко В., Неежмаков П., Олейник А., и др. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: наук.-техн. збірник НУ "Львівська політехніка", 2016. Вип. II (32). С. 55–62.

17. Горб А., Нестерович А., Федоренко Р. Экспериментальная оценка точности определения координат навигационным приемником в дифференциальном режиме. *Сучасні досягнення геодезичної науки та*

виробництва: зб. наук. праць. Львів: вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. Вип. 1 (17). С. 103–108.

18. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення. Теорія і практика: пер. з англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа. Київ: Наук. думка, 1995. 380 с.

19. ДБН В.1.3.-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів в будівництві. Геодезичні роботи в будівництві. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 70 с.

20. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. 126 с.

21. Дзуліт П. Д., Джуман Б. Б., Смелянець О. В. Модель гравіметричних складових відхилень прямовисних ліній території України за даними EGM 2008. *Геодинаміка: Наук.-техн. зб.* Л.: НУ «Львівська політехніка», 2012. № 1(12). С. 30–35.

22. Дементьев В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение: Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е. М.: Академический проект, 2008. 591 с.

23. Дослідження точності визначення координат GNSS методом в режимі RTK / Віват А. Й., Літинський В. О., Колгунов В. М., Покотило І. Я. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2011. №74. С. 52–59.

24. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. К., 2010. 70 с.

25. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования. М.: Изд-во «Проспект». 2009. 48 с.

26. Єгоров О. І. Обґрунтування точності геодезичних робіт при будівництві і експлуатації споруд баштового типу на основі напружено-деформованого стану : дис... канд. наук: 05.24.01– геодезія, фотограмметрія і картографія / Київський національний ун-т будівництва і архітектури. К., 2001. 144 с.

27. Жуков Б. Н., Карпик А. П. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов. Новосибирск: СГГА, 2006. 118 с.

28. Заблоцький Ф., Савчук М. Точність вологої складової зенітної тропосферної затримки, виведеної із GPS-спостережень. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. Вип. I(27). С. 52–54.

29. Задемленюк А. В. Аналіз GNSS обладнання для роботи в RTK режимі. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів, 2010. Вип. II (18). С. 108–116.

30. Задемленюк А. В. Дослідження впливу похибок на супутникові вимірювання в RTK-режимі. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2010. № 73. С. 25–33.

31. Задемленюк А. В. Дослідження похибок супутникових вимірювань в RTK режимі. Нові технології в геодезії та землевпорядкуванні. Ужгород, 2010. Вип. 5. С. 90–93.

32. Задемленюк А. В. Про сучасний стан координатного забезпечення та перспективи його вдосконалення для задач кадастру. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Львів, 2008. Вип. 70. С. 14–20.

33. Задемленюк А. В. Результати експериментальних досліджень точності визначення координат та практичне застосування RTK-технології з використанням GPRS Internet з'єднання. Геодезія, архітектура та будівництво. Львів, 2009. Вип. 2. С. 130–133.

34. Застосування супутникових методів для створення геодезичної мережі при будівництві метрополітену / Р. В. Шульц, М. В. Білоус, В. Я. Ковтун та ін. Вісник геодезії та картографії, 2012, № 2 (77). С. 5–9.

35. Иванов Н. И. О выборе поверхности проектирования триангуляции при инженерно-геодезических изысканиях и городских съемках. Геодезия и картография. 1957. № 2, С. 36–39.

36. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Ключин Е. Б., Кселев М. И. Михелев Д. Ш., Фельдман В.Д. Под ред. Д. Ш. Михелева. 10-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 480 с.

37. Исследование влияния многопутности на результаты GNSS- измерений / И. В. Лесных, В.А. Середович, А.К. Синякин, А.В. Кошелев. Спутниковые системы связи и навигации. Т. 1. Красноярск: КГТУ, 1997. С. 120–124.

38. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3501>.

39. Інструкція про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем. Офіц. вид. К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2002. 56 с.

40. Ключин Е. Б., Заки Мохамед Зейдан Эль-Шейха, Власенко Е.П. Создание плановой разбивочной основы на монтажном горизонте при строительстве зданий повышенной этажности. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. № 6, 2009.

41. Костецкая Я., Пишко Ю. Определение точного расположения пунктов спутниковой системы при длительном сеансе наблюдений с помощью систем GPS и ГЛОНАСС на различных углах отсечки. Известия Национального Университета Архитектуры и Строительства Армении. Єреван, 2014. 1 (39). С. 95–100.

42. Костецька Я., Пішко Ю. Вплив типу ефемерид на точність визначення положення пунктів супутникових мереж. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Л., 2013. Вип. 1. (25). С. 67–69.

43. Костецька Я., Пішко Ю. До питання точності довжин векторів, отриманих за результатами відносних GPS-спостережень двочастотними приймачами. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Л., 2009. Вип. .1 (17) С.92–97.

44. Костецька Я., Пішко Ю. Порівняння точності довжин векторів, отриманих за результатами спостережень одно- і двочастотними приймачами при різній тривалості сеансів. Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції. Ужгород, 28-30 жовтня 2010. С. 164–166.

45. Костецька Я., Пішко Ю. Точність визначення положення пунктів з використанням супутникових систем GPS та ГЛОНАСС. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Географія, природокористування та туризм. Ужгород, 2013. Вип. 1. С. 62–68.

46. Костецька Я., Пішко Ю., Гешель Д. Залежність точності визначення положення пунктів у супутникових мережах від тривалості сеансів спостережень. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Л., 2011. Вип. .2 (22) С. 96–102.

47. Костецька Я., Торопа І., Фок О. До питання тривалості GPS-спостережень залежно від довжини вектора-бази. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Л., 2005. Вип. II. С. 60-65.

48. Ланьо О., Савчук С. Дослідження точності RTN-вимірювань у мережі UA-EUPOST / ZAKPOS. Вісник геодезії і картографії. 2012. №4. С. .

49. Літнарівч Р. М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник. Рівне: МЕРУ, 2011. 140 с.

50. Лукьянов В. Ф. Расчеты точности инженерно-геодезических работ. М.: Недра, 1990. 252 с.

51. Маркузе Ю. И. О преобразовании координат спутниковых и наземных геодезических сетей. Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. 2009. № 4. С. 40–44.

52. Матвеев С. И. Новый вид опорных геодезических сетей специального назначения. 225 лет МИИГАиК. Геодезия и прикладная геодезия: матер. междунар. науч.-тех. конф. Москва, 2004. С. 301–305.

53. Медведський Ю. В. Дослідження стабільності пунктів інженерно-геодезичної мережі методом GPS-спостережень. Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: збірник матеріалів. XV науково-технічного симпозіуму (13 – 18 вересня 2010 р, м. Алушта). Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2010. С. 24–33.

54. Медведський Ю. В., Математична модель визначення переміщення висотної споруди на основі фільтрації за Калманом. Геодезія, архітектура та будівництво: матеріали IV міжнародної конференції молодих вчених ГАС-2011. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. С. 176–179.

55. Медведський Ю. В. Методика експериментальних досліджень точності побудови геодезичної основи на монтажному горизонті GNSS-методом. Інженерна геодезія: наук.-техн. збірник. К.: КНУБА, 2010. Вип. 56. С. 53–56.

56. Медведський Ю.В. Технологія і методика геодезичного за безпечення будівництва висотних споруд засобами GNSS-технологій

57. Мельников В. С., Корнишов И. Д. новые горизонты технологии GSM RTK, Геопрофи, 2010. № 3. С. 25–29.

58. Метешкін К. О., Шаульський Д. В. Математична обробка геодезичних вимірів: навч. посібник. Х.: Харк. нац. акад. міськ. госп-ва, 2012. 176 с.

59. 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.

60. Пішко Ю. Уточнення формул середніх квадратичних помилок довжин векторів, визначених за результатами спостережень GPS-приймачами. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Л., 2012. Вип. 1 (23) С. 87–90.

61. Попередній розрахунок точності визначення координат при позацентричних GPS – вимірюваннях / О.Й. Кузьмич, Є.А. Тарнопольський, Р.В.

Щульц, Ю.В. Медведський. Інженерна геодезія: Наук.-техн. збірник К., КНУБА, 2011. Вип. 57. С. 44–55.

62. Прудников Г. Г. Причины неточности исполнительной геодезической съемки. Промышленное строительство. 1973. № 1.73 .

63. Савчин І. Р., Дума М. В. Оптимізація опорної ГНСС-мережі Дністровської ГАЕС. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2016. С. 17–24.

64. Савчук С. Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2007. Вип. 69. С. 20–33.

65. Савчук С. Г., Задемленюк А. В. Деякі питання геодезичного забезпечення кадастрових робіт. Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід. Вип. 4. Чернігів, 2008. С. 58–61.

66. Савчук С. Г., Задемленюк А. В. До питання налаштування GNSS обладнання для роботи в RTK режимі. Нові технології в геодезії та землевпорядкуванні. Вип. 4. Ужгород, 2009. С. 76–78.

67. Савчук С. Г., Задемленюк А. В. До питання точності визначення координат пунктів спостережень методом PPP – Precise Point Positioning. Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології. Вип. 15. Алушта (Крим), 2010. С. 18–24.

68. Савчук С. Г., Задемленюк А. В. Можливості використання технології RTK у Львівській області для задач земельного кадастру. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 72. 2010. Львів, 2010. С.14–21.

69. Савчук С. Г., Задемленюк А. В. Про нові технології створення координатної основи для кадастрових робіт. Нові технології в геодезії та землевпорядкуванні. Вип. 3. Ужгород, 2008. С. 16–18.

70. Савчук С. Г., Задемленюк А. В., Піскорівський А.Я. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS INTERNET з'єднання. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Вип. I (17). 2009. Львів 2009. С. 58–69.

71. Савчук С. До питання точності GPS-спостережень / С. Савчук, Н. Каблак, І. Калинич, І. Проданець. Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техн. зб. Л., 2007. Вип. 68. С. 105–108.
72. Савчук С., Задемленюк А., Піскорівський А. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTN з використанням GPRS Інтернет з'єднання. Зб. наук. праць «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва». Львів: вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. Вип. 1 (17).
73. Савчук С., Ланьо О. Аналіз якості мережевого розв'язку в активних GNS мережах Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 74. Львів, 2011.
74. Серапинас Б. Б. Глобальные системы позиционирования: Учеб. Изд. М.: ИКФ «Каталог», 2002. 106 с.
75. Синякин А. К., Кошелев А. В. Проблемы метрологической аттестации GNSS-аппаратуры. Сб. материалов III Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», т. 6. Новосибирск: СГГА, 2007. С. 130-132.
76. Синякин, А. К., Ерошенко А. М., Воронин А. А. Исследование влияния многопутности распространения сигнала на точность определения местоположения навигационным прибором GARMIN 12 XL. Вестник СГГА. Вып. 6. Новосибирск: СГГА, 2001 С. 32–37.
77. Синякин, А. К., Кошелев А. В. Анализ погрешностей GNSS-приемников в дифференциальном режиме. Вестник СГГА. Вып. 2. Новосибирск: СГГА, 1997. С. 52–56.
78. Сідоров І. С., Перій С. С., Сарнавський В. Г. Визначення рухів земної поверхні в районі дністровської гаес супутниковими та наземними геодезичними методами. Геодинаміка. 2015. С. 15–25.
79. Сідоров І. С., Третьак К.Р. Сумісне опрацювання супутникових і наземних геодезичних вимірів високоточної мережі будівництва Дністровської ГАЕС. Вісник геодезії та картографії. 2012. № 3. С. 6–9.

80. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 268 с.
81. Супутникові радіонавігаційні спостереження при реалізації геодезичної референцної системи координат України – УСК2000 / О. Кучер, Б. Лепетюк, Ю. Стопхай, І. Заєць, С. Савчук. Вісник геодезії та картографії. Київ, 2005. Вип 5. С.
82. Сытник В.С. Основы расчета и анализа точности геодезических измерений в строительстве. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
83. Терещук О. І. Методика та результати дослідження кінематичних визначень координат різними GNSS–приймачами. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2014. № 80. С. 48–61.
84. Терещук, О. І., Нисторьяк І. О. Аналіз GNSS-спостережень у Північному регіоні України. Містобудування і територіальне планування. 2013. № 48.
85. Тревого І., Цюпак І. Метрологічна атестація еталонного базиса технологією ГНСС. Метрологія. Харків. 2014. С. 381–384.
86. Третяк К. Р. Смолій К.Б. Урівноваження диференційним методом ГНСС мереж з обмеженим доступом до супутникових сигналів. Геодезія, картографія і аерофотознімання. Львів. 2015. Вип. 81. С.25–45.
87. Третяк К. Р., Смолій К.Б., Серант О.В. Дослідження ефективності урівноваження ГНСС мереж. Інженерна геодезія. Київ. 2015. Вип. 62. С. 32–44.
88. Третяк К. Р., Шушкова Т. М. До питання тривалості GPS-вимірів при побудові державних мереж 1- го та 2-го класу. Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техн. зб. Л., 2001. Вип. 61. С. 124-132.
89. Третяк К., Сідоров І. Оптимізація побудови геодезичної мережі Дністровської ГАЕС супутниковими радіонавігаційними технологіями. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Л.: вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. С. 207–219.

90. Третяк К., Смолій К. Оцінка точності параметрів деформацій напірних трубопроводів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Львів: вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2012. Вип. 1(23). С. 115–119.

91. Третяк К., Черепанов Є. Експериментальні дослідження точності GPS-системи SR-9500 Leica. Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва: зб. наук. пр. Л., 1999. С. 93–98.

92. Шестаков Н. В. К вопросу об оптимальном проектировании деформационных геодезических GNSS-сетей: Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. 2009. № 5. С. 11–21.

93. Шульц Р. В. Медведський Ю. В. Особливості використання GPS-технологій при створенні геодезичної основи на монтажному горизонті для потреб висотного будівництва. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. К., КНУБА, 2009. Вип. 34. С. 485–490.

94. Шульц Р. В., Білоус М. В., Медведський Ю. В. Дослідження стабільності пунктів просторової геодезичної мережі. Інженерна геодезія: наук.-техн. збірник К., КНУБА, 2010. Вип. 55. С. 212–223.

95. Шульц Р. В., Медведський Ю. В. Особливості використання GPS-технології при створенні геодезичної основи на монтажному горизонті для потреб висотного будівництва. Містобудування та територіальне планування. К.: КНУБА, 2009. Вип.. 35. С. 485–490.

96. Шульц Р., Кучеренко О., Медведський Ю. Розроблення проекту створення інженерно-геодезичної мережі за допомогою супутникових спостережень. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Вип. II(20). 2010. С. 130–134.

