

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Допускається до захисту
Зав. кафедри геодезії
та землеустрою та інженерії
безпілотних технологій
_____ доц. к.е.н. Тетяна СІРОШТАН
«09» грудня 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО- ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ RTK

Виконала: РЕДВАНСЬКА Ірина Олександрівна

Керівник: доктор філософії з економіки
Вячеслав ТАРНАВСЬКИЙ

Рецензент: доктор філософії з економіки, доцент
Наталія КОМАРОВА

Я, РЕДВАНСЬКА Ірина Олександрівна, засвічую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Біла Церква – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Затверджую

Гарант
ОП «Землеустрій та кадастр»
к.е.н., доц. Тетяна ПРЯДКА
підпис, вчене звання, прізвище, ініціали
«11» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу здобувачу
*Редванській Ірині Олександрівні***

Тема: Методологічні підходи до виконання топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою із використанням технології RTK

Затверджено наказом ректора № 607/С від 24.12.2024 р.

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат: до 12.12.2025 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі:

Проаналізувати теоретичні засади застосування RTK-технології у топографо-геодезичних роботах; дослідити функціонування мереж постійно діючих референцих станцій та умови отримання високоточного RTK-позиціонування; визначити організаційно-методичні особливості виконання топографо-геодезичних робіт із використанням RTK у проєктах землеустрою; провести оцінку точності RTK-вимірювань та їх придатності для формування вихідних даних землеустрою; сформулювати рекомендації щодо вдосконалення методики застосування RTK для геодезичного забезпечення проєктів землеустрою.

Вихідні дані для кваліфікаційної роботи:

Статистичні дані Держгеокадастру; Статистичний щорічник за 2018-2025 роки;

Статистичний збірник «Сільське господарство України».

Календарний план виконання роботи:

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	Березень-травень 2025	Виконано
Методична частина	Червень-серпень 2025	Виконано
Дослідницька частина	Серпень– вересень 2025	Виконано
Оформлення роботи	Жовтень-листопад 2025	Виконано
Перевірка на плагіат	Початок листопада 2025	Виконано
Подання на рецензування	Листопад 2023	Виконано
Попередній розгляд на кафедрі	Листопад 2025	Виконано

Керівник кваліфікаційної роботи _____ д.ф. з екон. Вячеслав ТАРНАВСЬКИЙ
підпис *прізвище, ініціали*

Здобувачка _____ Ірина РЕДВАНСЬКА
підпис *прізвище, ініціали*

Дата отримання завдання 11.11.2024 р.

АНОТАЦІЯ

Редванська І.О. Методологічні підходи до виконання топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою із використанням технології RTK – Кваліфікаційна робота.

Кваліфікаційна робота на здобуття другого освітнього рівня кваліфікації «Магістр геодезії та землеустрою» за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій». – Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні та прикладні аспекти виконання топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою із застосуванням технології RTK, яка забезпечує високоточне визначення координат у режимі реального часу. Проаналізовано науково-теоретичні засади топографо-геодезичного забезпечення землеустрою, визначено особливості функціонування геодезичної інфраструктури та роль супутникових технологій у формуванні просторової основи для розроблення землевпорядної документації.

Охарактеризовано територію проведення геодезичних робіт, наведено аналіз інженерно-геодезичних умов та факторів, що впливають на вибір технологічних рішень під час виконання RTK-знімання.

Польові вимірювання виконувалися із застосуванням сучасних GNSS-приймачів, що підтримують RTK-технологію, із використанням мережі референцних станцій для забезпечення стабільності координатної основи. Опрацьовані дані дали змогу створити точні картографічні матеріали, каталог координат поворотних точок та електронні файли.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить ___ сторінок, у тому числі ___ таблиць і ___ рисунків. Список використаних джерел налічує ___ найменувань.

Ключові слова: *топографо-геодезичні роботи, RTK, GNSS, проєкт землеустрою, землеустрій, координати, кадастрові дані, супутникові вимірювання.*

ABSTRACT

I, Redvanska. Methodological approaches to conducting topographic and geodetic surveys for land management projects using RTK technology. - Qualification work.

Qualification work for obtaining the second educational level of qualification "Master of Geodesy and Land Management" in specialty 193 "Geodesy and Land Management". – Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, 2025.

The qualification thesis examines the theoretical and applied aspects of performing topographic and geodetic surveys for land management projects using RTK technology, which ensures high-precision coordinate determination in real time. The scientific and theoretical foundations of geodetic support for land management are analyzed, the functioning of geodetic infrastructure is characterized, and the role of satellite technologies in forming the spatial basis for the preparation of land management documentation is defined.

The study presents a description of the survey area, including an analysis of engineering and geodetic conditions and the factors influencing the choice of technological solutions when applying RTK surveying methods. The methodology of organizing field and office work is considered in detail, including reconnaissance of the territory, execution of RTK measurements, accuracy control of obtained coordinates, and integration of processed data into graphic and textual materials of the land management project.

Field measurements were carried out using modern GNSS receivers supporting RTK technology and utilizing a reference station network to ensure the stability and reliability of the coordinate framework.

The qualification thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the work is ___ pages, including ___ tables and ___ figures. The list of references contains ___ sources

Keywords: topographic and geodetic surveys, RTK, GNSS, land management project, land surveying, coordinates, cadastral data, satellite measurements.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ	9
1.1. Науково-теоретичні засади топографо-геодезичних робіт у системі землеустрою.....	9
1.2. Методологічні підходи до виконання топографо-геодезичних робіт при розробленні проєктів землеустрою.....	11
1.3. Сучасні технології супутникові вимірювань і їх роль у забезпеченні точності топографічної зйомки.....	15
Висновки до 1 розділу.....	21
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ТА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ	22
2.1. Загальна характеристика земельної ділянки, як об'єкту виконання топографо-геодезичних та кадастрових вимірювань.....	22
2.2. Організація та алгоритм виконання топографо-геодезичних вишукувань при розробленні проєкту землеустрою	25
2.3. Інтеграція RTK-даних у проведення камеральних робіт та підготовка графічних матеріалів для проєктів землеустрою	30
Висновки до 2 розділу.....	34
РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ RTK	35
3.1. Методичні принципи вдосконалення технології RTK у виконанні топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою.....	35
3.2. Оцінювання точності, виявлення похибок та забезпечення надійності результатів RTK-вимірювань.....	37
3.3. Інтеграція RTK- технології для отримання ДЗЗ, БПЛА, LiDAR та GNSS-даних у процесах цифрового землеустрою	40
Висновки до 3 розділу.....	44
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТКИ	55

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку геодезії та землеустрою характеризується активним впровадженням високотехнологічних методів збору просторових даних, серед яких провідне місце займають супутникові технології GNSS та, зокрема, RTK-метод визначення координат у режимі реального часу. Висока точність, оперативність та надійність RTK-технології роблять її ключовим інструментом у топографо-геодезичному забезпеченні проєктів землеустрою, які потребують виконання високоточних вимірювань з мінімальними витратами часу та людських ресурсів. Зростаючий попит на якісну просторову інформацію, необхідність забезпечення точності кадастрових даних, планувальних та інженерних рішень актуалізують потребу у вдосконаленні методологічних підходів до виконання геодезичних робіт із застосуванням RTK.

Використання мереж постійно діючих референцних станцій, програмно-апаратних комплексів та стандартизованих алгоритмів обробки даних забезпечує можливість підвищення якості землепорядної документації, оптимізації процесів зйомки та інтеграції геодезичної інформації у систему управління земельними ресурсами. Тому дослідження особливостей методології RTK-вимірювань є важливою науковою і практичною задачею для галузі землеустрою та геодезії.

Ступінь дослідження теми. Питанням розвитку супутникових технологій позиціонування та вдосконалення методів геодезичних вимірювань присвячені праці таких дослідників, як В. М. Андрієнко, О. М. Біла, І. М. Ладанівський, М. І. Ніколаєв, В. М. Плахотнюк, А. Г. Мартин, М. М. Третяк, О. Г. Мельничук та ін. Значний науковий доробок присвячено функціонуванню GNSS-мереж, методам RTK-позиціонування, питанням точності та оптимізації польових робіт. Водночас методологічні аспекти інтегрованого використання RTK-технологій саме в комплексі топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою потребують подальшого розвитку та систематизації.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є обґрунтування

та вдосконалення методологічних підходів до виконання топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою із використанням технології RTK.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати теоретичні засади застосування RTK-технології у топографо-геодезичних роботах;
- дослідити функціонування мереж постійно діючих референсних станцій та умови отримання високоточного RTK-позиціонування;
- визначити організаційно-методичні особливості виконання топографо-геодезичних робіт із використанням RTK у проєктах землеустрою;
- провести оцінку точності RTK-вимірювань та їх придатності для формування вихідних даних землеустрою;
- сформулювати рекомендації щодо вдосконалення методики застосування RTK для геодезичного забезпечення проєктів землеустрою.

Об'єктом дослідження – є процес топографо-геодезичного забезпечення розроблення проєктів землеустрою, на прикладі Проєкту землеустрою щодо відведення земельної ділянки у оренду для ведення товарного сільськогосподарського виробництва (господарські будівлі і двори), що розташована за адресою: вул. Перемоги, 30, с. Ненадиха, Білоцерківського району Київської області.

Предметом дослідження є методологічні, технічні та організаційні особливості виконання топографо-геодезичних робіт із використанням технології RTK.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є системний та діалектичний підходи до вивчення процесів геодезичного забезпечення землеустрою. У дослідженні застосовано:

- аналітичний метод – для узагальнення наукових підходів до використання GNSS-технологій;
- порівняльний метод – для зіставлення технічних характеристик та алгоритмів роботи RTK-систем;

- експериментально-геодезичні методи – для проведення RTK-вимірювань і оцінки їх точності;
- картографічні та камеральні методи – для опрацювання польових матеріалів та створення графічних даних;
- статистичні методи – для оцінки похибок та достовірності отриманих результатів.