97. Шульц Р. В., Медведський Ю. В. Розробка і дослідження методики створення геодезичної основи на монтажному горизонті при висотному будівництві. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. Збірник. К.: КНУБА, 2009. Вип. № 34. С. 539–542

98. Эль Дарса Аббуд Мохамед Рафик. Разработка методов геодезического обеспечения строительства гидротехнических сооружений на основе спутниковых технологий тема диссертации и автореферата кандидат технических наук по ВАК 25.00.32,

99. Яндров И. А. Исследование и разработка координатного метода разбивочных работ в строительстве. Автореферат канд.. тех.. наук. МИГАиК, Москва 2009. 24 с.

100. Яндров И. А. Исследование и разработка координатного метода разбивочных работ в строительстве Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 25.00.32-Геодезия. Московский государственный университет геодезии и картографии Москва 2009. 122 с.

101. Янків-Вітковська Л. М., Задемленюк А. В. Дослідження азимутально-часових варіацій стану іоносфери за спостереженнями з мережі GNSS-станцій Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2014. №80. С. 40–47.

102. Alcaay S. Comparing GLONASS-only with GPS-only and hybrid positioning in various length of baselines / S. Alcaay, C. Inal, C O. Yigit, M. Yetkin / Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. 2012. Vol. 47(1). P. 1-12.

103. Al-Shaery A. Assessment of network-based positioning performance using GPS alone versus GPS and GLONASS combined / Al-Shaery A., Lim S., C. Rizos // 24th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation. Portland, Oregon, USA, 20-23 September 2011. P 2341-2349.

104. Analysis and verification of the accuracy of RTK GPS technology in the implementation of control points in detailed measurements / Krzyżek, R., Adamczyk, T., Bieda, A., et. al eds. (2014) Chosen Issues of Geodetic Science, pp. 87-106.

105. Analysis of the TXDOT RTN and OPUS-RS from the geoid slope validation survey of 2011: Case study for Texas / D. Smith, K. Choi, D. Prouty, et al., eds. Journal of Surveying Engineering. – 2014. 140.

106. Angrisano, A., Gaglione, S., Gioia, C. Performance assessment of GPS/GLONASS single point positioning in an urban environment (2013) *Acta Geodaetica et Geophysica*, 48 (2), pp. 149-161.

107. ASG+: Project for improving Polish multifunctional precise satellite positioning system / Figurski, M., Bogusz, J., Bosy, J., et al. eds. (2011) *Reports on Geodesy*, 2 (91), pp. 51-58.

108. Bakula, M. Study of reliable rapid and ultrarapid static GNSS surveying for determination of the coordinates of control points in obstructed conditions (2013) *Journal of Surveying Engineering*, 139 (4), pp. 188-193.

109. Beluch, J., Krzyżek, R. GPS RTK technology used for indirect methods of topographical surveys (2005) *Technical Sciences. Supplement/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, pp. 47-60.

110. Bonenberg L. K. Closely-coupled integration of Locata and GPS for engineering applications: PhD thesis. University of Nottingham, 2014. 184 p.

111. 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*. 2017. № 85. C. 5–12.

112. 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*. 2018. № 87. C. 49–59.

113. 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.

114. Burak K. O., Lysko B. O. The possible uses of RTN solutions for markup works on construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. 2018 № 87. C. 18–23.

115. 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*. 2018. Tom 2. № 3. P.140–145

116. Burak K., Lysko B. Exploring the accuracy of lengths constructions when solving the engineering geodesy issues with RTN method. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia: mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2017. Vol. 85. P. 5–12.

117. Chiang K.-W. INS/GPS Integrations Using Neural Networks for Land Vehicular Navigation Applications. A Thesis for the Degree Doctor of Philosophy. The University of Calgary. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, November 2004, P. 307.

118. Choy, S. High accuracy precise point positioning using a single frequency GPS receiver (2011) *Journal of Applied Geodesy*, 5 (2), pp. 59-69.

119. Constantin-Octavian Andrei 3D affine coordinate transformations/ Master's of Science Thesis in Geodesy, School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden March 2006, 63 p.

120. Doskocz, A., Uradziński, M. Initial analysis of the accuracy of position determination using ASG-EUPOS NAVGEO (RTK VRS) (2010) *Geomatics and Environmental Engineering*, 4 (4), pp. 113-118.

121. Dow J. M. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems / J. M. Dow, R. E. Neilan, C. Rizos. *Journal of Geodesy*. 2009. Vol. 83, № 3-4. P. 191-198.

122. Gao, Y. Precise Point Positioning and Its Challenges (2006) *Inside GNSS*, 1 (8), pp. 16-18.

123. Gargula T. An attempt of using one frequency GPS receivers to determination of geodetic networks / T. Gargula, M. Pogan, A. Pieszka // *Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техн. зб. Л., 2007. Вип. 69. С. 73-78.*

124. Gillins D., Dennis M. (2017). Inclusion of Leveling with GNSS Observations in a Single, 3-D Geodetic Survey Network Adjustment.

125. Gillins D., Heck J., Scott G., Jordan K., Hippenstiel R. Accuracy of GNSS Observations from Three Real-Time Networks in Maryland, USA. (2019).

126. GNSS Mission Planning интернет-ресурс. – Режим доступа: <http://gnssmissionplanning.com/App/Settings/>

127. Gps and glonass static and kinematic PPP results / Anquela, A.B., Martín, A., Berné, J.L., et al eds. (2013) Journal of Surveying Engineering, 139 (1), pp. 47-58.

128. Grewal M. S. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration / M. S. Grewal, A. P. Andrews C. G. Bartone. Third edition // John Wiley & Sons Ltd. 2013. 608 p.

129. Gross, P.A. A Review of GPS go Held in Ottawa in September 1990. Survey Review. 1991. T. 31. S. 239.

130. Hein, G.W. From GPS and GLONASS via EGNOS to Galileo – Positioning and Navigation in the Third Millennium (2000) GPS Solutions, 3 (4), pp. 39-47.

131. Huisman, L., Teunissen, P.J.G., Hu, C., Teunissen, P.J.G. GNSS precise point positioning in regional reference frames using real-time broadcast corrections (2012) Journal of Applied Geodesy, 6 (1), pp. 15-23.

132. Janssen, V., Haasdyk, J. Assessment of network RTK performance using CORSnet-NSW (2011) Proc. IGNSS 2011 Symp. International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2011 University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia 15 – 17 November 2011

133. Jansson P. Precise Kinematic GPS Positioning with Kalman Filtering and Smoothing. Theory and Applications. Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry, Stockholm, Sweden, May 1998. 134 p.

134. Jense, A.B.O., Ovstedal, O. The effect of different tropospheric models on precise point positioning in kinematic mode (2008) *Survey Review*, 40 (308), pp. 173-187.
135. Kizil U., Tisor L. Evaluation of RTK-GPS and Total Station for applications in land surveying. *Journal of Earth System Science*. 2011. №120. C. 215–221.
136. Kowalczyk, K. Analysis of the errors generated during the measurement of situational details RTK GPS method (2011) *Acta Scientiarum Polonorum Geodesia et Descriptio Terrarum*, 10 (1), pp. 5-22.
137. Kowalczyk, K. Evaluation of usefulness of measurements of inaccessible points using GPS RTK method with consideration of base errors (2011) *Przegląd Geodezyjny*, 10, pp. 7-12.
138. Krzyżek, R. Algorithm for Modeling Coordinates of Corners of Buildings Determined with RTN GNSS Technology Using Vectors Translation Method (2015) *Artificial Satellites*, 50 (3), pp. 115-125.
139. Krzyżek, R. Mathematical analysis of the algorithms used in modernized methods of building measurements with RTN GNSS technology (2015) *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 21 (4), pp. 848-866.
140. Krzyżek, R. Modernization of the method of line-line intersection using RTN GNSS technology for determining the position of corners of buildings (2015) *Artificial Satellites*, 50 (1), pp. 41-57.
141. Krzyżek, R. Reliability analysis of the results of RTN GNSS surveys of building structures using indirect methods of measurement (2014) *Geodesy and Cartography*, 63 (2), pp. 161-181.
142. Krzyżek, R. Routing Corners of Building Structures-by the Method of Vector Addition-Measured with RTN GNSS Surveying Technology (2015) *Artificial Satellites*, 50 (4), pp. 181-200.

143. Krzyzek, R. Verification of applicability of the Trimble RTX satellite technology with xFill function in establishing surveying control networks (2013) *Geodesy and Cartography*, 62 (2), pp. 217-233.

144. Lambrou, E., Kanellopoulos, N. Check and calibration of a single GNSS receiver by using the VRS RTN positioning method (2018) *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 117, pp. 221-225.

145. Leandro, R.F., Santos, M.C., Langley, R.B. Analyzing GNSS data in precise point positioning software (2011) *GPS Solutions*, 15 (1), pp. 1-13.

146. Lee, I.-S., Ge, L. The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions (2006) *Earth, Planets and Space*, 58 (5), pp. 515-522.

147. Leick A. *GPS Satellite Surveying – [2nd Edition]*. WileyInterscience. 584 p.

148. Li, P., Zhang, X. Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning (2014) *GPS Solutions*, 18 (3), pp. 461-471.

149. 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.

150. MacGougan, G., O'Keefe, K., Klukas, R. Accuracy and reliability of tightly coupled GPS/ultra-wideband positioning for surveying in urban environments (2010) *GPS Solutions*, 14 (4), pp. 351-364.

151. Malinowski, M. Accuracy of Precise Point Positioning with GPS and GLONASS Satellites Constellation Using Online Web Services (2018) *Proceedings - 2018 Baltic Geodetic Congress, BGC-Geomatics 2018*, pp. 29-36.

152. Metsar, J., Kollo, K., Ellmann, A. Modernization of the estonian national gnss reference station network (2018) *Geodesy and Cartography*, 44 (2), pp. 55-62.

153. Mullenix D., Fulton J., Brooke A. RTK Networks: Single Baseline and Network Solution Options. *Timely information Agriculture, Natural Resources & Forestry*. 2011. C. 1–2.

154. Pan, L., Xiaohong, Z., Fei, G. Ambiguity resolved precise point positioning with GPS and BeiDou (2017) *Journal of Geodesy*, 91 (1), pp. 25-40.

155. Parkinson B. W. and Spilker J. J. Jr., *Global position System: Theory and Applications*. Volume I. American Institute os Aeronautics and Astronautics. Washington, 1996. 798 p.

156. Parkinson B. W. and Spilker J. J. Jr., *Global position System: Theory and Applications*. Volume II. American Institute os Aeronautics and Astronautics. Washington. 1996. 652 p.

157. Paziewski, J., Krukowska, M., Wielgosz, P. Preliminary results on performance of new ultra-fast static positioning module-POZGEO-2 in areas outside the ASG-EUPOS network (2014) *Geodesy and Cartography*, 63 (1), pp. 101-109.

158. Pelc-Mieczkowska R., Dawidowicz K., Bednarczyk M., Birylo M., Hlotov V., Kowalczyk K., Kwartnik-Pruc A., Zbigniew S., Wróbel A., Tomaszewski D. (2015). *Modern Geodetic Techniques in Spatial Measurement*.

159. Pelc-Mieczkowska, R. Analysis of GPS/RTK positioning reliability in hard observational conditions (2012) *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, 59 (1-2), pp. 217-226.

160. Pirti, A., Yucel, M.A., Gumus, K. Testing real time Kinematic GNSS (GPS and GPS/GLONASS) methods in obstructed and unobstructed sites [Preskušanje metod Kinematične izmere GNSS v realnem času (GPS in GPS/GLONASS) na zastrtih in nezastrtih lokacijah] (2013) *Geodetski Vestnik*, 57 (3), pp. 498-512.

161. RTX Positioning: The Next Generation of Cm-accurate Real-Time GNSS Positioning. / Leonardo, R., Landau, H., Nitschke, M., et. al eds. *Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS, 2011)*. 2. 1460-1475.

162. Schrock, G. Best practices for the development and operation of real-time GNSS networks (2017) *Surveying and Land Information Science*, 76 (2), pp. 119-130.

163. Schwarz, K.-P, and Sideris M.G. Heights and GNSS. *GNSS World*, February, 1993. Vol. 4, No.2, P. 50–56.

164. Siejka, Z. Verification of the usefulness of the trimble RTX extended satellite technology with the xFill function in the local network implementing RTK measurements (2014) *Artificial Satellites*, 49 (4), pp. 191-209.

165. Solomon, P.D., Wang, J., Rizos, C. Latency determination and compensation in real-time GNSS/INS integrated navigation systems (2011) *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 38 (1C22), pp. 303-307.

166. StępniaK, K., Wielgosz, P., Paziowski, J. Analysis of PPP accuracy depending on observing session duration and GNSS systems used (2012) *Biuletyn WAT*, 61 (1), pp. 429-450.

167. System Solutions Мережа референцих станцій України [Електронний ресурс] / System Solutions (Transcarpathian Position Determination System) – Режим доступу <https://systemnet.com.ua/rtk/> – Заг. з екрану

168. Tale of two RTNs: Rigorous evaluation of real-time network GNSS observations / Allahyari, M., Olsen, M.J., Gillins, D.T., et al eds. (2018) *Journal of Surveying Engineering*, 144 (2),

169. Teng, Y., Wang, J. A closed-form formula to calculate geometric dilution of precision (GDOP) for multi-GNSS constellations (2015) *GPS Solutions*, pp. 1-9.

170. TOPCON Україна [Електронний ресурс] / Центр інформ. технологій TNT-TPI GNSS – Режим доступу : <http://www.tnt-tpi.com> – Заг. з екрану

171. Tretyak K., Smoliy K. Modified parameter methods of researching GNSS networks with correlative measurements and systematic errors. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Львів: вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2017. №2(34). С. 55–67.*

172. Uznański, A. Analysis of RTN Measurement Results Referring to ASG-EUPOS Network. (2010) *Geomatics and Environmental Engineering*, 4 (1-1), pp. 153-161.

173. Wang, C., Feng, Y., Higgins, M., Cowie, B. Assessment of commercial network RTK user positioning performance over long inter-station distances (2010) *Journal of Global Positioning Systems*, 9 (1), pp. 78-89.

174. Weaver B. & Gillins D., Dennis M. (2017). Hybrid Survey Networks: Combining Real-Time and Static GNSS Observations for Optimizing Height Modernization. *Journal of Surveying Engineering*. 2018. 144 (1).

175. ZAKPOS Мережа референцих станцій України [Електронний ресурс] / ZAKPOS (Transcarpathian Position Determination System) – Режим доступу www.ua-post/net/ZPOS-RTN-v103 – Заг. з екрану.

Додатки

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

1. Бурак К. О., Лиско Б. О., Михайлишин В. П. 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.