Інформаційною базою дослідження є включає законодавчі та нормативно-технічні документи України у сфері геодезії та землеустрою, матеріали Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру, технічні описи GNSS-обладнання, наукові публікації, результати польових вимірювань, матеріали науково-практичних конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 72 сторінок, у тому числі 7 таблиць, 18 рисунків. Список використаних джерел налічує 50 одиниць.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ

1.1. Науково-теоретичні засади топографо-геодезичних робіт у системі землеустрою

Ефективна організація землеустрою неможлива без науково обґрунтованої системи топографо-геодезичних робіт, які забезпечують точне, повне та актуальне відображення просторових характеристик території. У сучасних умовах трансформації земельних відносин, розвитку цифрових кадастрових систем та широкого впровадження геоінформаційних технологій значення геодезичних вимірювань суттєво зростає. Вони формують основу для прийняття управлінських рішень, здійснення землепорядного проєктування, кадастрової реєстрації та просторового планування. Науково-теоретичні засади топографо-геодезичних робіт охоплюють комплекс методів, принципів та нормативних положень, що визначають порядок створення геодезичних мереж, виконання польових знімачь, використання ГНСС-технологій, дистанційного зондування та цифрової обробки даних. Вивчення цих засад є ключовим для формування теоретичної основи подальших методичних підходів до застосування RTK-технології та інших інноваційних інструментів у системі землеустрою.

Топографо-геодезичні вишукування є фундаментальним елементом системи землеустрою, з огляду на їхню роль у формуванні просторової структури землекористування, кадастрових карт, планів та документації територій. Теоретично, вони включають сукупність методів і принципів збирання, обробки й аналізу просторових даних, що відображають рельєф, комунікації, природні та антропогенні об'єкти місцевості.

По-перше, базисом для топографо-геодезичних робіт вважається створення та підтримка геодезичної мережі. Згідно з Наказом Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку топографо-геодезичних та картографічних

робіт» № 1675 від 17.04.2025, основу таких зйомок становить Державна геодезична мережа, до якої належать планові, нівелірні й GNSS-станції [27].

Це дає змогу забезпечити високу геометричну надійність просторових вимірювань, що особливо важливо для масштабних землеустроєвих проєктів.

По-друге, топографо-геодезичні роботи в системі землеустрою опираються на різні методи вимірювання: тахеометричну зйомку, нівелювання, GNSS-спостереження, а також дистанційні методи (аерофотозйомка, лазерне сканування, фотограмметрія).

Завдяки цьому досягається баланс між точністю польових даних та оперативністю їх збору, що дозволяє ефективно забезпечувати кадастрову, топографічну і картографічну документацію.

По-третє, теоретичні засади геодезичної методології передбачають інтеграцію супутникових навігаційних систем у топографічні роботи. Як підкреслюють Шевчук, Домашенко та ін., сучасні ГНСС-технології (включно із GPS) значно підвищують оперативність і точність картографічного забезпечення територій у межах систем землекористування [42].

Вони також слугують теоретичним базисом для побудови оновлюваних геодезичних мереж, що підтримують динамічний характер змін землевпорядних даних (наприклад, перепризначенням земель, розподілом ділянок, змінною забудовою тощо).

Крім того, інженерна геодезія відіграє важливу роль у системі землеустрою, особливо в частині топографо-геодезичних вишукувань для інфраструктурних або забудовних проєктів. А. Зуска в своєму навчальному посібнику описує загальні принципи проєктування і побудови інженерно-геодезичних мереж, а також процедури розмічування та контролю форм об'єктів – ці підходи є критично значимими для того, щоб топографічна інформація була коректно інтегрована в документи землеустрою й графічні матеріали [7].

Отже, науково-теоретичні засади топографо-геодезичних робіт у системі землеустрою включають:

- побудову та підтримку геодезичних мереж як фундаменту топографічного

забезпечення;

- застосування комбінованих методів збору даних (польових та дистанційних);
- інтеграцію ГНСС-технологій для підвищення точності, оперативності та гнучкості просторових вимірювань;
- залучення інженерної геодезії для спеціалізованих задач у землеустрою.

Ця теоретична основа створює основу для подальших розділів дослідження, зокрема для методології виконання топографо-геодезичних робіт із використанням RTK-технологій [5].

Науково-теоретичні засади топографо-геодезичних робіт визначають фундаментальні принципи організації просторових вимірювань, які забезпечують точність, достовірність та актуальність геопросторової інформації в системі землеустрою. У цьому підрозділі встановлено, що побудова геодезичних мереж, застосування комбінованих методів зйомки, інтеграція ГНСС і сучасних технологій дистанційного зондування, а також використання інженерно-геодезичних підходів формують науковий каркас землевпорядних вишукувань. Такі теоретичні положення створюють основу для переходу до цифрового землеустрою та підвищення точності кадастрових і топографічних даних. Отже, теоретичні засади геодезичних робіт не лише визначають структуру та методологію знімань, але й забезпечують можливість подальшого впровадження інноваційних RTK-рішень, що будуть розглянуті у наступних підрозділах.

1.2. Методологічні підходи до виконання топографо-геодезичних робіт при розробленні проєктів землеустрою

Організація та виконання геодезичних робіт ґрунтуються на двох фундаментальних принципах, що визначають якість та надійність отриманих результатів. Перший із них — принцип всебічного контролю («без контролю — ні кроку») — передбачає обов'язкове забезпечення кожного етапу польових і

камеральних робіт достатньою кількістю оптимально розташованих і високоточних опорних пунктів. Саме ці пункти формують основу (опорну мережу), відносно якої визначають положення всіх інших точок, що характеризують просторові параметри інженерних споруд, елементів ситуації чи орографії місцевості. Наявність надійної опорної мережі забезпечує мінімізацію накопичення похибок та можливість постійного контролю правильності польових вимірювань. Точки з високоточними координатами слугують базисом, на який «нанизуються» другорядні елементи знімальної мережі.

У разі порушення цього принципу — наприклад, при визначенні положення кожної наступної точки лише відносно попередньої та формуванні довгих ланцюгів вимірювань — відбувається швидке накопичення похибок, а можливість контролю значно знижується, оскільки такі роботи не спираються на надійні вихідні пункти.

Другий принцип — «від загального до часткового» — передбачає систематичний та повторний контроль усіх видів вимірювань. Польові кутові, лінійні та висотні вимірювання виконуються багаторазово для підвищення точності й верифікації результатів. Камеральні обчислення супроводжуються контрольними перевітками, співставленням із нормативними допусками та аналізом відповідності стандартам точності.

Геодезичною основою топографічних зніманих масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 є державна геодезична мережа (ДГМ), мережі згущення та знімальні (робочі) геодезичні мережі. За характером визначених параметрів вони поділяються на:

- планові мережі — з відомими координатами X, Y ;
- висотні мережі — з визначеними висотами H ;
- планово-висотні мережі — з повним комплексом просторових координат X, Y, H .

Методи створення планових геодезичних мереж. Астрономічний метод — базується на визначенні широти φ , довготи λ та астрономічного азимута ліній мережі за результатами спостереження небесних світил.

Геодезичний метод — координати вихідних пунктів визначають за результатами астрономічних спостережень, а координати решти точок — аналітично на основі вимірювань сторін і кутів геометричних фігур (трикутників, чотирикутників тощо).

Супутниковий метод — базується на визначенні координат пунктів за результатами спостережень навігаційними супутниковими системами.

Методи створення висотних мереж:

- геометричне нівелювання,
- тригонометричне нівелювання,
- супутникові технології визначення висот.

Традиційні методи побудови планових мереж.

Полігонометрія — прокладання розімкнених або замкнених полігонометричних ходів між точками з відомими координатами та дирекційними кутами.

Триангуляція — побудова системи трикутників із визначенням сторін та кутів, що дозволяє обчислити координати за відомими початковими значеннями, використовуючи теорему синусів та пряму геодезичну задачу.

Трилатерація — побудова мережі трикутників із вимірюванням лише довжин сторін і подальшим визначенням кутів за теоремою косинусів.

У державних мережах полігонометричні ходи формують основні лінії згущення, а в робочих знімальних мережах їх аналогами є теодолітні ходи.

Традиційні методи побудови висотних мереж:

тригонометричне нівелювання,

геометричне нівелювання, що є основним методом створення державних висотних мереж, які ведуть свій початок від нуля Кронштадтського футштоку та включають мережі I–IV класів точності.

Супутникові радіонавігаційні системи:

Найсучаснішим методом визначення координат пунктів геодезичних мереж є супутникові навігаційні технології. Для цього використовуються глобальні навігаційні системи:

- GPS (США),
- ГЛОНАСС (СРСР),
- Galileo (ЄС) — найбільш сучасна система з підвищеною точністю позиціонування.

Конфігурація орбітальних угруповань забезпечує можливість одночасного прийому сигналів мінімум від чотирьох супутників у будь-якій точці земної поверхні.

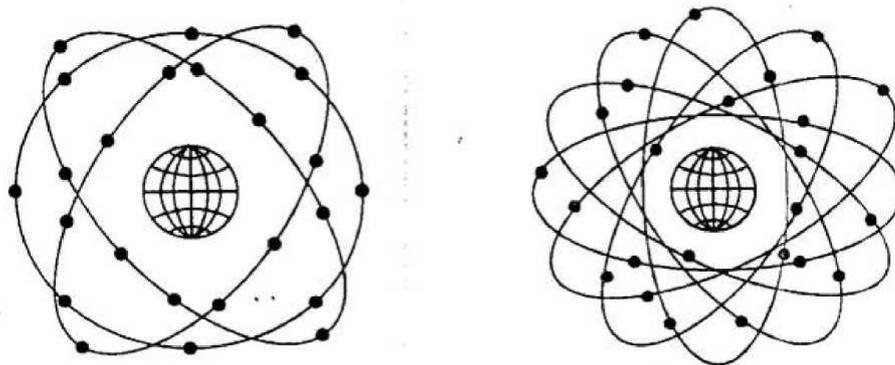


Рис. 1.1. Супутникові навігаційні системи ГЛОНАСС (а) та GPS (б)

В Україні на основі супутникових технологій у 2005 р. введено державну систему координат УСК-2000, параметри якої узгоджено з міжнародною системою ITRF2000 та еліпсоїдом Красовського (1940 р.).

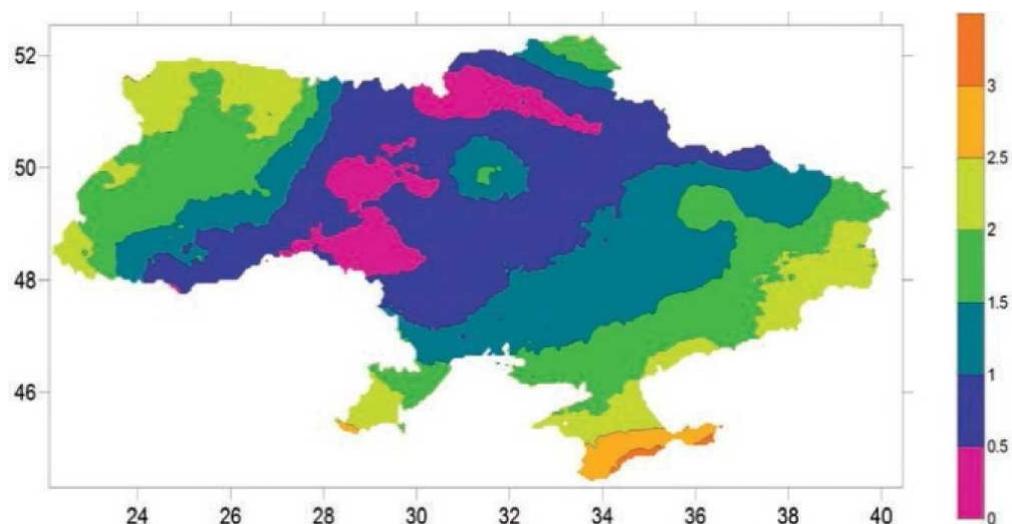


Рис. 1.2 Схема відхилення системи УСК-2000 щодо СК-42

Знімальна (робоча) геодезична мережа. Робоча мережа використовується безпосередньо для топографічних знімків. Щільність її пунктів визначається

масштабом, характером місцевості та методом зйомки. Згідно з Інструкцією з топографічної зйомки (1998 р.), середня щільність пунктів ДГМ для масштабів 1:5000 становить 1 точка на 20–30 км², для 1:2000 — 1 точка на 5–15 км², а в межах забудованих територій — до 1 точки на 5 км². Гранична помилка визначення координат пунктів робочої мережі відносно вихідних точок не повинна перевищувати 0,3 мм у масштабі плану [23].

Побудова робочої мережі здійснюється за допомогою теодолітних, нівелірних, теодолітно-нівелірних, тахеометричних ходів, мікротріангуляції та різноманітних засічок.

У зв'язку з розвитком науково-технічного прогресу та новими потребами геодезичної галузі України державна геодезична мережа підлягає поступовому оновленню та модернізації. Постанова Кабінету Міністрів України від 1998 р. та Інструкція 1999 р. визначили структуру планових мереж, що включає астрономо-геодезичну мережу 1 класу, геодезичні мережі 2 та 3 класів, мережі згущення (4 класу, 1–2 розрядів) та знімальні геодезичні мережі.

1.3. Сучасні технології супутникових вимірювань та їх роль у забезпеченні точності топографічної зйомки

Сучасні технології геодезичних робіт сформувалися та продовжують розвиватися на основі комплексної автоматизації всіх елементів геодезичного виробництва — від натурних вимірювань і топографічних знімань до математичної обробки результатів, складання цифрових планів і карт, формування баз даних геоінформаційних систем (ГІС) та отримання спеціалізованої прикладної геодезичної інформації. Рівень автоматизації галузі сьогодні визначається широким впровадженням електронних тахеометрів, супутникових навігаційних приймачів, портативних польових комп'ютерів, цифрових аерофотокомплексів та високофункціональних програмних пакетів.

Швидкий розвиток приладобудування зумовив появу нових типів електронних геодезичних приладів. Зокрема, впровадження безвідбивальних лазерних систем сприяло створенню та серійному виробництву лазерних скануючих систем для кінозйомки та інженерно-технічних вимірювань, а також формуванню універсальних високоточних вимірювальних комплексів [8].

Результати вимірювань електронними приладами автоматично реєструються у вигляді цифрових файлів, які передаються на персональні комп'ютери та обробляються у спеціалізованих програмних середовищах. Після камеральної обробки дані експортуються до ГІС для створення цифрових моделей об'єктів, топографічних планів та карт. Перехід від традиційних паперових планів до електронних форматів фактично замінив класичні камеральні процедури автоматизованими технологіями векторизації, оцифрування та структурно-логічної організації просторових даних.

На основі електронних топографічних планів формуються тематичні шари містобудівної, кадастрової, інженерної та іншої просторової інформації. Активний розвиток прикладного програмного забезпечення забезпечує автоматизацію всіх видів камеральних робіт, регулярне оновлення та розширення їх функціонального потенціалу.

Виробники геодезичного обладнання нині створюють комплексні системи, до складу яких входять електронні геодезичні прилади та універсальні програмні модулі, що дозволяють виконувати повний цикл геодезичних робіт у межах єдиної технологічної системи. Такі системи характеризуються високим ступенем уніфікації інструментальних засобів, методів вимірювань та технологій формування інформаційних баз.

Розвиток супутникових технологій у геодезії зумовив перехід до високоточних і автоматизованих методів визначення просторового положення точок. GNSS-технології (Global Navigation Satellite Systems) охоплюють використання глобальних супутникових систем навігації GPS-Navstar, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou, що дозволяє забезпечити багатосистемність, підвищену надійність сигналів і стабільність отриманих координат. Сучасні

GNSS-приймачі працюють в багаточастотних режимах, здійснюючи паралельний прийом сигналів практично від усіх видимих супутників, що значно покращує геометрію супутникового сузір'я та знижує ризики втрати розв'язку під час зйомок у складних умовах.

GNSS-приймачі нового покоління забезпечують:

- спільну багатосистемну обробку сигналів GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou;
- паралельний багатоканальний прийом сигналів, що підвищує точність у режимах реального часу;
- цифровий радіозв'язок та обмін корекціями (UHF/VHF/4G/5G) без потреби у зовнішній апріорній інформації;
- вимірювання фазового зсуву несучої хвилі, кодових псевдовідстаней і доплерівських частот, що дозволяє формувати високоточні вектори;
- цифрову фільтрацію, кореляцію та перетворення супутникових сигналів, зокрема алгоритми приглушення мультишляху та адаптивної фільтрації;
- автоматичне збереження та обробку даних з можливістю експорту у ГІС-системи.

Визначення координат здійснюється шляхом фіксації часу передачі сигналу супутником, який містить інформацію про момент передачі, орбітальні параметри, стан системи та дані альманаху. Сучасні GNSS-приймачі забезпечують роботу у складних умовах — у лісових масивах, міських вуличних каньйонах та зонах часткового перекриття горизонту.

Одним із найбільш ефективних методів високоточних супутникових вимірювань є RTK (Real-Time Kinematic). Технологія забезпечує визначення координат точок у режимі реального часу з точністю 1–2 см завдяки обміну корекціями між базовою станцією та рухомим приймачем.