2. Бурак К. О. Лиско Б. О. 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.

Статті у наукових фахових виданнях України:

3. Бурак К.О., Лиско Б. О. 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

4. Бурак К.О., Лиско Б. О. The possible uses of RTN solutions for markup works on construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. Lviv, 2018 № 87. С. 18–23.

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 Частина 1. С. 134-142.

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.

7. Пилип'юк Р. Г., Пилип'юк Р. Р., Грицюк Т. Ю., Лиско Б. О. Особливості визначення довготи за виміряними зенітними відстанями зір у першому вертикалі. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2016. Вип. 26.4. С. 315–319.

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 рік. С 15–16.

9. Бурак К. О., Лиско Б. О. Ітераційний алгоритм трансформування координат для розпланувальних робіт при будівництві GEOFORUM 2019 Тези доповідей «GEOFORUM'2019». 24-та Міжнародна науково-технічна конференція 10–12 квітня 2019 р., Львів–Брюховичі–Яворів С. 56-57

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.

11. Бурак К. О., Лиско Б. О. Influence DOP on accuracy of RTN measurements. Universum View : матеріали міжнародної науковотехнічної конференції. Краматорськ, 28 вересня 2018. С. 241–242.

12. Лиско Б. О., Мрічко М. І. 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.

Патент

13. Патент України № 132779 G01C 15/10 (2006.01). Пристрій для центрування геодезичних приладів / К. О. Буряк, 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.

Додаток Б
Експериментальні дані одержані на еталонному полігоні

Таблиця Б.1

Експериментальні дані одержані на еталонному полігоні

№ виміру	Δ , М	HRMS	VRMS	HDOP	VDOP	TDOP	N
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,00478	0,008	0,012	0,753	1,231	0,881	14
2	0,0014	0,008	0,012	0,708	1,186	0,798	15
3	0,00103	0,008	0,012	0,708	1,186	0,798	15
4	0,00368	0,008	0,012	0,708	1,186	0,798	15
5	0,00103	0,008	0,013	0,708	1,186	0,798	15
6	0,00279	0,008	0,013	0,708	1,186	0,798	16
7	0,00176	0,009	0,013	0,708	1,186	0,798	16
8	0,00382	0,009	0,013	0,708	1,186	0,798	16
9	0,00103	0,009	0,013	0,708	1,186	0,798	16
10	0,00169	0,009	0,013	0,708	1,186	0,798	16
11	0,00382	0,009	0,013	0,661	1,119	0,755	17
12	0,00162	0,009	0,013	0,661	1,119	0,755	17
13	0,00198	0,009	0,013	0,661	1,118	0,755	17
14	0,0036	0,009	0,013	0,661	1,118	0,754	17
15	0,00426	0,009	0,013	0,661	1,118	0,754	17
16	0,00169	0,009	0,013	0,661	1,118	0,754	17
17	0,00323	0,009	0,013	0,661	1,118	0,754	17
18	0,00772	0,009	0,013	0,661	1,117	0,754	17
19	0,00021	0,009	0,013	0,661	1,117	0,754	17
20	0,00169	0,009	0,013	0,661	1,117	0,754	17
21	0,00544	0,009	0,013	0,661	1,117	0,754	17
22	0,00868	0,009	0,013	0,661	1,117	0,754	17
23	0,00139	0,01	0,014	0,661	1,116	0,753	17
24	0,00235	0,009	0,014	0,661	1,116	0,753	17
25	0,0008	0,009	0,014	0,661	1,116	0,753	17
26	0,00015	0,009	0,013	0,661	1,116	0,753	17
27	0,00264	0,009	0,013	0,661	1,115	0,753	17
28	0,00081	0,009	0,013	0,661	1,115	0,753	17
29	0,0008	0,008	0,013	0,661	1,115	0,753	17
30	0,00169	0,008	0,013	0,661	1,115	0,753	17
31	0,00052	0,008	0,013	0,661	1,115	0,752	17
32	0,00059	0,008	0,012	0,619	0,994	0,645	16
33	0,0064	0,008	0,012	0,664	1,043	0,722	16
34	0,00389	0,009	0,016	0,838	1,38	0,934	16
35	0,00485	0,007	0,011	0,664	1,042	0,722	16
36	0,00294	0,007	0,011	0,664	1,042	0,722	16
37	0,0036	0,007	0,011	0,664	1,042	0,721	16
38	0,00883	0,028	0,046	0,781	1,182	0,841	13
39	0,00221	0,02	0,037	0,781	1,182	0,841	15

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
40	0,00375	0,018	0,033	0,749	1,137	0,824	15
41	0,0036	0,013	0,02	0,664	1,04	0,721	17
42	0,00015	0,012	0,018	0,619	0,991	0,643	17
43	0,00205	0,011	0,017	0,619	0,99	0,643	17
44	0,00801	0,011	0,016	0,619	0,99	0,643	17
45	0,00551	0,01	0,016	0,619	0,99	0,643	17
46	0,0011	0,009	0,014	0,619	0,99	0,642	17
47	0,00676	0,009	0,014	0,619	0,989	0,642	17
48	0,00052	0,009	0,013	0,619	0,989	0,642	17
49	0,0033	0,009	0,013	0,619	0,989	0,642	17
50	0,00169	0,009	0,013	0,619	0,989	0,642	17
51	0,00073	0,008	0,013	0,619	0,988	0,642	17
52	0,00904	0,009	0,013	0,714	1,119	0,783	14
53	0,00235	0,008	0,012	0,619	0,987	0,641	17
54	0,00169	0,008	0,012	0,619	0,987	0,641	17
55	0,00323	0,008	0,012	0,619	0,987	0,641	17
56	0,05024	0,024	0,036	0,741	1,158	0,707	5
57	0,00588	0,008	0,014	0,778	1,169	0,877	13
58	0,00176	0,008	0,014	0,778	1,169	0,876	13
59	0,00551	0,008	0,012	0,664	1,028	0,715	16
60	0,00397	0,009	0,014	0,669	0,988	0,629	16
61	0,0014	0,009	0,014	0,669	0,987	0,628	16
62	0,0017	0,009	0,014	0,669	0,987	0,628	16
63	0,00242	0,009	0,014	0,67	0,987	0,628	16
64	0,00074	0,009	0,014	0,67	0,987	0,628	16
65	0,00074	0,009	0,014	0,67	0,986	0,628	16
66	0,00236	0,009	0,013	0,67	0,986	0,628	16
67	0,0039	0,009	0,014	0,67	0,986	0,628	16
68	0,00552	0,009	0,014	0,67	0,986	0,627	16
69	0,00147	0,009	0,014	0,67	0,986	0,627	16
70	0,00015	0,009	0,014	0,67	0,985	0,627	16
71	0,00258	0,009	0,014	0,67	0,985	0,627	16
72	0,0042	0,009	0,014	0,67	0,985	0,627	16
73	0,00051	0,009	0,014	0,67	0,985	0,627	16
74	0,0042	0,009	0,014	0,67	0,984	0,627	16
75	0,00515	0,009	0,014	0,67	0,984	0,627	16
76	0,00324	0,009	0,014	0,67	0,984	0,626	16
77	0,00265	0,009	0,014	0,67	0,984	0,626	16
78	0,00802	0,009	0,014	0,67	0,983	0,626	16
79	0,0042	0,009	0,014	0,67	0,983	0,626	16
80	0,0039	0,009	0,014	0,67	0,983	0,626	16
81	0,00361	0,01	0,014	0,67	0,983	0,626	16
82	0,00427	0,009	0,014	0,67	0,982	0,625	16
83	0,0039	0,009	0,014	0,67	0,982	0,625	16
84	0,00463	0,009	0,014	0,67	0,981	0,625	16

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
85	0,00581	0,009	0,014	0,67	0,981	0,625	16
86	0,00295	0,009	0,014	0,67	0,981	0,625	16
87	0,00456	0,009	0,014	0,67	0,98	0,624	16
88	0,0014	0,009	0,014	0,67	0,98	0,624	16
89	0,00736	0,009	0,014	0,671	0,979	0,624	16
90	0,00662	0,009	0,014	0,842	1,398	0,873	15
91	0,00574	0,009	0,014	0,842	1,399	0,873	15
92	0,00699	0,009	0,014	0,842	1,399	0,873	15
93	0,00478	0,009	0,014	0,842	1,399	0,874	15
94	0,00198	0,009	0,014	0,842	1,399	0,874	15
95	0,00294	0,009	0,015	0,885	1,537	1,01	14
96	0,00853	0,009	0,015	0,885	1,538	1,01	14
97	0,00287	0,009	0,015	0,885	1,538	1,01	14
98	0,00096	0,009	0,015	0,886	1,538	1,01	14
99	0,00066	0,009	0,015	0,886	1,539	1,01	14
100	0,00508	0,009	0,015	0,886	1,539	1,011	14
101	0,00132	0,009	0,015	0,886	1,539	1,011	14
102	0,00449	0,009	0,015	0,886	1,54	1,011	14
103	0,00662	0,009	0,015	0,886	1,54	1,011	14
104	0,00692	0,009	0,015	0,886	1,54	1,011	14
105	0,00382	0,009	0,015	0,886	1,54	1,011	14
106	0,00382	0,009	0,015	0,886	1,541	1,012	14
107	0,00978	0,009	0,015	0,886	1,541	1,012	14
108	0,00382	0,009	0,015	0,886	1,541	1,012	14
109	0,00346	0,009	0,015	0,886	1,542	1,012	14
110	0,00662	0,009	0,015	0,886	1,542	1,012	14
111	0,00375	0,009	0,014	0,886	1,542	1,012	14
112	0,00692	0,009	0,014	0,886	1,543	1,013	14
113	0,0025	0,009	0,014	0,844	1,404	0,876	15
114	0,00412	0,009	0,013	0,844	1,404	0,876	15
115	0,00853	0,009	0,013	0,844	1,404	0,876	15
116	0,00883	0,008	0,013	0,844	1,404	0,876	15
117	0,00537	0,008	0,013	0,844	1,405	0,877	15
118	0,00596	0,008	0,013	0,844	1,405	0,877	15
119	0,00316	0,008	0,013	0,844	1,405	0,877	14
120	0,00257	0,007	0,01	0,818	1,313	0,969	14
121	0,00088	0,007	0,01	0,817	1,313	0,969	14
122	0,00147	0,007	0,01	0,817	1,313	0,969	14
123	0,00118	0,007	0,01	0,817	1,312	0,969	14
124	0,00044	0,007	0,01	0,817	1,312	0,969	14
125	0,00103	0,007	0,01	0,817	1,312	0,969	14
126	0,00309	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
127	0,00243	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
128	0,00029	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
129	0,00404	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
130	7,3E-05	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
131	0,00066	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
132	0,00323	0,007	0,01	0,817	1,312	0,968	14
133	0,00309	0,007	0,01	0,816	1,312	0,968	14
134	0,00338	0,007	0,01	0,816	1,312	0,968	14
135	0,00096	0,007	0,011	0,816	1,312	0,967	14
136	0,00125	0,007	0,01	0,816	1,312	0,967	14
137	0,00154	0,007	0,01	0,816	1,312	0,967	14
138	0,00184	0,007	0,01	0,816	1,312	0,967	14
139	0,00073	0,007	0,01	0,816	1,312	0,967	14
140	0,00213	0,007	0,01	0,816	1,312	0,967	14
141	0,00103	0,007	0,011	0,816	1,312	0,967	14
142	0,00096	0,007	0,011	0,816	1,312	0,967	14
143	0,00309	0,007	0,011	0,816	1,312	0,967	14
144	0,00654	0,007	0,011	0,816	1,311	0,966	14
145	0,00037	0,007	0,011	0,816	1,311	0,966	14
146	0,00279	0,007	0,011	0,815	1,311	0,966	14
147	0,00404	0,007	0,011	0,815	1,311	0,966	14
148	0,00029	0,007	0,011	0,815	1,311	0,966	14
149	0,00287	0,007	0,011	0,815	1,311	0,966	14
150	0,00926	0,009	0,013	0,826	1,26	0,91	14
151	0,00551	0,009	0,012	0,744	1,197	0,799	14
152	0,00544	0,009	0,012	0,744	1,197	0,798	14
153	0,00301	0,009	0,012	0,744	1,197	0,798	14
154	0,00558	0,008	0,012	0,744	1,196	0,798	14
155	0,00456	0,008	0,011	0,744	1,196	0,798	14
156	0,0036	0,008	0,011	0,744	1,196	0,798	14
157	0,00169	0,008	0,011	0,744	1,196	0,798	14
158	7,3E-05	0,008	0,011	0,744	1,196	0,797	14
159	0,00088	0,008	0,011	0,744	1,195	0,797	14
160	0,00169	0,008	0,011	0,744	1,195	0,797	14
161	0,00323	0,008	0,011	0,744	1,195	0,797	14
162	0,00257	0,008	0,011	0,744	1,195	0,797	14
163	0,00169	0,008	0,011	0,744	1,194	0,797	14
164	0,00169	0,008	0,011	0,744	1,194	0,796	14
165	0,00456	0,008	0,011	0,744	1,194	0,796	14
166	0,00515	0,008	0,011	0,744	1,194	0,796	14
167	0,00088	0,008	0,011	0,744	1,194	0,796	14
168	0,00198	0,008	0,011	0,744	1,193	0,796	14
169	0,0064	0,008	0,011	0,744	1,193	0,795	14
170	0,00551	0,008	0,011	0,744	1,193	0,795	14
171	0,00044	0,008	0,011	0,744	1,192	0,795	14
172	0,00264	0,008	0,012	0,744	1,192	0,795	14
173	0,00456	0,008	0,012	0,744	1,192	0,795	14
174	0,00022	0,009	0,012	0,744	1,192	0,794	14