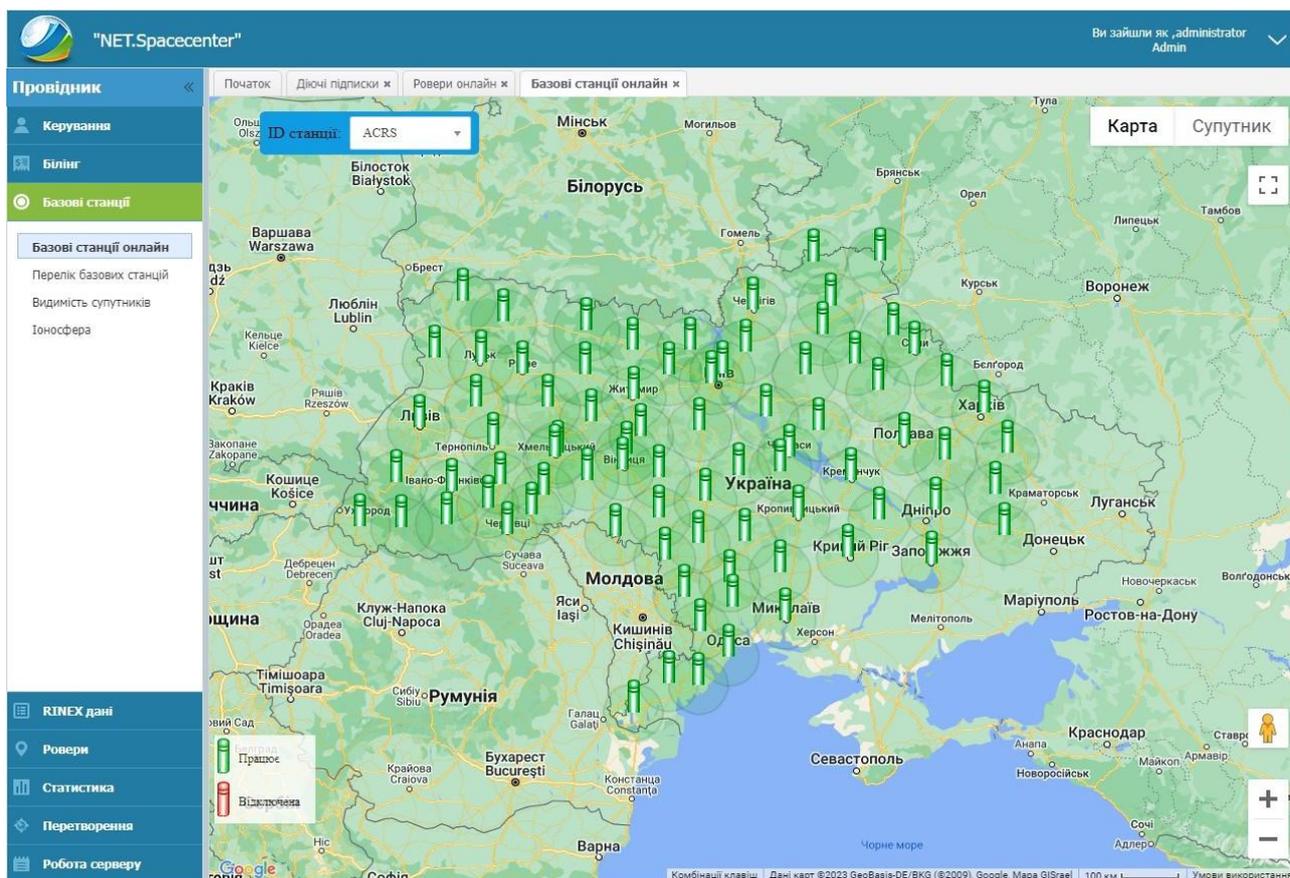


Рис.1.3. Схема покриття RTK-мережею території України

Основні особливості RTK-позиціювання включають:

- миттєве або швидке (5–20 с) вирішення фазових неоднозначностей, що забезпечує перехід до фіксованого розв'язку;
- використання форматів RTCM 2.x/3.x для передачі корекцій, що забезпечує сумісність обладнання різних виробників;
- роботу у режимах:
 - Single-Base RTK (від однієї базової станції),
 - Network RTK (мережеві рішення NTRIP: VRS, MAC, FKP);
- стабільність точності при віддаленні від референц-станцій на 50–70 км завдяки мережевим алгоритмам;
- підтримку кількох каналів передачі корекцій (радіомодем, GSM/3G/4G/5G, Wi-Fi, супутниковий зв'язок при необхідності);
- адаптацію до умов перешкод, зокрема за допомогою алгоритмів відновлення розв'язку під час втрати сигналу.

Точність RTK-зйомки залежить від низки чинників:

- геометрії супутників (PDOP);
- іоносферних і тропосферних затримок;
- мультишляху (відбиття сигналів від будівель, дерев);
- стабільності інтернет-каналу або радіозв'язку;
- якості локальної мережі референц-станцій (CORS).

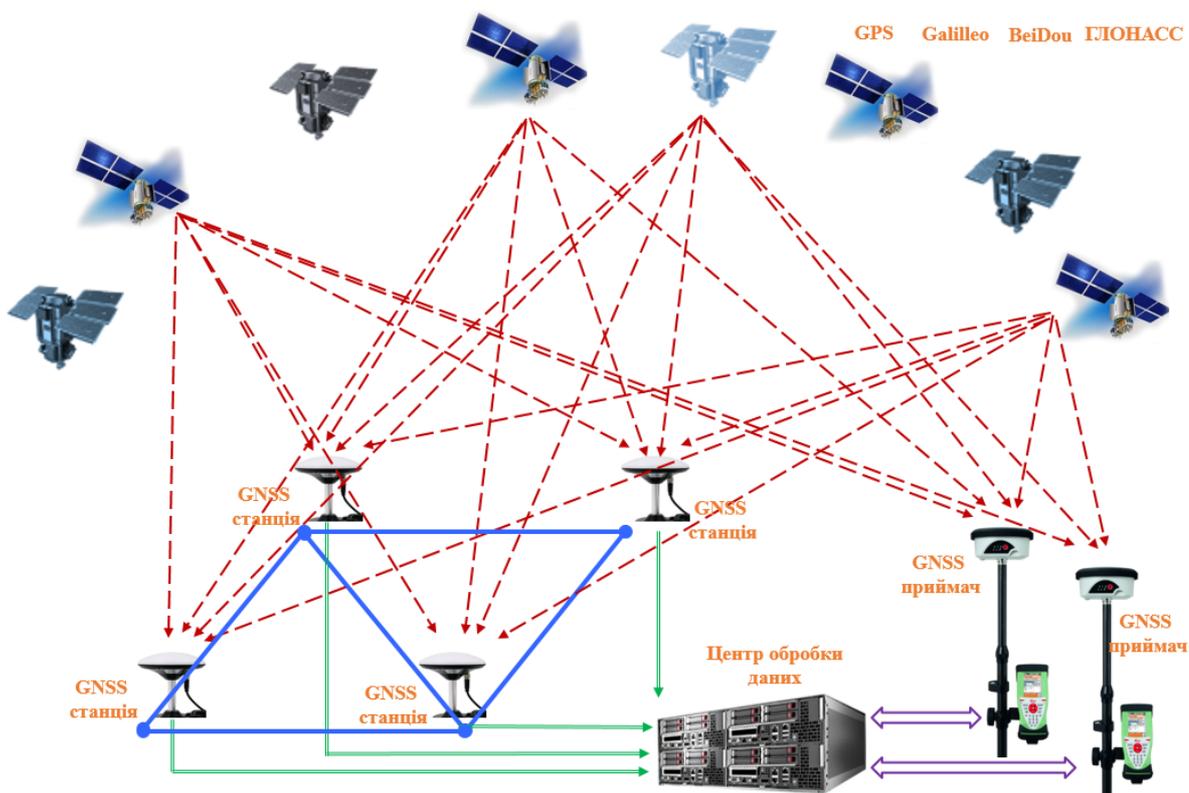


Рис.1.4. Принципи роботи систем диференційних корекцій

Завдяки використанню RTK топографічна зйомка стала значно оперативнішою: вимірювання відбуваються у реальному часі, виключено необхідність у складних геометричних побудовах, а результати одразу доступні для перенесення у ГІС, САПР та програмні комплекси землеустрою.

Автоматизація супутникових технологій забезпечила перехід від традиційних оптико-геодезичних методів до інтегрованих цифрових підходів.

Супутникові вимірювання стали основою:

- формування опорних мереж, які замінили полігонометрію, трилатерацію

та триангуляцію;

- проведення топографічної зйомки масштабів 1:500–1:5000 з високою точністю визначення планового та висотного положення точок;
- виносу проєктних рішень у натуру, трасування інженерних мереж, визначення осей споруд;
- створення цифрових моделей рельєфу та місцевості, сумісних з ГІС платформами;
- забезпечення кадастрових, землевпорядних і моніторингових робіт у територіальних громадах;
- моніторингу деформацій та геодинамічних процесів.

Завдяки GNSS та RTK-технологіям значно підвищилася продуктивність польових робіт: їх тривалість скоротилася у 2–4 рази, а отримана точність повністю відповідає вимогам сучасних нормативних документів щодо топографічної зйомки.

Висновки до Першого розділу

Встановлено, що топографо-геодезичні роботи становлять наукову та методологічну основу системи землеустрою, забезпечуючи точне відтворення просторових характеристик території. Аналіз науково-теоретичних засад підтвердив, що ефективне землевпорядкування можливе лише за наявності розвиненої геодезичної інфраструктури, яка включає геодезичні мережі, методи польових та дистанційних вимірювань, процедури камеральної обробки та механізми інтеграції геопросторових даних у кадастрові й планувальні системи. Значну роль відіграє застосування ГНСС-технологій та інженерно-геодезичних підходів, що забезпечують підвищення точності, оперативності й достовірності результатів. Сформульовані теоретичні положення створюють фундамент для подальшого дослідження сучасних технологій позиціонування, зокрема RTK, які становлять основу цифрової трансформації землеустрою.

Встановлено, що структура геодезичних мереж — від державної до знімальної — визначає стабільність просторової основи землеустрою, а методи їх побудови (полігонометрія, триангуляція, трилатерація, різновиди нівелювання) забезпечують достовірність координатної основи для подальших вимірювань. Окремий акцент зроблено на ролі супутникових методів, які значною мірою замінюють традиційні підходи, підвищуючи точність та продуктивність робіт. Узагальнюючи, можна стверджувати, що сучасна методологія топографо-геодезичних робіт є інтегрованою системою, яка поєднує класичні та інноваційні технології, забезпечуючи високий рівень якості землевпорядної документації.

Розвиток супутникових технологій — GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou — радикально трансформував систему топографо-геодезичних робіт, забезпечивши автоматизацію вимірювань, підвищення точності та суттєве скорочення часу польових робіт. GNSS-приймачі нового покоління дозволяють отримувати високоточні координати у складних умовах, а технологія RTK забезпечує сантиметровий рівень точності в режимі реального часу, що робить її найбільш ефективним інструментом для топографічних, кадастрових та землевпорядних робіт.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ТА ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ

2.1. Просторова локалізація та фізико-географічна характеристика земельної ділянки, як об'єкту виконання топографо-геодезичних та кадастрових вимірювань

Запроєктована земельна ділянка розташована за межами населеного пункту села Ненадиха Тетіївської територіальної громади Білоцерківського району Київської області (рис. 2.1).