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
175	0,00243	0,009	0,012	0,744	1,191	0,794	14
176	0,00014	0,008	0,011	0,744	1,191	0,794	14
177	0,00331	0,008	0,011	0,744	1,191	0,794	14
178	0,0008	0,008	0,011	0,744	1,19	0,794	14
179	0,00205	0,008	0,011	0,744	1,19	0,793	14
180	0,03838	0,03	0,036	0,944	1,197	0,859	14
181	0,04404	0,031	0,037	0,944	1,196	0,858	14
182	0,03132	0,034	0,04	0,944	1,195	0,858	14
183	0,03096	0,037	0,044	0,944	1,194	0,857	14
184	0,00218	0,036	0,045	0,802	1,135	0,74	14
185	0,00444	0,041	0,051	0,802	1,134	0,74	14
186	0,00298	0,045	0,056	0,802	1,133	0,74	14
187	0,00657	0,048	0,059	0,802	1,133	0,739	14
188	0,01583	0,049	0,061	0,801	1,132	0,739	14
189	0,01237	0,05	0,062	0,801	1,131	0,738	14
190	0,01474	0,048	0,059	0,801	1,13	0,737	14
191	0,01224	0,046	0,057	0,801	1,129	0,737	14
192	0,0065	0,046	0,057	0,801	1,129	0,737	14
193	0,00687	0,044	0,055	0,801	1,128	0,736	14
194	0,00944	0,043	0,053	0,801	1,128	0,736	14
195	0,01922	0,041	0,05	0,8	1,127	0,735	14
196	0,03002	0,039	0,049	0,8	1,126	0,735	14
197	0,03569	0,04	0,049	0,8	1,126	0,735	14
198	0,03332	0,042	0,052	0,8	1,125	0,734	14
199	0,03196	0,035	0,044	0,834	1,142	0,773	14
200	0,03262	0,032	0,039	0,834	1,141	0,772	14
201	0,03328	0,029	0,036	0,834	1,141	0,772	14
202	0,04158	0,029	0,036	0,834	1,14	0,772	14
203	0,04117	0,031	0,038	0,799	1,122	0,732	14
204	0,04176	0,038	0,046	0,799	1,121	0,732	14
205	0,04006	0,045	0,054	0,944	1,181	0,849	13
206	0,03858	0,046	0,055	0,944	1,18	0,849	13
207	0,03189	0,042	0,051	0,799	1,118	0,73	14
208	0,02873	0,042	0,051	0,799	1,118	0,729	14
209	0,02741	0,042	0,052	0,798	1,117	0,729	14
210	0,02695	0,045	0,05	0,97	1,218	0,833	13
211	0,03694	0,044	0,049	0,921	1,126	0,79	13
212	0,03378	0,047	0,051	0,921	1,126	0,79	13
213	0,03414	0,049	0,054	0,921	1,124	0,789	13
214	0,04436	0,049	0,054	0,921	1,123	0,789	13
215	0,03569	0,047	0,051	0,92	1,122	0,788	13
216	0,03751	0,043	0,047	0,92	1,122	0,787	13
217	0,02848	0,038	0,042	0,92	1,121	0,787	13
218	0,02216	0,034	0,038	0,92	1,12	0,787	13
219	0,02157	0,03	0,033	0,92	1,12	0,786	13

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
220	0,01709	0,028	0,03	0,92	1,119	0,786	13
221	0,02377	0,029	0,032	0,92	1,119	0,785	13
222	0,02598	0,028	0,031	0,92	1,118	0,785	13
223	0,0265	0,028	0,031	0,92	1,118	0,785	13
224	0,02084	0,066	0,074	1,208	1,388	1,108	13
225	0,02685	0,045	0,05	0,919	1,116	0,784	13
226	0,01577	0,039	0,043	0,919	1,115	0,783	13
227	0,0179	0,04	0,044	0,919	1,114	0,782	13
228	0,00828	0,04	0,045	0,969	1,204	0,824	12
229	0,02687	0,036	0,039	0,919	1,112	0,781	13
230	0,01452	0,035	0,038	0,919	1,112	0,781	13
231	0,00739	0,033	0,036	0,918	1,111	0,78	13
232	0,01069	0,03	0,033	0,918	1,111	0,78	13
233	0,00289	0,028	0,031	0,918	1,11	0,78	13
234	0,00282	0,027	0,029	0,918	1,11	0,779	13
235	0,0018	0,025	0,028	0,918	1,109	0,779	13
236	0,00188	0,024	0,026	0,918	1,109	0,779	13
237	0,00239	0,023	0,025	0,918	1,108	0,779	13
238	0,00789	0,022	0,024	0,918	1,108	0,778	13
239	0,00636	0,021	0,023	0,918	1,108	0,778	13
240	0,05497	0,058	0,062	1,222	1,342	0,972	12
241	0,05247	0,059	0,063	1,222	1,343	0,972	12
242	0,04866	0,062	0,066	1,223	1,343	0,972	12
243	0,0366	0,066	0,07	1,223	1,343	0,972	12
244	0,04233	0,066	0,07	1,223	1,343	0,972	12
245	0,04424	0,066	0,07	1,224	1,343	0,972	12
246	0,04579	0,066	0,07	1,224	1,343	0,972	12
247	0,05227	0,065	0,069	1,191	1,27	0,951	12
248	0,04285	0,058	0,058	1,192	1,27	0,951	12
249	0,03102	0,057	0,057	1,192	1,27	0,951	12
250	0,03698	0,054	0,054	1,192	1,27	0,952	12
251	0,03168	0,054	0,054	1,193	1,27	0,952	12
252	0,03066	0,055	0,055	1,193	1,27	0,952	12
253	0,0236	0,058	0,058	1,193	1,27	0,952	12
254	0,02367	0,053	0,054	1,194	1,27	0,952	12
255	0,0236	0,047	0,047	1,194	1,27	0,952	12
256	0,01684	0,042	0,042	1,194	1,27	0,952	12
257	0,00656	0,04	0,041	1,195	1,27	0,952	12
258	0,02053	0,039	0,04	1,195	1,27	0,952	12
259	0,01507	0,037	0,037	1,195	1,27	0,953	12
260	0,01066	0,035	0,036	1,196	1,27	0,953	12
261	0,02235	0,034	0,034	1,196	1,27	0,953	12
262	0,00633	0,035	0,035	1,196	1,27	0,953	12
263	0,0153	0,034	0,034	1,197	1,27	0,953	12
264	0,00649	0,035	0,035	1,197	1,27	0,953	12

<i>Продовження таблиці Б.1</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
265	0,00251	0,035	0,036	1,197	1,27	0,953	12
266	0,0067	0,036	0,037	1,197	1,27	0,953	12
267	0,01787	0,037	0,038	1,198	1,27	0,953	12
268	0,01824	0,038	0,038	1,198	1,27	0,953	12
269	0,00766	0,038	0,038	1,198	1,27	0,953	12
270	0,00051	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
271	0,0008	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
272	0,00132	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
273	0,00022	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
274	0,0008	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
275	0,00022	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
276	0,0011	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
277	0,0033	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
278	0,00073	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
279	0,00271	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
280	0,00426	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
281	0,00139	0,008	0,011	0,688	1,084	0,689	15
282	0,00485	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
283	0,00169	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
284	0,00228	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
285	0,0033	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
286	0,00485	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
287	0,00485	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
288	0,0008	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
289	0,0039	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
290	0,0033	0,008	0,011	0,688	1,083	0,689	15
291	0,00426	0,008	0,011	0,689	1,083	0,689	15
292	0,00271	0,008	0,011	0,689	1,083	0,689	16
293	0,00169	0,008	0,011	0,658	1,029	0,662	16
294	0,0039	0,008	0,011	0,658	1,029	0,662	16
295	0,00426	0,008	0,011	0,658	1,029	0,662	16
296	0,00169	0,008	0,011	0,658	1,029	0,661	16
297	0,00558	0,008	0,011	0,733	1,099	0,76	15
298	0,00463	0,008	0,011	0,658	1,029	0,661	16
299	0,00433	0,008	0,011	0,658	1,028	0,661	16

Таблиця Б.2

Експериментальні дані одержані на еталонному полігоні
під час другого етапу спостережень

№ виміру	Δ , М	HRMS	HDOP	N	№ виміру	Δ , М	HRMS	HDOP	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00636	0,008	0,706	15	361	0,00013	0,006	0,831	13
2	0,00379	0,009	0,706	15	362	0,00383	0,006	0,83	13
3	0,00594	0,009	0,706	15	363	0,00125	0,005	0,83	13
4	0,00587	0,009	0,706	15	364	0,00045	0,005	0,83	13
5	0,00327	0,009	0,706	15	365	0,00099	0,005	0,83	13
6	0,00704	0,009	0,705	15	366	0,00398	0,005	0,83	13
7	0,00452	0,009	0,764	14	367	0,00095	0,005	0,83	13
8	0,00286	0,009	0,764	14	368	0,00288	0,006	0,83	13
9	0,00655	0,01	0,764	14	369	0,00074	0,006	0,83	13
10	0,00386	0,01	0,764	14	370	0,00134	0,006	0,83	13
11	0,00407	0,009	0,911	14	371	0,00309	0,006	0,83	13
12	0,00758	0,009	0,911	15	372	0,00743	0,006	0,83	13
13	0,006	0,009	0,911	15	373	0,00253	0,006	0,829	13
14	0,00363	0,009	0,911	15	374	0,00539	0,006	0,829	13
15	0,00449	0,008	0,911	15	375	0,004	0,007	0,829	13
16	0,00389	0,008	0,911	15	376	0,00243	0,007	0,829	13
17	0,00196	0,008	0,705	15	377	0,00169	0,007	0,829	13
18	0,00333	0,008	0,705	15	378	0,00396	0,007	0,829	13
19	0,00443	0,009	0,705	15	379	0,00326	0,007	0,829	13
20	0,0063	0,009	0,705	15	380	0,00107	0,007	0,829	13
21	0,00438	0,01	0,91	14	381	0,00156	0,007	0,829	13
22	0,00538	0,009	0,764	14	382	0,00118	0,007	0,829	13
23	0,00494	0,009	0,764	14	383	0,00145	0,007	0,829	13
24	0,00311	0,009	0,764	14	384	0,00132	0,007	0,829	13
25	0,00575	0,008	0,764	14	385	0,00117	0,008	0,828	13
26	0,00226	0,008	0,764	14	386	0,00039	0,008	0,828	13
27	0,0048	0,008	0,91	14	387	0,00092	0,008	0,828	13
28	0,00597	0,008	0,764	14	388	0,00372	0,008	0,828	13
29	0,00385	0,008	0,764	14	389	0,00273	0,008	0,828	13
30	0,00837	0,008	0,91	14	390	0,00066	0,008	0,828	13
31	0,00567	0,007	0,91	14	391	0,00543	0,011	0,785	13
32	0,00038	0,006	0,91	14	392	0,00367	0,01	0,785	13
33	0,00319	0,006	0,91	14	393	0,00443	0,01	0,785	13
34	0,0045	0,006	0,91	14	394	0,00536	0,01	0,785	13
35	0,00331	0,006	0,91	14	395	0,00567	0,01	0,785	13
36	0,00698	0,006	0,91	14	396	0,00427	0,01	0,785	13
37	0,0018	0,006	0,91	14	397	0,00567	0,009	0,785	13
38	0,00561	0,006	0,91	14	398	0,0057	0,009	0,785	13
39	0,00789	0,006	0,764	14	399	0,00476	0,009	0,785	13
40	0,00381	0,008	0,91	14	400	0,00578	0,009	0,785	13
41	0,00185	0,008	0,764	14	401	0,00572	0,009	0,785	13

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
42	0,00424	0,008	0,764	14	402	0,00082	0,009	0,785	13
43	0,00281	0,007	0,764	14	403	0,00472	0,009	0,785	13
44	0,001	0,007	0,764	14	404	0,00676	0,009	0,785	13
45	0,00125	0,007	0,764	14	405	0,00587	0,009	0,785	13
46	0,00085	0,007	0,764	14	406	0,00387	0,009	0,785	13
47	0,00434	0,006	0,764	14	407	0,00097	0,009	0,785	13
48	0,00678	0,007	0,764	14	408	0,00413	0,009	0,785	13
49	0,00691	0,007	0,764	14	409	0,00481	0,009	0,785	13
50	0,00475	0,007	0,764	14	410	0,00303	0,009	0,785	13
51	0,00946	0,007	0,764	14	411	0,00322	0,009	0,785	13
52	0,00712	0,007	0,764	14	412	0,00083	0,009	0,785	14
53	0,00162	0,007	0,909	14	413	0,00347	0,008	0,757	14
54	0,00214	0,007	0,764	14	414	0,00454	0,008	0,757	14
55	0,00332	0,007	0,764	14	415	0,00076	0,008	0,757	14
56	0,00448	0,007	0,764	14	416	0,00287	0,008	0,757	14
57	0,00439	0,007	0,764	14	417	0,00262	0,008	0,757	14
58	0,00255	0,007	0,764	14	418	0,0032	0,008	0,757	14
59	0,00326	0,006	0,764	14	419	0,00342	0,008	0,757	14
60	0,00231	0,006	0,764	14	420	0,00579	0,008	0,757	14
61	0,00166	0,011	1,148	8	421	0,00038	0,01	0,75	14
62	0,00213	0,012	1,148	8	422	0,003	0,01	0,75	14
63	0,00091	0,012	1,148	8	423	0,00245	0,01	0,75	14
64	0,00135	0,012	1,149	8	424	0,00237	0,01	0,75	14
65	0,00213	0,012	1,149	8	425	0,00063	0,01	0,75	14
66	0,00228	0,012	1,149	8	426	0,00317	0,01	0,75	14
67	0,00232	0,012	1,149	8	427	0,00145	0,01	0,75	14
68	0,0017	0,012	1,149	8	428	0,00125	0,01	0,75	14
69	0,00065	0,013	1,149	8	429	3,9E-05	0,01	0,75	14
70	0,00279	0,013	1,043	9	430	0,00428	0,01	0,75	14
71	0,00332	0,013	1,043	9	431	0,00091	0,01	0,75	14
72	0,00781	0,013	1,043	9	432	0,00372	0,01	0,75	14
73	0,00522	0,013	1,043	9	433	0,0045	0,01	0,75	14
74	0,00496	0,013	1,043	9	434	0,00091	0,01	0,75	14
75	0,01142	0,012	1,043	9	435	0,0012	0,009	0,75	14
76	0,00751	0,012	1,044	9	436	0,00173	0,009	0,75	14
77	0,00722	0,012	1,044	9	437	0,00195	0,009	0,75	14
78	0,00955	0,012	1,044	9	438	0,00098	0,009	0,75	14
79	0,00705	0,012	1,044	9	439	0,00382	0,009	0,75	14
80	0,00833	0,012	1,044	9	440	0,00012	0,009	0,75	14
81	0,00638	0,012	1,045	9	441	0,00165	0,009	0,75	14
82	0,00157	0,012	1,045	9	442	0,00449	0,009	0,75	14
83	0,00133	0,013	1,045	9	443	0,00051	0,009	0,75	14
84	0,00291	0,013	1,045	9	444	0,00054	0,009	0,75	14
85	0,0013	0,013	1,045	9	445	0,00065	0,009	0,75	14
86	0,00147	0,014	1,046	9	446	0,00137	0,01	0,749	14

Продовження таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
87	0,00115	0,013	1,046	9	447	0,00025	0,01	0,749	14
88	0,00905	0,013	1,046	9	448	0,00449	0,01	0,749	14
89	0,005	0,012	1,046	9	449	0,00028	0,01	0,749	14
90	0,00113	0,012	1,046	9	450	0,00033	0,01	0,749	14
91	0,02737	0,022	1,777	7	451	0,00131	0,01	0,804	13
92	0,02239	0,02	1,777	7	452	0,00491	0,01	0,804	14
93	0,02467	0,018	1,778	7	453	0,00279	0,009	0,749	14
94	0,02367	0,017	1,778	7	454	0,00516	0,009	0,749	14
95	0,02432	0,015	1,778	7	455	0,00244	0,009	0,749	14
96	0,02138	0,014	1,778	8	456	0,00065	0,009	0,749	14
97	0,02566	0,013	1,154	8	457	0,00146	0,009	0,749	14
98	0,02784	0,012	1,154	8	458	0,00199	0,009	0,749	14
99	0,0113	0,01	1,154	8	459	0,00169	0,008	0,749	14
100	0,00106	0,009	1,154	8	460	0,00356	0,008	0,749	14
101	0,00355	0,01	1,154	8	461	0,00156	0,008	0,749	14
102	0,00419	0,01	1,155	8	462	0,0018	0,008	0,749	14
103	0,00579	0,01	1,155	8	463	0,00236	0,008	0,749	14
104	0,00298	0,011	1,155	8	464	0,00067	0,008	0,749	14
105	0,00225	0,011	1,155	9	465	0,00314	0,008	0,749	14
106	0,01003	0,011	1,05	9	466	0,00048	0,008	0,749	14
107	0,0021	0,011	1,05	9	467	0,00061	0,008	0,749	14
108	0,00091	0,011	1,051	9	468	0,00016	0,008	0,749	14
109	0,00546	0,011	1,051	9	469	0,00047	0,008	0,749	14
110	0,0017	0,011	1,051	9	470	0,00087	0,008	0,749	14
111	0,00402	0,01	1,051	13	471	0,00199	0,008	0,749	14
112	2,2E-05	0,008	0,847	13	472	0,00094	0,008	0,749	14
113	0,00204	0,009	0,848	13	473	0,00035	0,008	0,749	14
114	0,00053	0,009	0,848	13	474	0,00212	0,008	0,749	14
115	0,00594	0,009	0,848	13	475	0,00139	0,008	0,749	14
116	0,00188	0,01	0,848	13	476	0,00129	0,008	0,749	14
117	0,00352	0,01	0,848	13	477	0,00284	0,008	0,749	14
118	0,00459	0,01	0,849	13	478	0,0005	0,008	0,749	14
119	0,0025	0,011	0,849	13	479	0,00228	0,008	0,748	14
120	0,0019	0,011	0,849	13	480	0,00113	0,008	0,748	14
121	0,00425	0,008	0,886	14	481	0,00745	0,009	0,709	15
122	0,0005	0,008	0,932	13	482	0,0089	0,009	0,709	14
123	0,00149	0,008	0,932	13	483	0,01036	0,009	0,747	14
124	0,00178	0,007	0,932	13	484	0,00512	0,009	0,747	15
125	0,00113	0,007	0,933	13	485	0,00578	0,009	0,709	15
126	0,00135	0,007	0,933	13	486	0,00584	0,009	0,709	15
127	0,00499	0,007	0,933	13	487	0,0086	0,009	0,709	15
128	0,00279	0,007	0,933	13	488	0,00999	0,009	0,709	15
129	8,8E-05	0,007	0,934	13	489	0,00744	0,009	0,709	15
130	0,00424	0,007	0,934	13	490	0,009	0,01	0,709	15
131	0,00268	0,007	0,934	13	491	0,00619	0,01	0,709	15

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
132	0,00141	0,007	0,935	13	492	0,00596	0,01	0,709	15
133	0,00577	0,007	0,935	13	493	0,00397	0,01	0,709	15
134	0,00258	0,007	0,935	13	494	0,00453	0,01	0,709	15
135	0,00046	0,007	0,935	13	495	0,00702	0,01	0,709	15
136	0,00378	0,007	0,935	13	496	0,005	0,01	0,709	15
137	0,00326	0,006	0,936	13	497	0,00527	0,011	0,709	15
138	8,2E-05	0,006	0,936	13	498	0,00338	0,011	0,709	15
139	0,00161	0,007	0,936	13	499	0,00271	0,011	0,709	15
140	0,00168	0,007	0,936	13	500	0,00504	0,011	0,709	15
141	0,00084	0,007	0,937	13	501	0,0051	0,011	0,747	14
142	0,00093	0,007	0,937	13	502	0,00693	0,011	0,747	14
143	0,0029	0,007	0,937	13	503	0,00561	0,011	0,747	14
144	0,00017	0,007	0,937	13	504	0,00348	0,011	0,747	14
145	0,00071	0,007	0,938	13	505	0,00296	0,011	0,747	14
146	0,00145	0,007	0,938	13	506	0,00748	0,011	0,747	14
147	0,00214	0,007	0,938	13	507	0,00044	0,011	0,747	14
148	0,00362	0,007	0,938	13	508	0,00051	0,011	0,747	14
149	0,00036	0,007	0,939	13	509	0,00692	0,011	0,709	15
150	0,00032	0,007	0,939	13	510	0,00468	0,011	0,709	15
151	0,00429	0,011	0,971	12	511	0,003	0,01	0,747	14
152	0,0044	0,009	0,971	12	512	0,00195	0,01	0,747	14
153	0,00204	0,009	0,971	12	513	0,00409	0,01	0,747	14
154	0,00364	0,008	0,972	12	514	0,00258	0,009	0,747	14
155	0,00221	0,008	0,942	13	515	0,00552	0,009	0,747	14
156	0,00107	0,007	0,942	13	516	0,00126	0,009	0,747	14
157	2,7E-05	0,007	0,942	13	517	0,00031	0,009	0,747	14
158	0,00118	0,007	0,943	13	518	0,00412	0,009	0,747	14
159	0,00147	0,007	0,943	13	519	0,00283	0,009	0,747	14
160	0,00342	0,007	0,943	13	520	0,00371	0,009	0,747	14
161	0,00123	0,007	0,943	13	521	2,9E-06	0,009	0,747	14
162	0,00012	0,007	0,944	13	522	0,00027	0,009	0,747	14
163	0,00092	0,007	0,944	13	523	0,00149	0,009	0,747	14
164	0,0028	0,008	0,944	13	524	0,00279	0,009	0,747	14
165	0,0036	0,008	0,944	12	525	0,00019	0,009	0,747	14
166	0,0021	0,009	0,944	13	526	0,00409	0,009	0,747	14
167	0,00297	0,007	0,945	13	527	0,00226	0,009	0,747	14
168	0,00124	0,006	0,945	13	528	0,00551	0,009	0,747	14
169	4,1E-05	0,007	0,946	13	529	0,00371	0,009	0,747	14
170	0,0037	0,007	0,946	13	530	0,00446	0,009	0,747	14
171	0,00538	0,007	0,946	13	531	0,00631	0,009	0,747	14
172	0,00204	0,007	0,947	13	532	0,00631	0,009	0,747	14
173	0,004	0,007	0,947	13	533	0,00674	0,008	0,747	14
174	0,00101	0,007	0,947	13	534	0,00516	0,008	0,747	14
175	0,0002	0,007	0,947	13	535	0,00682	0,008	0,747	14
176	0,00129	0,007	0,947	13	536	0,00624	0,008	0,747	14

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
177	0,00226	0,007	0,948	13	537	0,0086	0,008	0,747	14
178	0,00056	0,007	0,948	13	538	0,00936	0,008	0,747	14
179	0,00191	0,007	0,948	13	539	0,00622	0,008	0,747	14
180	0,00178	0,007	0,949	13	540	0,00965	0,008	0,747	14
181	0,00114	0,007	1,027	11	541	0,00485	0,006	0,81	13
182	0,00307	0,007	1,027	11	542	0,001	0,006	0,81	13
183	0,00331	0,007	1,027	11	543	0,0035	0,006	0,81	13
184	0,00118	0,007	1,027	11	544	0,00205	0,006	0,81	13
185	0,00106	0,007	1,027	11	545	0,00028	0,006	0,81	13
186	0,00212	0,007	1,027	11	546	0,0018	0,006	0,81	13
187	0,00321	0,007	1,027	11	547	0,00129	0,006	0,81	13
188	0,00044	0,007	1,028	11	548	0,00148	0,006	0,81	13
189	0,00297	0,008	1,028	11	549	0,00167	0,006	0,81	13
190	0,00539	0,008	1,028	11	550	0,00182	0,006	0,81	13
191	0,00081	0,009	1,028	11	551	4,1E-05	0,006	0,81	13
192	0,00072	0,009	1,028	11	552	0,00466	0,007	0,81	13
193	0,00126	0,009	1,028	11	553	0,00057	0,007	0,81	13
194	0,00261	0,009	1,028	11	554	0,00171	0,007	0,81	13
195	0,00359	0,01	1,028	11	555	0,00444	0,007	0,81	13
196	0,00078	0,01	1,028	11	556	0,00173	0,007	0,81	13
197	0,00466	0,009	1,028	11	557	0,00296	0,007	0,81	13
198	0,00186	0,009	1,028	11	558	0,00114	0,007	0,81	13
199	0,00014	0,009	1,029	11	559	0,00275	0,008	0,81	13
200	0,00107	0,009	1,029	11	560	0,0067	0,008	0,81	13
201	0,00042	0,009	1,029	11	561	0,00194	0,008	0,81	13
202	0,0012	0,009	1,029	11	562	0,00062	0,008	0,81	13
203	0,00027	0,009	1,029	11	563	0,00084	0,008	0,81	13
204	0,00095	0,009	1,029	11	564	0,00049	0,008	0,81	13
205	0,00166	0,009	1,029	11	565	0,00146	0,008	0,81	13
206	0,00115	0,009	1,029	11	566	0,00205	0,008	0,81	13
207	0,00141	0,009	1,029	11	567	0,00522	0,008	0,81	13
208	0,00137	0,009	1,029	11	568	0,00305	0,008	0,81	13
209	0,00234	0,009	1,03	11	569	0,0017	0,007	0,81	13
210	0,00264	0,009	1,03	11	570	0,00447	0,007	0,81	13
211	0,00028	0,009	1,16	11	571	0,00389	0,008	0,927	11
212	0,00698	0,009	0,861	12	572	0,00399	0,008	0,927	11
213	0,008	0,01	0,861	12	573	0,00274	0,008	0,927	11
214	0,00423	0,01	0,861	12	574	0,00106	0,008	0,927	12
215	0,00577	0,01	0,861	12	575	0,00526	0,008	0,896	12
216	0,0054	0,01	0,861	12	576	0,00066	0,008	0,896	12
217	0,00582	0,01	0,861	12	577	0,00582	0,008	0,896	12
218	0,00529	0,01	0,861	12	578	0,00414	0,007	0,81	13
219	0,00307	0,01	0,861	12	579	0,00671	0,007	0,809	13
220	0,00247	0,01	0,861	12	580	0,00413	0,007	0,809	13
221	0,00321	0,01	0,861	12	581	0,00456	0,007	0,809	13

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
222	0,0055	0,01	0,861	12	582	0,00298	0,007	0,809	13
223	0,00584	0,01	0,861	12	583	0,01315	0,007	0,809	13
224	0,00759	0,01	0,861	12	584	0,00872	0,007	0,809	13
225	0,00561	0,01	0,861	12	585	0,0052	0,007	0,809	13
226	0,00447	0,01	0,861	12	586	0,00291	0,007	0,809	13
227	0,00644	0,01	0,861	12	587	0,0073	0,007	0,809	13
228	0,00398	0,01	0,861	12	588	0,0011	0,007	0,809	13
229	0,00522	0,01	0,861	12	589	0,00058	0,008	0,809	13
230	0,00251	0,01	0,861	12	590	0,0038	0,007	0,809	13
231	0,00445	0,009	0,861	12	591	0,00463	0,008	0,809	13
232	0,00122	0,009	0,861	12	592	0,00342	0,008	0,809	13
233	0,00322	0,009	0,861	12	593	0,00534	0,008	0,809	13
234	0,00787	0,009	0,861	12	594	0,00062	0,008	0,809	13
235	0,0024	0,009	0,861	12	595	0,00671	0,008	0,809	13
236	0,00141	0,009	0,861	12	596	0,00322	0,008	0,809	13
237	0,00267	0,009	0,861	12	597	0,0043	0,008	0,809	13
238	0,00034	0,008	0,861	12	598	0,00237	0,008	0,809	13
239	0,00152	0,008	0,861	12	599	0,00559	0,008	0,809	12
240	0,0017	0,008	0,861	12	600	0,00262	0,009	0,853	12
241	0,00287	0,007	0,819	13	601	0,0081	0,006	1,296	10
242	0,00344	0,008	0,819	13	602	0,01217	0,005	1,296	10
243	0,0011	0,008	0,819	13	603	0,00471	0,006	1,296	10
244	4,3E-05	0,008	0,819	13	604	0,00305	0,006	1,296	10
245	0,00168	0,008	0,819	13	605	0,00927	0,006	1,296	10
246	0,00098	0,008	0,819	13	606	0,0106	0,006	1,295	10
247	0,00197	0,008	0,819	13	607	0,01286	0,007	1,295	10
248	5,9E-05	0,008	0,819	13	608	0,00892	0,007	1,295	10
249	0,00239	0,008	0,819	13	609	0,01151	0,007	1,295	10
250	0,00338	0,007	0,819	13	610	0,01194	0,007	1,295	10
251	0,00089	0,007	0,819	13	611	0,01166	0,007	1,295	10
252	0,00011	0,007	0,819	13	612	0,01017	0,007	1,295	10
253	0,00487	0,007	0,819	13	613	0,0106	0,007	1,295	10
254	0,00085	0,007	0,819	13	614	0,00943	0,007	1,295	10
255	0,00158	0,006	0,819	13	615	0,00761	0,007	1,295	10
256	0,00185	0,006	0,819	13	616	0,0091	0,007	1,092	11
257	0,00078	0,006	0,819	13	617	0,01008	0,007	1,092	11
258	0,00474	0,006	0,819	13	618	0,0064	0,008	1,294	10
259	0,0022	0,006	0,819	13	619	0,01056	0,008	1,294	10
260	0,00222	0,006	0,819	13	620	0,00396	0,009	1,294	10
261	0,00325	0,006	0,819	13	621	0,00582	0,009	1,294	10
262	0,00356	0,006	0,819	13	622	0,01129	0,009	1,294	10
263	0,00033	0,006	0,819	13	623	0,00672	0,009	1,294	10
264	4,6E-05	0,006	0,819	13	624	0,00214	0,009	1,294	10
265	0,00251	0,006	0,819	13	625	0,00404	0,009	1,294	10
266	0,00042	0,006	0,819	13	626	0,00817	0,009	1,294	10