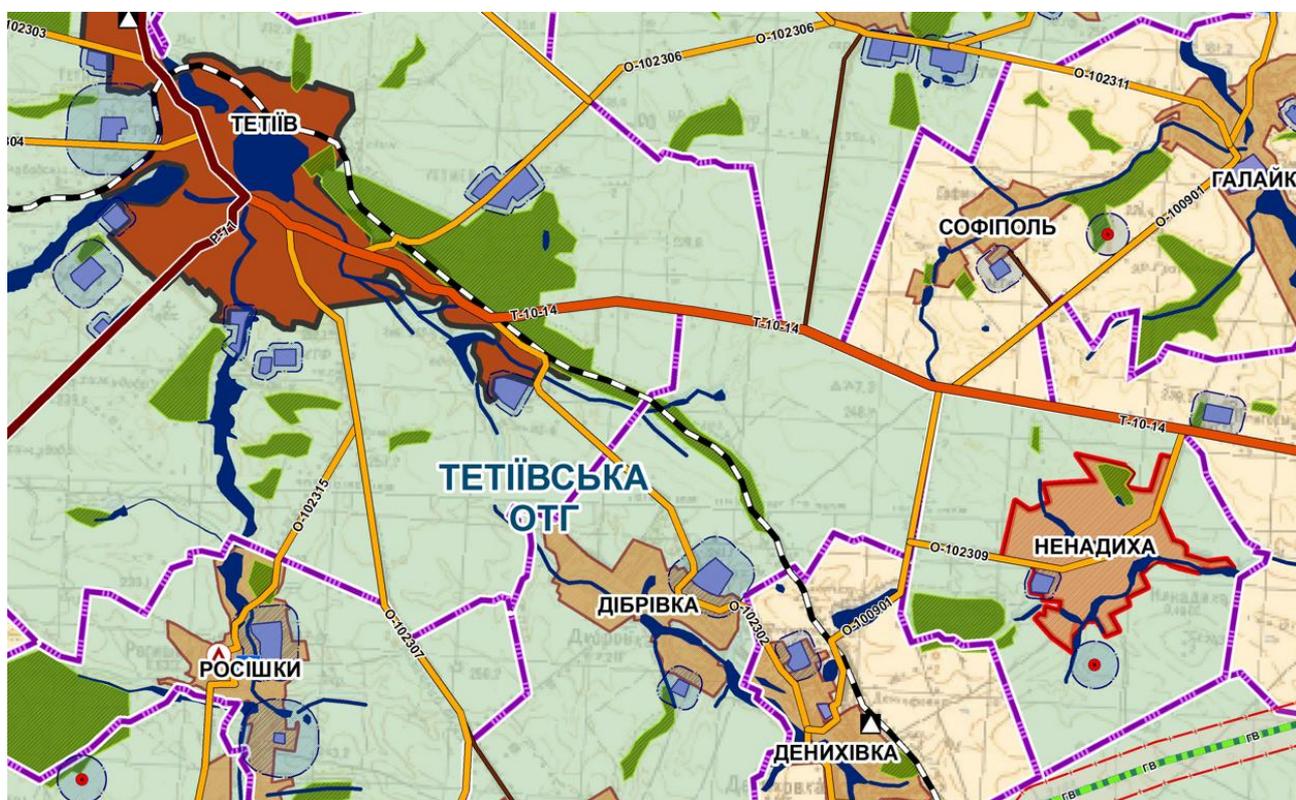


Рис. 2.1. Схема розташування земельної ділянки

Джерело: [36].

Село Ненадиха знаходиться у східній частині Тетіївського району та характеризується складним хвилястим рельєфом з наявністю тальвегів і локальних балкових форм рельєфу. Абсолютні висотні відмітки змінюються у межах 198,0–242,0 м, що свідчить про виражену вертикальну членованість поверхні. Загальний ухил місцевості орієнтований у напрямку водоприймачів,

розташованих у центральній частині населеного пункту. Територія належить до зони Лісостепу та вирізняється поєднанням відкритих агроландшафтів і фрагментів лісових масивів.

У геоструктурному відношенні досліджувана територія приурочена до північно-східної частини Українського кристалічного щита і, згідно з геоструктурною схемою Н. П. Семенченка, належить до області розвитку Бузьких північно-західних складчастих структур. Кристалічні породи виходять на денну поверхню у долинах річок та на підвищених ділянках платоподібних форм рельєфу, а в інших зонах перекриті потужними товщами третинних і четвертинних відкладів.

Кристалічний фундамент представлений комплексом порід, до складу якого входять рожеві середньозернисті граніти дніпровського типу, біотитові та роговобманкові гнейси, ін'єкційні гнейси й мігматити. У межах території поширені ксеноліти гнейсів різних розмірів, а також пластові та жильні пігматитові утворення потужністю до 1,5 м. Найдавніші породи представлені темно-сірими біотитовими та роговобманковими гнейсами.

Третинні відклади пов'язані переважно з харківським та полтавським ярусами. Харківський ярус характеризується зеленуватими й охристими дрібнозернистими глинистими пісками, тоді як полтавський представлений дрібнозернистими пісками білого, жовтого та сіруватого кольору. Четвертинні утворення суцільно покривають територію та складаються із суглинків, пісків і глин, що мають ключове значення при інженерно-геологічній оцінці земельних ділянок.

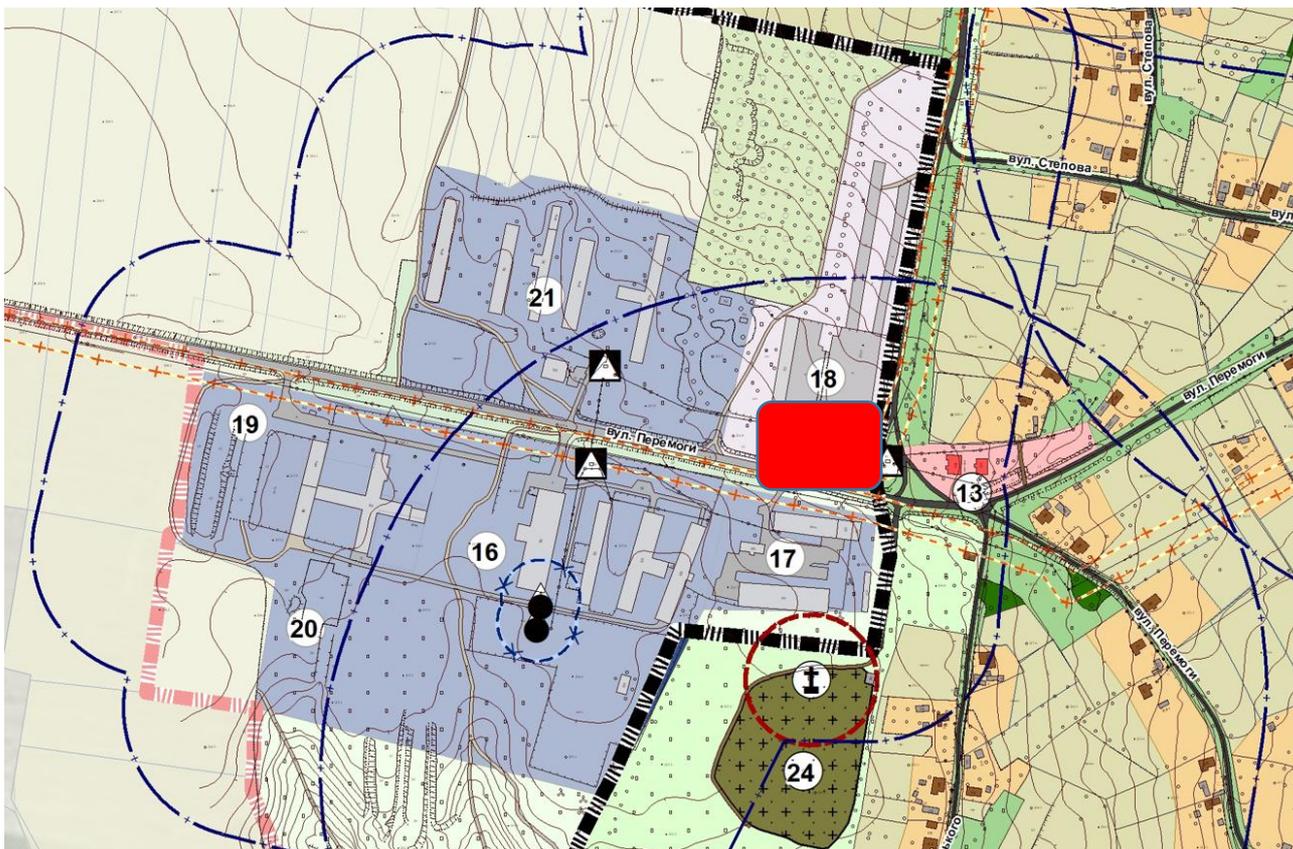


Рис. 2.2. Викопіювання з Генерального плану населеного пункту

Джерело: [36].

Земельна ділянка, що підлягає відведенню, характеризується такими кадастровими параметрами:

Кадастровий номер: 3224684800:03:006:_____

Місце розташування: вул. Перемоги, 30, с. Ненадиха, Білоцерківський район, Київська область;

Категорія земель: землі сільськогосподарського призначення;

Цільове призначення: для ведення товарного сільськогосподарського виробництва (господарські будівлі і двори), код 01.01;

Склад угідь: землі під господарськими будівлями і дворами (КВЗУ 013.00);

Форма власності: інформація відсутня.

Ділянка має прямокутну конфігурацію; її межі проходять по суходолу, що забезпечує безперешкодну організацію території та проведення землеустрою. Під'їзд до ділянки здійснюється через землі загального користування, що

відповідає вимогам щодо доступності та транспортної інфраструктури.

Встановлено, що проєктована до відведення ділянка не розташована в межах територій природно-заповідного фонду, земель іншого природоохоронного, історико-культурного, лісогосподарського призначення, а також поза межами водоохоронних та прибережних захисних смуг. На її території відсутні водні об'єкти та багаторічні насадження.

Усі обмеження у використанні земельної ділянки відображено у Кадастровому плані (додаток Б) та у відповідному переліку обмежень, що є складовою Проєкту землеустрою щодо її відведення.

2.2. Організація та алгоритм виконання топографо-геодезичних вишукувань при розробленні проєкту землеустрою

У процесі розроблення документації із землеустрою «Проєкт землеустрою щодо відведення земельної ділянки в оренду громадянину загальною площею 0,4000 га для ведення товарного сільськогосподарського виробництва (господарські будівлі і двори)», що розташована за адресою: вул. Перемоги, 30, с. Ненадиха Білоцерківського району Київської області, відповідно до Рішення Тетіївської міської ради, було виконано комплекс топографо-геодезичних робіт.

Кадастрове знімання земельної ділянки – це комплекс геодезичних робіт, які дозволяють скласти підоснову (детальну карту місцевості) для виконання в подальшому інженером-землевпорядником кадастрових робіт по межуванню земельної ділянки.

У результаті виконання робіт ми отримуємо детальну електронну карту місцевості із нанесеною ситуацією – будівель та споруд, елементів ландшафту, які присутні на досліджуваній території.

Зазначені роботи проводились згідно з вимогами Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 N 1675 від 17.04.2025 р. [27].

Перед початком польових робіт проведено рекогносцування території, у ході якого встановлено межі ділянки знімання, оцінено доступність пунктів

опорної геодезичної мережі та визначено оптимальні технологічні підходи до реалізації знімальних процесів. Під час виконання топографо-геодезичних вишукувань застосовувалися сучасні GNSS-приймачі, спеціалізоване програмне забезпечення та офісне обладнання, перелік яких подано в таблиці 2.1.

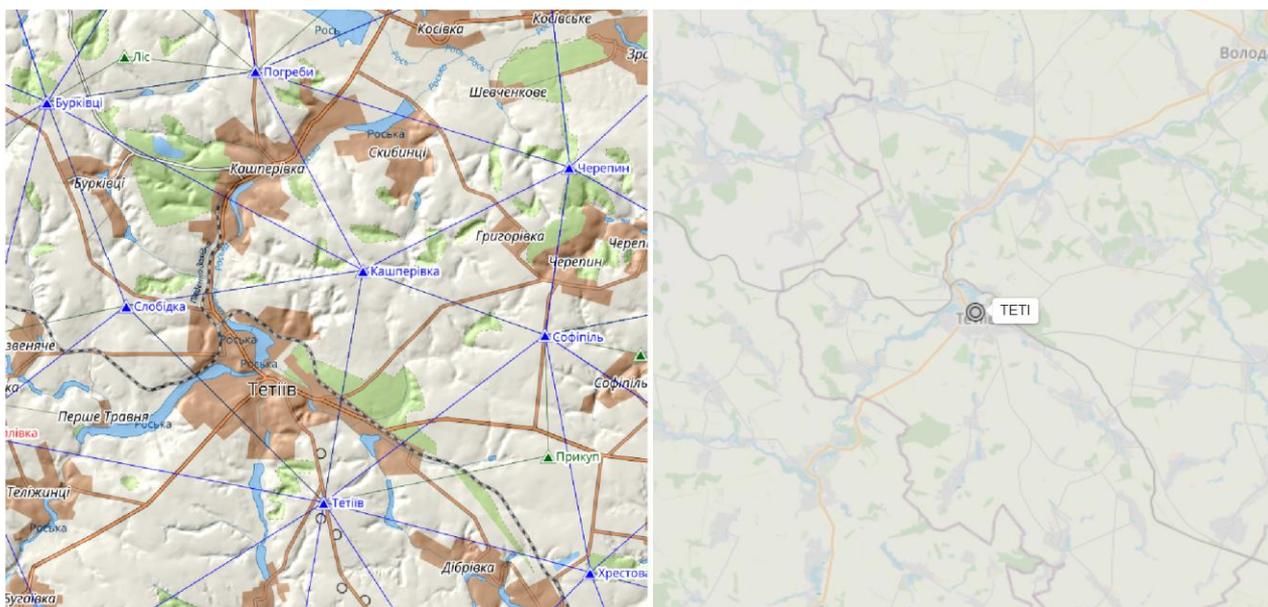
Таблиця 2.1.

Перелік геодезичних інструментів, що використовувалися в процесі виконання землевпорядних послуг

№ п/п	Назва	Кількість	Технічний стан	Право користування
1	GNSS-приймачем CHCNAV I50 Зав. №3390096	1	відмінний	власність
2	Робоча станція, принтери, ксерокси, факс, телефони, рації та інша офісна техніка	4	відмінний	власність
3	Спеціалізоване ліцензійне програмне забезпечення, необхідне для виконання робіт Delta/Digitals Professional XE	4	відмінний	власність

Джерело: Розроблено автором на основі текстових матеріалів [36].

Польові геодезичні роботи виконані у червні 2024 року з використанням GNSS-приймача Chcnav i50 (серійний №3390096), підключеного до мережі перманентних референцних GNSS-станцій. Вимірювання проводилися у режимі RTK, що забезпечує отримання диференційних поправок для визначення просторового положення точок з сантиметровою точністю у реальному часі. Сигнали поправок надходили від базової станції TETI та через мережеві рішення Automaх, I-Maх, VRS, що надаються мережею System NET ПрАТ «Систем Солюшнс» [61].



а)

б)

Рис. 2.3. Схема планово-висотного обґрунтування.

а) Схема ДГМ

б) Базова станція ТЕТІ

Джерело: [36].

Методика вимірювань відповідає вимогам Порядку використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000, затвердженого наказом Мінагрополітики від 02.12.2016 № 509.

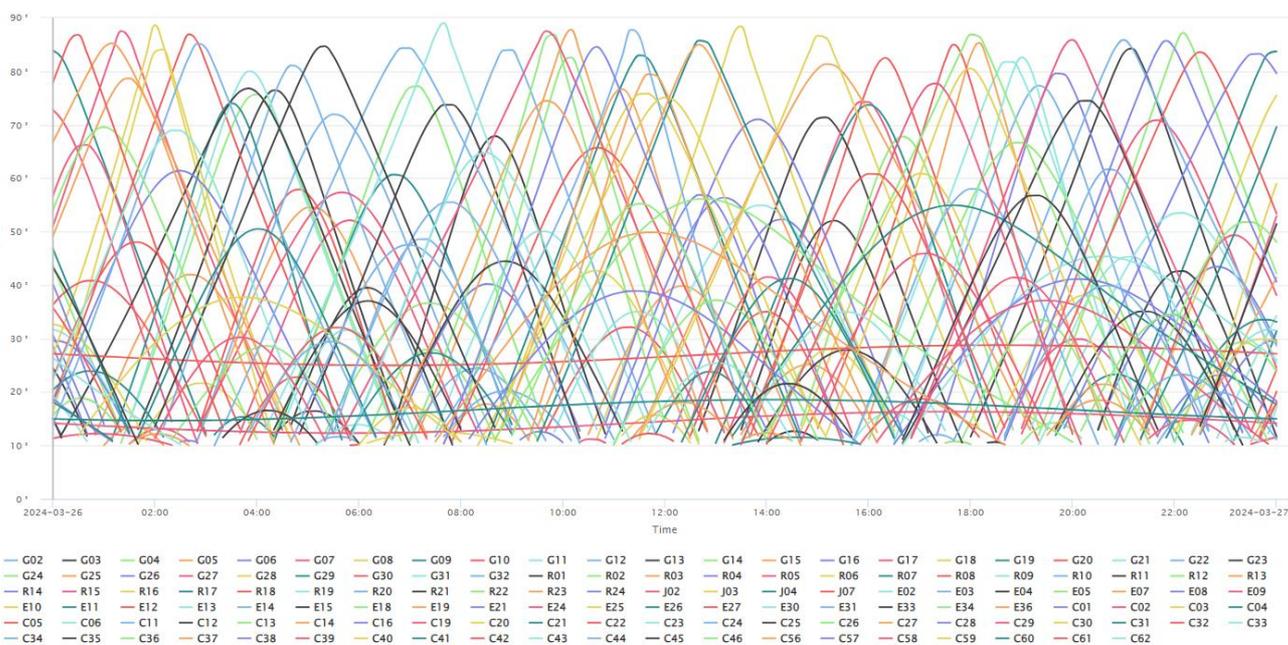


Рис. 2.3. Показники кількісного складу супутників

Джерело: [36].

Землевпорядні роботи виконані у системах координат СК-63 та УСК-2000, що забезпечує відповідність вимогам геодезичного забезпечення землеустрою. Контроль диференційного поля координатних поправок під час RTK-спостережень здійснювався на двох найближчих пунктах Державної геодезичної мережі (ДГМ) та мережі згущення — Бурківці, Кашперівка, Тетіїв. Їх каталогові та вимірні координати наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

**Система координат- UA СК-63 (Район X; 3 зона, проекція Гаусса-Крюгера)
Система висот- Балтійська 1977 р.**

№	Ідентифікатор пункту	Координати пункту (каталог)		Координати пункту (вимірні)	
		X, м	Y, м	X, м	Y, м
1	Бурківці	5 470 5 ^{**} .004	3 306 1 ^{**} .122	5 470 5 ^{**} .004	3 306 1 ^{**} .122
2	Кашперівка	5 465 3 ^{**} .656	3 315 8 ^{**} .181	5 465 3 ^{**} .656	3 315 8 ^{**} .181
3	Тетіїв	5 458 1 ^{**} .641	3 314 7 ^{**} .962	5 458 1 ^{**} .641	3 314 7 ^{**} .962

Джерело: Розроблено автором на основі текстових матеріалів [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Для формування коригувальних поправок застосовано технологію MAX, стандартизовану комітетом RTCM 104 для GNSS-мереж. Дана технологія дозволяє одночасно використовувати сигнали від декількох базових станцій з автоматичним визначенням головної (Master) та допоміжних (Auxiliary), залежно від положення рухомого приймача.