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
267	0,00087	0,006	0,819	13	627	0,00778	0,009	1,293	10
268	0,00068	0,006	0,819	13	628	0,01105	0,009	1,293	10
269	0,00311	0,006	0,819	13	629	0,00475	0,009	1,293	10
270	0,00318	0,006	0,819	13	630	0,01213	0,009	1,293	10
271	0,00059	0,007	0,873	12	631	0,00535	0,01	1,292	10
272	0,00127	0,007	0,873	12	632	0,0105	0,01	1,292	10
273	0,00342	0,007	0,873	12	633	0,01016	0,009	1,379	10
274	0,00122	0,007	0,873	12	634	0,00408	0,009	1,292	10
275	0,00256	0,007	0,873	12	635	0,00736	0,008	1,292	10
276	0,0048	0,007	0,873	12	636	0,00799	0,008	1,292	10
277	0,00041	0,007	0,873	12	637	0,0086	0,008	1,292	10
278	0,00338	0,007	0,873	12	638	0,00409	0,008	1,292	10
279	0,00568	0,007	0,873	12	639	0,01121	0,009	1,291	10
280	0,00451	0,007	0,873	12	640	0,01022	0,009	1,291	10
281	5,9E-05	0,007	0,873	12	641	0,01107	0,009	1,291	10
282	0,00122	0,007	0,873	12	642	0,0035	0,009	1,291	10
283	0,00265	0,007	0,873	12	643	0,00197	0,009	1,291	10
284	0,0007	0,007	0,873	12	644	0,00968	0,009	1,291	10
285	0,00314	0,007	0,873	12	645	0,00899	0,009	1,291	10
286	0,0051	0,007	0,873	12	646	0,00379	0,009	1,291	10
287	0,00288	0,006	0,873	12	647	0,00502	0,009	1,291	10
288	0,00541	0,006	0,873	12	648	0,00735	0,009	1,291	10
289	0,00478	0,006	0,873	12	649	0,00861	0,009	1,29	10
290	0,00355	0,006	0,873	12	650	0,00831	0,009	1,29	10
291	0,0069	0,006	0,873	12	651	0,00917	0,009	1,29	10
292	0,00609	0,006	0,873	12	652	0,00969	0,009	1,29	10
293	0,0049	0,006	0,873	12	653	0,0065	0,009	1,29	10
294	0,00671	0,006	0,873	12	654	0,01154	0,009	1,29	10
295	0,00633	0,006	0,873	12	655	0,00826	0,009	1,29	10
296	0,00039	0,007	0,873	12	656	0,01239	0,009	1,29	10
297	0,00283	0,007	0,874	12	657	0,01148	0,009	1,29	10
298	0,00571	0,007	0,874	12	658	0,01378	0,009	1,289	10
299	0,00041	0,007	0,874	12	659	0,01507	0,009	1,289	10
300	0,0027	0,007	0,874	12	660	0,01034	0,009	1,289	10
301	0,00806	0,009	0,984	12	661	0,00514	0,006	1,057	11
302	0,0014	0,009	0,881	12	662	0,00956	0,006	1,057	11
303	0,00231	0,009	0,881	12	663	0,00512	0,006	1,057	11
304	0,00178	0,009	0,881	12	664	0,00735	0,006	1,057	11
305	0,00029	0,009	0,881	12	665	0,00985	0,007	1,057	11
306	0,00085	0,009	0,881	12	666	0,00219	0,007	1,057	11
307	0,00275	0,009	0,881	12	667	0,00469	0,007	1,057	11
308	0,00205	0,009	0,881	12	668	0,00243	0,007	1,057	11
309	0,00381	0,009	0,881	12	669	0,00544	0,007	1,057	11
310	0,00172	0,009	0,881	12	670	0,00677	0,007	1,057	11
311	0,00014	0,009	0,881	12	671	0,0048	0,007	1,057	11

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
312	0,00213	0,009	0,881	12	672	0,0073	0,007	1,057	11
313	0,00042	0,009	0,881	12	673	0,00827	0,007	1,057	11
314	0,00246	0,009	0,881	12	674	0,00525	0,008	1,057	11
315	8,4E-06	0,009	0,881	12	675	0,00637	0,008	1,057	11
316	0,00059	0,009	0,881	12	676	0,00692	0,008	1,057	11
317	0,00254	0,009	0,881	12	677	0,00902	0,008	1,057	11
318	0,00311	0,009	0,881	12	678	0,01235	0,008	1,057	11
319	0,00185	0,009	0,881	12	679	0,00836	0,008	1,057	11
320	0,00515	0,008	0,881	12	680	0,00297	0,009	1,057	11
321	0,00123	0,008	0,881	12	681	0,01136	0,009	1,057	11
322	0,00321	0,008	0,881	12	682	0,00841	0,009	1,057	11
323	0,0014	0,008	0,881	12	683	0,01217	0,009	1,057	11
324	0,00117	0,008	0,881	12	684	0,01158	0,009	1,057	11
325	0,00124	0,008	0,881	12	685	0,00867	0,01	1,057	11
326	0,00138	0,008	0,881	12	686	0,01065	0,01	1,057	11
327	0,00104	0,008	0,881	13	687	0,0088	0,009	1,057	11
328	0,00658	0,007	0,816	13	688	0,00984	0,009	1,057	11
329	0,00145	0,007	0,816	13	689	0,01102	0,009	1,057	11
330	0,00406	0,007	0,816	14	690	0,00768	0,009	1,057	11
331	0,00414	0,005	0,785	14	691	0,01143	0,011	1,057	11
332	0,00581	0,005	0,785	14	692	0,00735	0,01	1,057	11
333	0,00259	0,006	0,785	14	693	0,00038	0,01	1,057	11
334	0,00319	0,006	0,785	14	694	0,00896	0,01	1,057	11
335	0,00215	0,006	0,785	14	695	0,00429	0,01	1,057	11
336	0,00541	0,006	0,785	14	696	0,00032	0,01	1,057	11
337	0,00199	0,006	0,785	14	697	0,00441	0,01	1,057	11
338	0,00208	0,006	0,785	14	698	0,00487	0,01	1,057	11
339	0,00211	0,007	0,785	14	699	0,00663	0,01	1,057	11
340	0,00232	0,007	0,785	14	700	0,00815	0,01	1,057	11
341	0,00672	0,007	0,785	14	701	0,00234	0,01	1,057	11
342	0,00371	0,007	0,785	14	702	0,01077	0,01	1,057	11
343	0,00332	0,007	0,785	14	703	0,00731	0,01	1,057	12
344	0,00395	0,007	0,785	14	704	0,00272	0,009	1,057	12
345	0,00402	0,007	0,785	14	705	0,00608	0,009	1,057	12
346	0,00365	0,007	0,784	14	706	0,0052	0,009	1,057	12
347	0,00444	0,007	0,784	14	707	0,00695	0,009	1,057	12
348	0,00232	0,007	0,784	14	708	0,00427	0,009	1,057	12
349	7,1E-05	0,007	0,784	14	709	0,0074	0,011	0,897	12
350	0,00562	0,008	0,784	14	710	0,00486	0,011	0,897	12
351	0,00344	0,008	0,784	14	711	0,00582	0,011	0,897	12
352	0,00316	0,008	0,784	14	712	0,00975	0,011	0,897	12
353	0,00578	0,008	0,784	14	713	0,00766	0,011	0,897	12
354	0,00582	0,008	0,784	14	714	0,00566	0,011	0,897	12
355	0,00661	0,008	0,784	14	715	0,0074	0,011	0,897	12
356	0,00412	0,008	0,784	14	716	0,00577	0,011	0,897	12

<i>Продовження таблиці Б.2</i>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
357	0,00722	0,008	0,784	14	717	0,00625	0,012	0,897	12
358	0,00536	0,008	0,784	14	718	0,0082	0,012	0,897	12
359	0,0036	0,008	0,784	14	719	0,00537	0,012	0,897	12
360	0,00398	0,008	0,784	14	720	0,0074	0,012	0,897	12

Побудова математичної моделі за результатами експериментальних досліджень

Оцінка точності регресійної моделі впливу технологічних параметрів на точність побудови проектних векторів $Y_x = 7,844 * \frac{HRMS}{N} - 0,0013 * HDOP$

Таблиця Б.3

Регресійна статистика досліджуваної моделі

Множинний R	0,893567
R-квадрат	0,798461
Нормований R-квадрат	0,794416
Стандартна похибка	0,0071
Кількість вимірів	299

Таблиця Б.4

Дисперсійний аналіз отриманих коефіцієнтів

	Стандартна похибка	t-статистика	P-Значення	Нижня 95%	Верхня 95%
a_0	–	–	–	–	–
HDOP	0,335689	23,36758	2,98E–69	7,183606	8,504866
HRMS/N	0,000598	–2,21776	0,027328	–0,0025	–0,00015

Оцінка точності регресійної моделі впливу технологічних параметрів на точність побудови проектних векторів $Y_x = 7,5706 * \frac{HRMS}{N} - 0,0012 * HDOP$

Таблиця Б.5

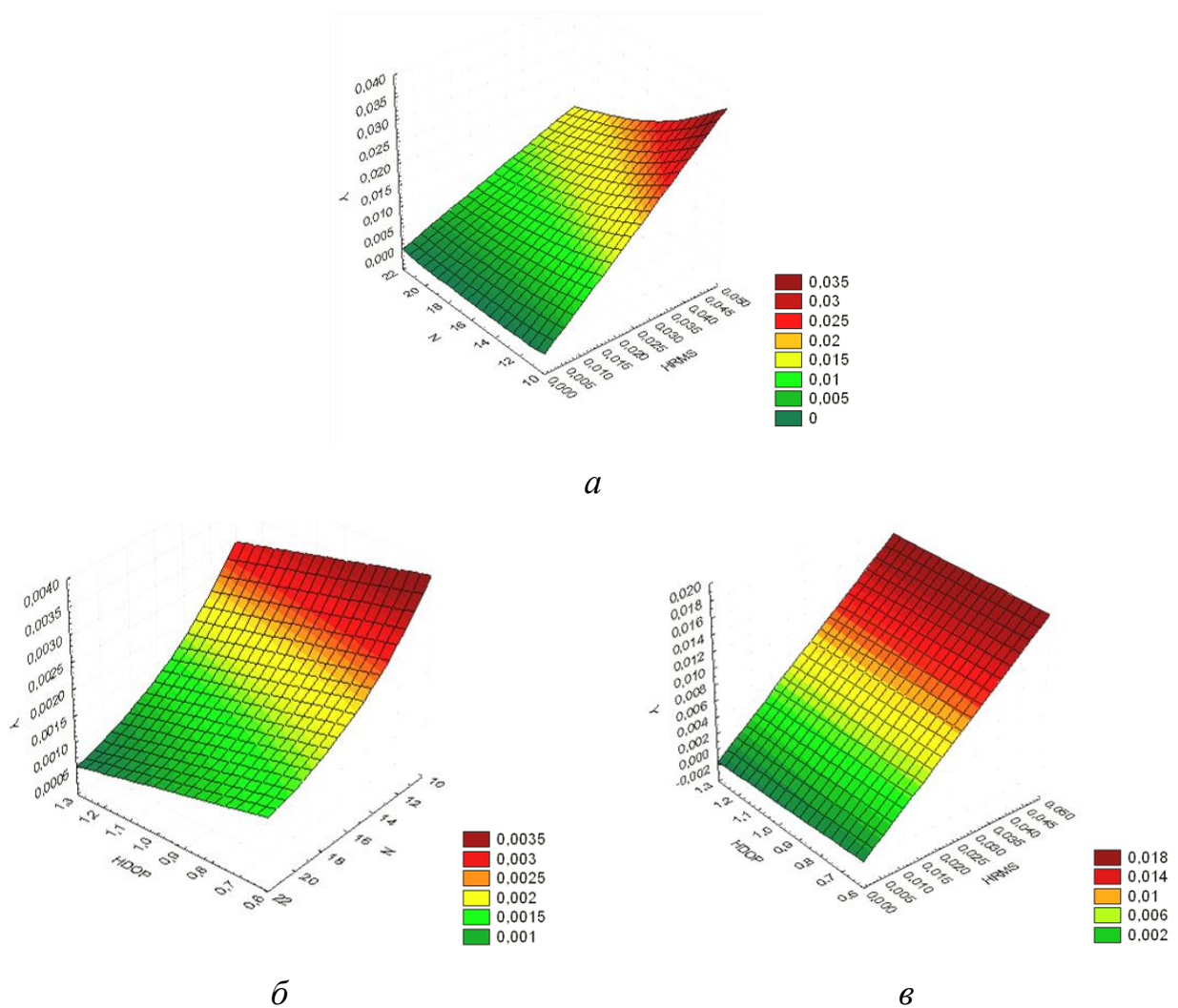
Регресійна статистика досліджуваної моделі

Множинний R	0,876061515
R-квадрат	0,763983532
Стандартна похибка	0,004736159
Кількість вимірів	1019

Таблиця Б.6

Дисперсійний аналіз отриманих коефіцієнтів

	Стандартна похибка	<i>t</i> -статистика	<i>P</i> -Значення	Нижня 95%	Верхня 95%
a_0	—	—	—	—	—
HRMS/N	0,19197	39,43645	3,9E-207	7,193894	7,947297
HDOP	0,000262	-4,40755	1,16E-05	-0,00167	-0,00064



a – N, HRMS, HDOP = 0,66; *б* – HDOP, N, HRMS = 0,006;

в – HDOP, HRMS, N = 18.

Рис. Б.1 - Поверхні відгуку залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань

Аналіз отриманого рівняння регресії (2.19) та побудованих поверхонь відгуку (рис. Б.1) свідчать, що величини технологічних параметрів (HDOP, HRMS, та кількості супутників) суттєво впливають на процес побудови векторів (ліній) за допомогою RTN рішень GNSS приймачем.

За результатами аналізу графічних залежностей:

– із рис. Б.1, а бачимо що зі зростанням параметра HRMS, зменшення кількості супутників та сталій величині параметра HDOP точність побудови векторів (ліній) зменшується;

– із рис. Б.1 можна судити про те, що із збільшенням параметра HDOP та кількості супутників, при сталій величині параметра HRMS точність зростає;

– із рис. Б.1, в можна судити про те, що із збільшенням параметра HRMS та сталій кількості супутників точність зменшується. Параметр HDOP за такої комбінації технологічних параметрів практично не впливає на точність визначення віддалей.