Таблиця 2.3.

Відомості про базову станцію

Ім'я	Компоненти	Помилка	Статус
ТЕТІ	Схід 55800 ^{**} ,378	0.000	ФІКС
	Північ 33834 ^{**} ,668	0.000	ФІКС
	Еліпсоїдальна висота 144,95	0.000	ФІКС

Джерело: Розроблено автором на основі текстових матеріалів [36].

У процесі польових робіт також проведено огляд ділянки на предмет наявності електромереж (0,4 кВ і вище), лінійних інженерних комунікацій та інших об'єктів, що можуть встановлювати обмеження у використанні земель.

Середньоквадратична похибка визначення координат поворотних точок меж земельної ділянки відносно пунктів ДГМ не перевищує 0,3 м, що відповідає чинним нормативним вимогам.

Таблиця 2.4.

Відомість вирахування площі земельної ділянки

Землевласник(землекористувач): ТЕТІВСЬКА МІСЬКА РАДА

№ п/п	Координати		Різниці		Добутки	
	X	Y	$X_{k-1}-X_{k-1}$	$Y_{k-1}-Y_{k-1}$	$X*(Y_{k-1}-Y_{k-1})$	$Y*(X_{k-1}-X_{k-1})$
1	2	3	4	5	6	7
1	5457014,230	3324967,620	-56,570	32,080	175061016,498807	-188093418,264391
2	5457063,070	3324976,380	-43,370	-32,730	-178609674,280998	-144204225,597875
3	5457057,600	3325000,350	18,930	-82,910	-452444645,616813	62942256,627606
4	5457044,140	3325059,290	22,820	-58,010	-316563130,560180	75877852,995694
5	5457034,780	3325058,360	24,530	6,170	33669904,592193	81563681,568570
6	5457019,610	3325053,120	35,360	12,530	68376455,712182	117573878,324315
7	5456999,420	3325045,830	13,110	44,660	243709594,098013	43591350,832415
8	5457006,500	3325008,460	-14,810	78,210	426792478,364797	-49243375,294334
			$\Sigma=0,000$	$\Sigma=0,000$	$\Sigma=-8001,192000$	$\Sigma=8001,192000$
					$S=0,4001$ га	$S=0,4001$ га

Джерело: сформоване авторами [36].

Для виконання вимірювань використовувався мобільний багаточастотний GNSS-приймач із контролером, що працює в режимі ровера. Приймач забезпечував реєстрацію сигналів супутникових систем GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou. Опрацювання вимірювань здійснювалося з урахуванням коригувальних поправок базової станції, що забезпечило отримання координат у реальному часі з високою точністю.

На основі супутникових вишукувань сформовано каталоги координат поворотних точок меж земельної ділянки (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

Катадоги координат земельних ділянок

Назва	X, м	Y, м	СКП в плані, м
1	5 457 01*,23	3 324 **7,62	0,021
2	5 457 06*,07	3 324 9**,38	0,018
3	5 457 0**,60	3 325 0**,35	0,021
4	5 457 044,14	3 325 0**,29	0,018
5	5 457 0**,78	3 325 0**,36	0,021
6	5 457 0**,61	3 325 0**,12	0,018
7	5 456 999,42	3 325 0**,83	0,021
8	5 457 0**,50	3 325 0**,46	0,018

Джерело: сформоване авторами [36].

У результаті виконання камерального опрацювання одержано:

- відомість координат точок, визначених за допомогою GNSS-приймачів;
- відомість обчислення координат точок кутів поворотів, необхідних для встановлення зовнішніх меж земельної ділянки;
- можливість трансформації координат із системи СК-63 в УСК-2000 або інші системи координат відповідно до технічного завдання.

2.3. Інтеграція RTK-даних у проведення камеральних робіт та підготовка графічних матеріалів для проєктів землеустрою

Отримані в польових умовах RTK-вимірювання становлять основну інформаційну базу для камерального опрацювання матеріалів топографо-геодезичних робіт та формування графічної і текстової складових проєкту землеустрою. У процесі інтеграції високоточних координат, зафіксованих GNSS-приймачем у режимі RTK, виконано просторове позиціювання ключових контурів та лінійних елементів території.

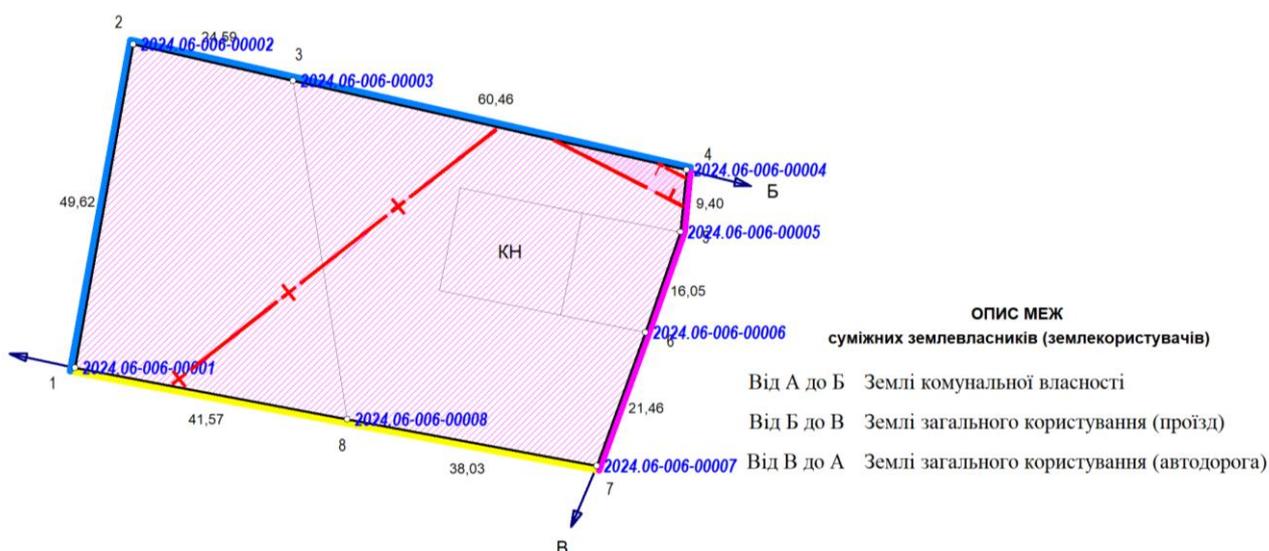


Рис 2.1. Виколювання з Кадастрового плану земельної ділянки

Джерело: [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Зокрема, відрізок **Б–В** віднесено до категорії земель загального користування (проїзд), тоді як відрізок **В–А** відповідає землям загального користування (автомобільна дорога). Геометрія меж земельної ділянки встановлена відповідно до фактичного землекористування — по існуючій огорожі та конфігурації контурів, визначених землекористувачем. Усі визначені точки меж у подальшому підлягають винесенню в натуру та закріпленню межовими знаками.

Відповідно до статті 46 Закону України «Про землеустрій», результати встановлення або зміни меж земельних ділянок уносяться до Державного земельного кадастру; відомості про межі відображаються у витягу з ДЗК, який надається землекористувачу безоплатно. Це передбачає необхідність формування коректних просторових даних і суворе дотримання процедур їх стандартизованого подання.

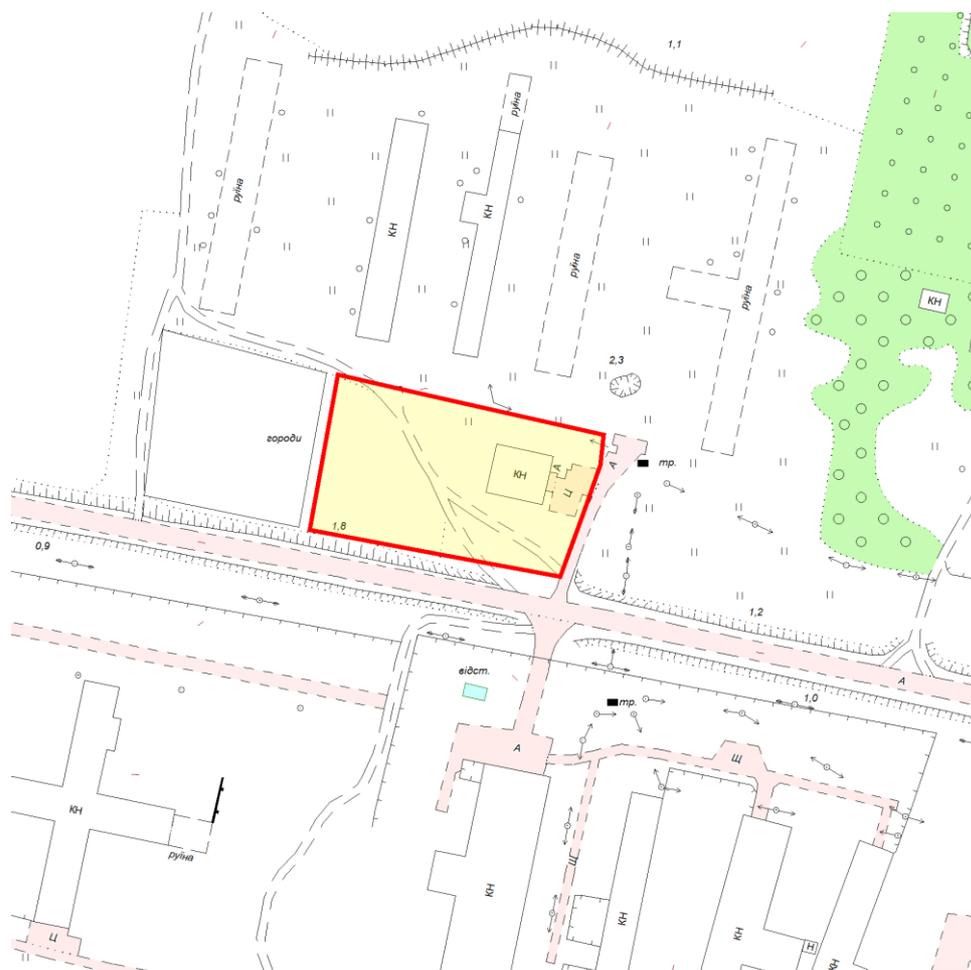


Рис 2.2. Креслення земельної ділянки, що відводиться 1:2000

Джерело: [36].