Додаток В

Точність трансформованих координат пунктів геодезичної мережі

Таблиця В.1

Помилки трансформованих координат пунктів запропонованими методами

Номер пункту	МНК			ІМ			НЛП		
	$\delta_x, \text{ м}$	$\delta_y, \text{ м}$	$\delta_z, \text{ м}$	$\delta_x, \text{ м}$	$\delta_y, \text{ м}$	$\delta_z, \text{ м}$	$\delta_x, \text{ м}$	$\delta_y, \text{ м}$	$\delta_z, \text{ м}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
перший етап спотворення									
5	-0,0318	0,0197	0,0374	-0,0392	0,0212	0,0446	-0,0324	0,0205	0,0383
6	-0,0320	0,0197	0,0376	-0,0392	0,0212	0,0446	-0,033	0,0208	0,0390
7	-0,0321	0,0217	0,0387	-0,0392	0,0211	0,0445	-0,0317	0,0230	0,0392
8	-0,0278	0,0213	0,0350	-0,0394	0,0212	0,0447	-0,0270	0,0203	0,0338
9	-0,0279	0,0193	0,0339	-0,0393	0,0212	0,0446	-0,0281	0,0180	0,0334
10	-0,0284	0,0194	0,0344	-0,0393	0,0212	0,0446	-0,0287	0,0183	0,0340
СКП	0,0301	0,0202	0,0362	0,0393	0,0212	0,0446	0,0302	0,0202	0,0364
другий етап спотворення									
5	0,0016	0,0020	0,0026	0,006	-0,0067	0,009	0,0019	0,0005	0,002
6	0,0022	0,0021	0,0030	0,0075	-0,0076	0,0107	0,0025	0,0001	0,0025
7	0,0026	-0,0003	0,0026	0,004	-0,0136	0,0142	0,0011	-0,0022	0,0025
8	-0,0026	-0,0011	0,0028	-0,009	-0,0061	0,0109	-0,0039	0,0007	0,0040
9	-0,0031	0,0012	0,0033	-0,0058	0,0007	0,0058	-0,0027	0,0031	0,0041
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	-0,0025	0,0013	0,0028	-0,0043	-0,0008	0,0044	-0,0021	0,0028	0,0035
СКП	0,0025	0,0015	0,0029	0,0063	0,0074	0,0097	0,0025	0,0020	0,0032
Третій етап спотворення									
5	0,0042	0,0039	0,0057	-0,0326	-0,0249	0,0410	0,0044	0,0012	0,0047
6	0,0054	0,0041	0,0068	-0,0386	-0,0214	0,0441	0,0051	0,0008	0,0052
7	0,0063	-0,0007	0,0063	-0,0248	0,0025	0,0249	0,0035	-0,0019	0,0044
8	-0,0042	-0,0026	0,0049	0,0269	-0,0273	0,0383	-0,0022	0,0014	0,003
9	-0,0053	0,0022	0,0057	0,0142	-0,0518	0,0537	-0,0008	0,0042	0,006
10	-0,0041	0,0024	0,0048	0,0082	-0,0484	0,0491	-0,0001	0,0038	0,0054
СКП	0,005	0,0029	0,0057	0,0263	0,0338	0,0428	0,003	0,0027	0,0049

Таблиця В.2

Взаємна точність геометричних елементів після трансформування координат пунктів
геодезичної мережі у міліметрах

	МНК				Ітерації				НЛП			
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$
L ₅₋₆	0,21	-0,38	-0,79	-0,83	$6,9 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$-7,1 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$	$6,1 \cdot 10^{-8}$	$-5,4 \cdot 10^{-7}$	$-7,6 \cdot 10^{-8}$	$-4,2 \cdot 10^{-7}$
L ₅₋₇	0,85	-1,56	-3,27	-3,41	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$-2,6 \cdot 10^{-7}$	$-6, \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-7}$
L ₅₋₈	1,78	-3,28	-6,85	-7,14	$-8,8 \cdot 10^{-7}$	$-8,8 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-6}$	$-8,4 \cdot 10^{-7}$	$-2 \cdot 10^{-7}$	$-2,8 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$
L ₅₋₉	1,61	-2,97	-6,21	-6,47	$5 \cdot 10^{-7}$	$-3,7 \cdot 10^{-8}$	$-1,2 \cdot 10^{-7}$	$-1,6 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$-1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
L ₅₋₁₀	1,4	-2,59	-5,42	-5,65	$-5,2 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-8}$	$-5,7 \cdot 10^{-7}$	$-6,9 \cdot 10^{-7}$	$-2,4 \cdot 10^{-8}$	$-1,2 \cdot 10^{-6}$	$-3 \cdot 10^{-7}$
L ₆₋₇	0,82	-1,52	-3,17	-3,31	$-2,6 \cdot 10^{-7}$	$-5 \cdot 10^{-7}$	$-2,4 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$-4,8 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
L ₆₋₈	1,96	-3,62	-7,56	-7,88	$-1,3 \cdot 10^{-6}$	$-6,6 \cdot 10^{-7}$	$-1,6 \cdot 10^{-6}$	$-6,7 \cdot 10^{-7}$	$-1,2 \cdot 10^{-7}$	$-9,5 \cdot 10^{-7}$	$-1 \cdot 10^{-6}$	$-5,3 \cdot 10^{-7}$
L ₆₋₉	1,82	-3,35	-7,01	-7,3	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$-8,3 \cdot 10^{-7}$	$-1,2 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$	$-2,6 \cdot 10^{-7}$	$-2,1 \cdot 10^{-7}$
L ₆₋₁₀	1,61	-2,97	-6,22	-6,47	$-4,5 \cdot 10^{-7}$	$-6,5 \cdot 10^{-7}$	$-6,5 \cdot 10^{-7}$	$-5,4 \cdot 10^{-7}$	$-6,3 \cdot 10^{-7}$	$-5,6 \cdot 10^{-7}$	$-1,3 \cdot 10^{-6}$	$-7,2 \cdot 10^{-7}$
L ₇₋₈	1,78	-3,28	-6,86	-7,15	$-4,6 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$-7,6 \cdot 10^{-7}$	$-1,6 \cdot 10^{-7}$	$-5,9 \cdot 10^{-7}$	$-3,8 \cdot 10^{-7}$	$-9,8 \cdot 10^{-7}$	$-7 \cdot 10^{-8}$
L ₇₋₉	1,99	-3,68	-7,69	-8,02	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	$-2,2 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$-2 \cdot 10^{-9}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$
L ₇₋₁₀	1,81	-3,34	-6,98	-7,27	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$-8,2 \cdot 10^{-8}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$-7,1 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$-6,7 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$
L ₈₋₉	0,82	-1,52	-3,18	-3,31	$-1,1 \cdot 10^{-7}$	$-1,6 \cdot 10^{-7}$	$-7,8 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$-2,1 \cdot 10^{-8}$	$-5,7 \cdot 10^{-7}$	$-1,4 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$
L ₈₋₁₀	0,84	-1,55	-3,24	-3,37	$-1,6 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$-9,7 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
L ₉₋₁₀	0,21	-0,38	-0,79	-0,83	$1 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-7}$	$-1,8 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$9,9 \cdot 10^{-7}$	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$
	1,43	2,64	5,52	5,75	$6,8 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$

Додаток Г
Патент на корисну модель



(11) **132779**(19) **UA**(51) МПК
G01C 15/10 (2006.01)(21) Номер заявки: **u 2018 09770**(22) Дата подання заявки: **01.10.2018**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **11.03.2019**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **11.03.2019, Бюл. № 5**(72) Винахідники:
**Бурак Константин
Омелянович, UA,
Лиско Богдан Олегович, UA**(73) Власник:
**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-
Франківськ, 76019, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЦЕНТРУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для центрування геодезичних приладів, що містить основу, виконану у вигляді кільця із центральним отвором, яка через циліндричні шарніри з'єднана з трьома опорними ніжками, встановлену зверху на кільці збірну кришку, накладку та втулку якої разом зі сферичною втулкою, що напресована на державці, утворюють сферичний шарнір, кришка фіксується на основі за допомогою кріпильної гайки, який відрізняється тим, що державку виконано пустотілою, всередині її отвору встановлено оптичний центрир, що складається з об'єктива та окуляра, а у верхній її частині виконано точну виточку, яка дозволяє базувати прилади (GPS-приймач, відбивач тощо), при цьому по зовнішній поверхні державки у її нижній частині встановлюють змінні протизваги, що являють собою набір дисків з отвором, які фіксують в осьовому напрямку гайкою, яка нагвинчується на різьбу, що нарізана у нижній частині державки.

(11) 132779

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 2906070319.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.

2. Виконати пошук за номером заявки.

3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту

І.Є. Матусевич

11.03.2019





МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 132779 (13) U
(51) МПК
G01C 15/10 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 09770	(72) Винахідник(и): Бурак Константин Омелянович (UA), Лиско Богдан Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки: 01.10.2018	(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.03.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2019, Бюл.№ 5	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЦЕНТРУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

(57) Реферат:

Пристрій для центрування геодезичних приладів містить основу, виконану у вигляді кільця із центральним отвором, яка через циліндричні шарніри з'єднана з трьома опорними ніжками, встановлену зверху на кільці збірну кришку, накладку та втулку якої разом зі сферичною втулкою, що напресована на державці, утворюють сферичний шарнір, кришка фіксується на основі за допомогою кріпильної гайки. Державку виконано пустотілою, всередині її отвору встановлено оптичний центрир, що складається з об'єктива та окуляра, а у верхній її частині виконано точну виточку, яка дозволяє базувати прилади (GPS-приймач, відбивач тощо), при цьому по зовнішній поверхні державки у її нижній частині встановлюють змінні протизаги, що являють собою набір дисків з отвором, які фіксують в осьовому напрямку гайкою, яка нагвинчується на різьбу, що нарізана у нижній частині державки.

UA 132779 U

UA 132779 U

Корисна модель належить до геодезії і може знайти застосування при вишукувальних, розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних роботах, в маркшейдерсько-геодезичних приладах.

Відомий пристрій для центрування під назвою "жесткий отвес" (ОЖ-4), що містить: 5
стрижень, круглий рівень, шарнірно з'єднані ніжки, муфту та запобіжний ковпачок. Стрижень являє собою дюралюмінієву грубку із сталним заточеним вістря на нижньому кінці. На верхньому кінці стрижня закріплений круглий рівень із ампулою АК-10-17, радіус кривизни внутрішньої поверхні якої дорівнює віддалі до нижнього кінця стрижня. Ніжка являє собою шарнірно з'єднані дюралюмінієві трубки, шарнірно з'єднані із циліндричною сталною муфтою, 10
яка вільно ковзає по стрижню [А.С. СССР № 651112, G01C 15/10, 30.11.1975, аналог].

До недоліків даного пристрою можна віднести наступне:

- невідповідність кривизни сфери ампули номіналу викликає похибку вносу центра репера; 15
- похибка вносу центра збільшується із збільшенням віддалі від бульбашки рівня до нуля-пункту;
- дана конструкція є недостатньо стійка через використання у конструкції шарнірно з'єднаних ніжок та потребує багато часу для приведення її в робоче положення.

Найближчим аналогом пристрою, що заявляється, є "жесткий отвес" (ОЖ-3), що містить основу, яка шарнірно з'єднана з трьома опорними ніжками, зверху на ній базується збірна кришка, яка в парі із сферичною втулкою, що має зовнішню сферичну поверхню, утворює сферичний шарнір. Кришка фіксується на основі за допомогою кріпильної гайки. Сферична 20
втулка запресована на стрижень, що виконаний з дюралюмінієвої труби із сталним загостреним знизу вістря, а на верхньому його кінці встановлено круглий рівень, за допомогою якого здійснюється приведення у вертикальне положення даного стрижня [Інструкція по спостереженню за деформаціями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. // ВНИМИ, Москва. - 1971. - 123 с., найближчий аналог]. 25

Передача координат з центра репера або геодезичного знаку за допомогою відомого пристрою на прилад виконується завдяки тому, що верхня частина стрижня встановлюється на одній вертикалі із нижнім за допомогою круглого рівня, закріпленого з боку стрижня. 30
Встановлення стрижня і закріплення його в робочому положенні виконується за допомогою спеціального шарнірного пристрою, що з'єднує стрижень із трьома опорними ніжками. Під час проведення центрування відомий пристрій поміщають над репером або геодезичним знаком, фіксують ніжки і суміщають вістря стрижня із його центром, тоді переміщують кришку відносно основи пристрою в площині їх дотику таким чином, щоб за допомогою круглого рівня привести стрижень у вертикальне положення, після чого фіксують кришку до основи за допомогою кріпильної гайки. 35

Недоліком відомого пристрою є те, що похибка передачі координат центра репера повністю залежить від точності встановлення рівня, для зменшення якої потрібно затратити багато часу, із збільшенням точності використовуваного рівня невідповідність кривизни сфери ампули номіналу викликає похибку вносу центра репера, яка збільшується із збільшенням віддалі від 40
бульбашки рівня до нуля-пункту.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення пристрою для центрування, який дозволяє підвищити продуктивність робіт і точність отриманих результатів.

Використання оптичного центрира дозволить зменшити час центрування пристрою та 45
підвищити його точність, так як похибка передачі координат із центру репера або геодезичного знаку на прилад за допомогою оптичного центрира та противаг буде в рази менша, ніж за допомогою стрижня з вістря та круглого рівня. Даний пристрій завдяки сферичному шарніру, на якому базується стрижень із противагами, завжди встановлює вісь стрижня вертикально, що значно полегшує його приведення в робоче положення. Застосування змінних противаг 50
дозволяє базувати на пристрої важкі та несиметричні прилади.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де зображено: на фіг. 1 - схема пристрою в розрізі; на фіг. 2 - загальний вигляд пристрою.

Пристрій для центрування містить основу 1, яка складається із сталного диска з привареними до нього кронштейнами, на ній базується збірна кришка 2, до якої входять 55
накладка 3 та втулка 4, що в своїй нижній частині містить різьбову поверхню, які нерухомо з'єднано гвинтами 5. Внутрішні поверхні накладки 3 та втулки 4 формують внутрішню сферичну поверхню, яка разом зі сферичною втулкою 6, що напресована на державці 7, утворюють сферичний шарнір, кришка 2 фіксується на основі 1 за допомогою кріпильної гайки 8, яка нагвинчується на різьбову поверхню втулки 4, яка в свою чергу проходить через отвір основи 1. 60
Державку 7 виконано пустотілою, всередині її отвору встановлено оптичний центрир, що

UA 132779 U

складається з об'єктива 9 та окуляра 10, а у верхній її частині виконано точну виточку 11, яка дозволяє базувати прилади (GPS, відбивач тощо), при цьому по зовнішній поверхні державки 7 у її нижній частині встановлюють змінні противаги 12, що являють собою набір дисків з отвором, які фіксують в осьовому напрямку гайкою 13, яка нагвинчується на різьбу, що нарізана у нижній частині державки. Ніжки 14 шарнірно з'єднані з кронштейнами основи 1 за допомогою шпильок 15 та гайок 16. Ніжки 7 виконано із алюмінієвої труби із загостреними сталевими вставками 17.

Пристрій працює наступним чином.

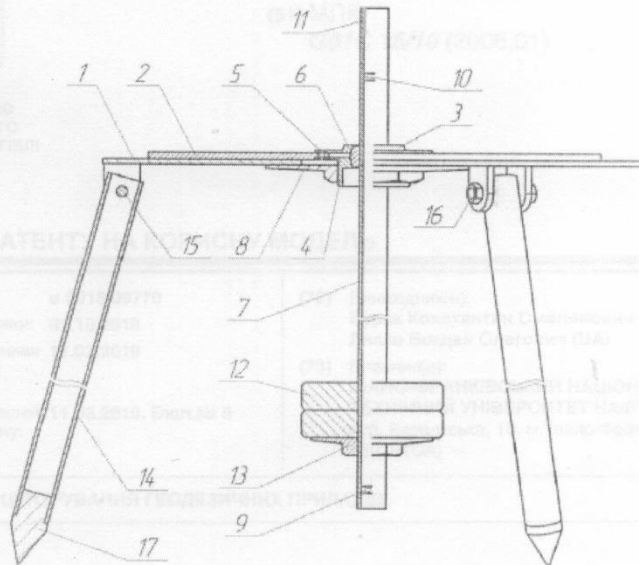
Встановлюють основу 1 пристрою за допомогою ніжок 14 з вставками 17 над попередньо знайденим репером або геодезичним знаком, переміщаючи збірну кришку 2 відносно основи 1 в площині їх дотику, і таким чином за допомогою оптичного центрира із об'єктивом 9 та окуляром 10 суміщають вісь державки 7 з центром репера. Вісь пристрою завжди займає вертикальне положення завдяки сферичному шарніру, що формується внутрішніми поверхнями накладки 3 та втулки 4, які нерухомо закріплені гвинтами 5 до збірної кришки 2 та сферичною втулкою 6, що напресована на державці 7, на якій також по її зовнішній поверхні базуються противаги 12, які за допомогою сили тяжіння приводять пристрій, що встановлюється на виточці 11 у верхній частині державки 7, в робоче положення. Після проведення центрування фіксують збірну кришку 2 до основи 1 за допомогою кріпильної гайки 8 та встановлюють на виточку 11 державки 7 прилад (GPS-приймач, відбивач тощо), за допомогою якого проводять вимірювання. Противаги базуються по зовнішній циліндричній поверхні державки 7 в її нижній частині і зафіксовані в осьовому напрямку гайкою 13, монтують на пристрій при потребі встановити прилад із зміщеним центром мас або з великою масою у вітряну погоду, а при встановленні легких приладів пристрій може працювати і без них.

Точність роботи пропонованого пристрою залежить головним чином від точності наведення оптичного центрира, яка забезпечує вищу точність, ніж пристрої, побудовані на базі стрижня із круглим рівнем, що дозволяє підвищити точність передачі координат пункту на прилад.

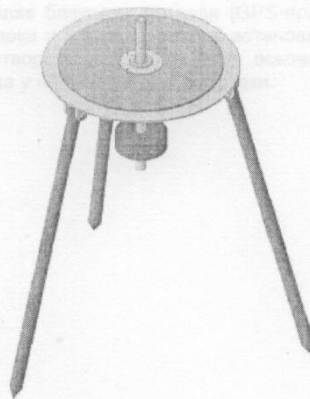
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для центрування геодезичних приладів, що містить основу, виконану у вигляді кільця із центральним отвором, яка через циліндричні шарніри з'єднана з трьома опорними ніжками, встановлену зверху на кільці збірну кришку, накладку та втулку якої разом зі сферичною втулкою, що напресована на державці, утворюють сферичний шарнір, кришка фіксується на основі за допомогою кріпильної гайки, який **відрізняється** тим, що державку виконано пустотілою, всередині її отвору встановлено оптичний центрир, що складається з об'єктива та окуляра, а у верхній її частині виконано точну виточку, яка дозволяє базувати прилади (GPS-приймач, відбивач тощо), при цьому по зовнішній поверхні державки у її нижній частині встановлюють змінні противаги, що являють собою набір дисків з отвором, які фіксують в осьовому напрямку гайкою, яка нагвинчується на різьбу, що нарізана у нижній частині державки.

UA 132779 U



Фіг.1



Фіг.2

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Д

Фрагмент створеного алгоритму для трансформування координат

```

vyvod1 :=
i ← 0
j ← 0
k ← 0
n ← 0
x ← minX0
y ← minY0
φ ← minφ
s ← 0
min_s ← 100
while x ≤ maxX0
  bi,0 ← x
  i ← i + 1
  xx ← x
  x ← x +  $\frac{\text{maxX0} - \text{minX0}}{\text{kr}}$ 
  while y ≤ maxY0
    bj,1 ← y
    j ← j + 1
    yy ← y
    y ← y +  $\frac{\text{maxY0} - \text{minY0}}{\text{kr}}$ 
    while φ ≤ maxφ
      bk,2 ← φ
      k ← k + 1
      cn,0 ← xx
      cn,1 ← yy
      cn,2 ← φ
      s ← (xx + X1·cos(φ) - Y1·sin(φ) - X200_1)2 + (yy + X1·sin(φ) + Y1·cos(φ) - Y200_1)2
      cn,3 ← s
      min_s ← s if s < min_s
      c0,4 ← "min 1"
      c1,4 ← min_s
      c2,4 ← "рядок"
      c3,4 ← n + 1 if s = min_s
      n ← n + 1
      φ ← φ +  $\frac{\text{max}\varphi - \text{min}\varphi}{\text{kr}}$ 
    φ ← minφ
  k ← 0
  y ← minY0
  j ← 0
i ← 0
φ ← minφ
c

```

Додаток Е

Визначення оптимальних параметрів трансформування

Наближений розрахунок параметрів трансформації виконано за відомими формулами:

$$\begin{cases} X'_i = X_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q - \Delta Y_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q \\ Y'_i = Y_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q + \Delta Y_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q \end{cases} \quad (\text{E.1})$$

За вихідними значеннями координат опорних пунктів обчислено віддалі у відносній системі координат S_i та УСК-2000 S'_i відповідно

$$S_i = \begin{pmatrix} 204,855 \\ 155,143 \\ 160,237 \\ 145,543 \end{pmatrix}, S'_i = \begin{pmatrix} 204,857 \\ 155,147 \\ 160,235 \\ 145,542 \end{pmatrix}$$

Після чого за формулою знайдено середній масштабний коефіцієнт

$$m_i = \frac{S_i}{S'_i}, m_{\text{сер}} = \frac{\sum m_i}{n} = 0,999994 \quad (\text{E.2})$$

Кут повороту координатних осей розраховано як різниця дирекцій цих кутів в відносній системі координат та УСК-2000 однієї і тієї ж сторони

$$\Delta\alpha = \alpha'_i - \alpha_i = \begin{pmatrix} 1,04722967143212 \\ 1,04721311190628 \\ 1,04718107289417 \\ 1,04720002869082 \end{pmatrix} \quad (\text{E.3})$$

Після підстановки значень $m_{\text{сер}}$ та $\Delta\alpha_{\text{сер}}$ в систему рівнянь Е.1 та її розв'язання одержуємо наступні наближені значення параметрів трансформування $X_0 = 5424568,872$, та $Y_0 = 5329908,974$.

Таким чином після одержання наближених значень параметрів трансформації, за допомогою надбудови Solver у Microsoft Excel розраховано оптимальні параметри переходу. Для цього було використано наступну цільову функцію, яка ґрунтується на мінімізації квадратів векторів не співвідності координат визначених на місцевості та розрахованих за параметрами переходу.

$$S_i^2 = (X_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q - \Delta Y_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q - X_i')^2 + (Y_0 + \Delta X_i \cdot m \cdot \sin \Delta Q + \Delta Y_i \cdot m \cdot \cos \Delta Q - Y_i')^2 \rightarrow \min. \quad (\text{E.3})$$

Дана задача була розв'язана для пунктів заданої опорної мережі (Табл. Е.1).

Таблиця Е.1

Координати опорних пунктів в місцевій системі координат та УСК-2000

Точка	Координати пунктів, м				Результати роботи цільової функції S_i^2 , мм
	Електронним тахеометром		у RTN режимі		
	X_i	Y_i	X_i'	Y_i'	
А	1000	1000	5424202,8624	5331275,0148	0,004688
Б	1204,855	1000	5424305,2853	5331452,4295	0,009666
В	1176,551	847,461	5424423,2368	5331351,6435	0,007489
Г	1016,511	855,397	5424336,3466	5331217,0131	0,000509
Σ					0,022352

Згідно наведених результатів можна стверджувати мінімальні значення цільова функція приймає при таких параметрах трансформації.

Таблиця Е.1

Оптимальні параметри трансформації між умовною системою координат та УСК-2000

X_0	Y_0	Q, рад	m
5424569	5329909	1,047209	1,000006

Додаток Є

Акти впроваджень

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 В.о. директора ДП "Івано-
 Франківський інститут землеустрою
 _____ Осипчук Т. І.
 «29» травня 2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
 результатів дисертаційної роботи Лиска Богдана Олеговича,
 представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
 за спеціальністю 05.24.01 — геодезія, фотограмметрія та картографія.

1. *Детальна назва заходу, який впроваджується.* Розмічувальні роботи при будівництві житлових масивів із будівлями складної конфігурації за допомогою сучасних методів TPS (Total Positioning Station) та RTN-рішень.

2. *Тема, завдання, наукове дослідження, результатом яких є розроблений захід.* Дисертаційна робота Лиска Б.О. «Використання сучасних технологій для підвищення ефективності основних розпланувальних робіт».

3. *Назва підприємства, де зроблено впровадження.* ДП "Івано-Франківський інститут землеустрою".

4. Зміст впровадження.

4.1. Пристрій для центрування геодезичних приладів [UA132779U] В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення пристрою для центрування, який дозволяє підвищити продуктивність геодезичних робіт і точність отриманих результатів.

4.2. Закономірності впливу технологічних параметрів та взаємного розміщення референтних станцій на точність створення планової розмічувальної основи комплексними спостереженням в реальному часі та електронним тахеометром;

4.3. Алгоритми трансформування координат з між двома плоскими ортогональними системами локальною (генплану) та загальноприйнятою державною (УСК 2000), з мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливістю відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи;

4.4. Технологічний процес підвищення ефективності детальних розпланувальних робіт шляхом використання можливостей сучасних TPS опираючись на пункти винесені за допомогою RTN методу;


5. *Основні результати впровадження.* Запропоновано практичні рекомендації використання RTN рішень для розв'язання ряду інженерно-геодезичних задач, а саме виконання основних планових розмічувальних робіт, що ґрунтуються на розроблених методиках. Розроблено спеціальний штатив для центрування антени GNSS, що дозволяє підвищити швидкість та точність виконання робіт (передачі координат з приладу на місцевість), а також при використанні даного штатива, одержане з RTN вимірів значення довжини базису, дозволяє додатково надійно контролювати точність визначення координат станції на якій встановлюється електронний тахеометр при детальних розмічувальних роботах. Запропоновані методи геодезичного забезпечення будівництва, задовільняють нормативні вимоги точності та високі темпи будівництва.

Представники ІФНТУНГ:

Науковий керівник .  Бурак К.О.

Здобувач  Лиска Б.О.



Представник ДП "Івано-Франківський інститут землеустрою":
 В.о. директора  Осипчук Т. І.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Лиска Богдана Олеговича, представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 — геодезія, фотограмметрія та картографія.

Впродовж 2015-2018 рр аспірантом Лиском Б.О. під керівництвом д.т.н., професора Бурака К.О. проводилась наукова робота, присвячена розробленню нових методів підвищення ефективності виконання розмічувальних робіт та створення оптимального алгоритму трансформування координат для інженерно-геодезичних цілей.

У результаті виконаних робіт в ТзОВ «ПРОФ-ГРУП» було впроваджено наступні наукові розробки:

- вдосконалений пристрій для центрування геодезичних приладів [UA132779U], який дозволяє підвищити точність вимірювання та продуктивність виконання геодезичних розмічувальних робіт.

- закономірності впливу технологічних параметрів та взаємного розміщення референсних станцій на точність створення планової розмічувальної основи комплексними спостереженням в реальному часі та електронним тахеометром;


- алгоритм трансформування координат з між двома плоскими ортогональними системами локальною (генплану) та загальноприйнятою державною (УСК 2000), з мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливістю відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи;

- методику підвищення ефективності детальних розпланувальних робіт за допомогою використання можливостей сучасних TPS та GNSS технологій;

Це дозволило запропонувати рекомендації використання RTN рішень для розв'язання ряду інженерно-геодезичних задач, а саме виконання основних планових розмічувальних робіт, які задовольняють нормативні вимоги точності та високі темпи будівництва.

Зав. кафедри геодезії та землеустрою, ІФНТУНГ,
 д.т.н., професор

Здобувач

 Бурак К.О.
 Лиско Б.О.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
проф. Чудик І.І.
« 5 » 02 2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Лиска Богдана Олеговича
на тему «Використання сучасних технологій для підвищення ефективності
основних розпланувальних робіт»
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.24.01 — геодезія, фотограмметрія та картографія.
у навчальний процес

Члени комісії у складі завідуючого кафедри геодезії та землеустрою д.т.н. професора Бурака К.О., к.т.н., професора Пилип'юка Р.Г. склали цей акт про те, що у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу при виконанні дисертаційної роботи Лиска Б.О. було впроваджено в навчальний процес при викладанні дисципліни «Сучасні науково-технічні проблеми геодезії» та при виконанні магістерських робіт, такі результати наукових досліджень:

- закономірності впливу технологічних параметрів та взаємного розміщення референтних станцій на точність створення планової розмічувальної основи комплексними спостереженням в реальному часі та електронним тахеометром;
- трансформування координат між двома плоскими ортогональними системами: локальною (генплану) та загальноприйнятою державною (УСК 2000), з мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливістю відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи;
- підвищення ефективності розпланувальних робіт шляхом використання можливостей сучасних TPS опираючись на пункти винесені за допомогою RTN методу.

Зав. кафедри геодезії та землеустрою,
д.т.н., професор

Бурак К.О.

професор кафедри геодезії
та землеустрою, к.т.н., доцент

Пилип'юк Р.Г.