На камеральному етапі здійснено комплексне опрацювання RTK-координат та їх зіставлення з додатковими матеріалами польових робіт. У результаті підготовлено планово-картографічні матеріали, що містять:

- чітко зафіксовані межі земельної ділянки;
- лінійні проміри її периметра;
- площу ділянки, визначену у спеціалізованому програмному забезпеченні;
- каталог координат поворотних точок меж;
- відомості про суміжних землевласників і землекористувачів;
- перелік наявних обмежень і обтяжень у використанні земель;
- експлікацію угідь та структуру земель за проектом землеустрою.

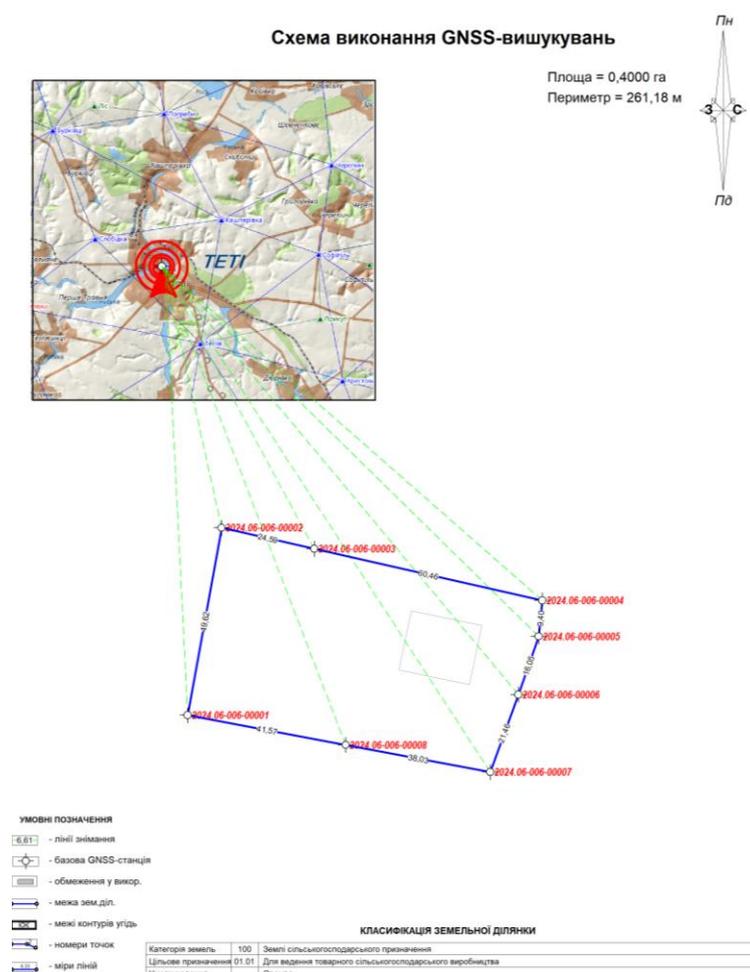


Рис 2.3. Креслення земельної ділянки, що відводиться 1:2000

Джерело: [36].

Площа ділянки, обчислена за координатами RTK-вимірювань на ПЕОМ, становить **0,5000 га**, що підтверджено відповідними камеральними розрахунками. На основі отриманих даних сформовано електронний обмінний файл у форматі XML для державної реєстрації земельної ділянки відповідно до встановлених технічних вимог. Цільове призначення земель встановлено згідно з чинним Класифікатором видів цільового призначення земель.

Інтеграція RTK-даних у камеральну обробку значно підвищує точність формування просторових об'єктів, забезпечує повну відповідність матеріалів вимогам кадастрової реєстрації та сприяє стандартизації підготовки графічних матеріалів у проєктах землеустрою.

Висновки до Другого розділу

Розроблення проєктної документації із землеустрою неможливе без комплексного виконання топографо-геодезичних робіт, які забезпечують отримання достовірних, просторово прив'язаних даних про земельну ділянку. Сукупність цих робіт включає просторову локалізацію об'єкта вивчення, збирання та аналіз природних і геологічних характеристик території, організацію та проведення польових вимірювань, а також подальшу камеральну обробку RTK-даних для створення картографічних матеріалів проєкту.

Просторова локалізація території та її фізико-географічні умови є ключовими факторами, що визначають специфіку організації геодезичних робіт, вибір технологічних рішень під час знімання та особливості подальшого опрацювання матеріалів. Аналіз рельєфу, геологічної будови, типів ґрунтових відкладів і природних обмежень дозволяє оцінити інженерно-геодезичні умови та забезпечує наукове обґрунтування топографічного знімання.

Присвячено методиці організації та проведення топографо-геодезичних робіт, які виконуються у процесі формування проєкту землеустрою. Сучасні вимоги кадастрового знімання передбачають комплексний підхід — від рекогностування території до RTK-вимірювань та контролю точності отриманих координат. Опис технологічних етапів, обладнання та програмного забезпечення дозволяє оцінити повноту та якість проведених польових робіт, а також забезпечити відповідність результатів нормативним критеріям точності.

Інтеграція RTK-координат у камеральне опрацювання дала змогу створити повний комплекс графічних і текстових матеріалів, необхідних для проєкту землеустрою. Оброблені дані забезпечили точне відтворення геометрії меж земельної ділянки, визначення її площі та формування каталогу координат поворотних точок. На їх основі підготовлено креслення земельної ділянки в масштабі 1:2000, кадастровий план та електронний XML-файл, передбачений технічними регламентами державної реєстрації земель.

РОЗДІЛ 3

НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ RTK

3.1. Методичні принципи вдосконалення технології RTK у виконанні топографо-геодезичних робіт для проєктів землеустрою

Удосконалення методів виконання топографо-геодезичних робіт із використанням RTK-технологій є одним із ключових напрямів розвитку сучасного цифрового землеустрою. Сучасні виклики, пов'язані з необхідністю підвищення точності, оперативності та надійності геодезичних вимірювань, потребують формування оновлених підходів до реалізації RTK-вимірювань як у польових, так і в камеральних процесах [48; 51]. Це забезпечує перехід до нової парадигми геодезичних робіт, яка базується на інтеграції GNSS-систем, високоточних корекцій, автоматизованої обробки даних та інтелектуальних алгоритмів контролю якості.

Методичні принципи вдосконалення RTK-технологій включають низку ключових складових. Передусім важливим є оптимізація конфігурації польових вимірювань, що передбачає вибір типу GNSS-приймачів, протоколів корекцій, а також врахування геодинамічних умов території зйомки [46;11]. Важливим елементом є аналіз стабільності супутникового сузір'я, мінімізація впливу мультипасингу та радіоперешкод, що дозволяє забезпечити стійкий фіксований розв'язок [17]. Передусім важливим є оптимізація вибору конфігурації польових вимірювань, що передбачає встановлення стратегії використання одно- та багаточастотних приймачів, налаштування протоколів отримання диференційних поправок, врахування геодинамічних та орографічних особливостей території зйомки. Особлива увага приділяється аналізу стабільності та геометрії супутникового сузір'я, а також способам мінімізації впливу мультипасингу, радіоперешкод і локальних перешкод у прийомі сигналу.

Другим напрямом є впровадження систем автоматизованого контролю якості RTK-позиціонування.

До таких алгоритмів належать:

- перевірка внутрішньої узгодженості спостережень;
- фільтрація «плаваючих» рішень та перехід до фіксованого розв'язку;
- геостатистичний аналіз стійкості координат;
- застосування адаптивних фільтрів для компенсації випадкових та систематичних похибок [2].

Особливої важливості набуває використання мережевих RTK-сервісів (VRS, iMAX, MAX), що забезпечують однорідну точність у межах великих територій та зменшують залежність від однієї базової станції [59; 27]. Це значно підвищує надійність результатів у складних умовах рельєфу та забудови.

Третім принципом є інтеграція RTK-вимірювань у цифрові геоінформаційні системи та кадастрові платформи, що включає уніфікацію форматів даних, автоматизацію імпорту координат та забезпечення відповідності даних проєкційним системам [54].

Перспективним напрямом є використання штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування точності сигналу, оцінювання похибок та оптимізації польових маршрутів, що вже активно впроваджується у світовій геодезичній практиці [47; 5].

Таким чином, удосконалення RTK-технологій є необхідною умовою підвищення ефективності топографо-геодезичних робіт, забезпечення точності проєктів землеустрою та розвитку цифрової кадастрово-геодезичної інфраструктури України [62]. Методичні принципи вдосконалення RTK-технологій дозволяють забезпечити ефективну реалізацію топографо-геодезичних робіт при розробленні проєктів землеустрою, створюючи базу для цифрового моделювання територій, формування кадастрових даних та автоматизації просторово-аналітичних процедур. У сучасних умовах впровадження інноваційних RTK-підходів стає не лише технічною перевагою, а

й необхідністю для забезпечення високої якості землевпорядної документації.

3.2. Оцінювання точності, виявлення похибок та забезпечення надійності результатів РТК-вимірювань

В умовах сучасної топографо-геодезичної діяльності, що здійснюється відповідно до затвердженого Порядку топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, особливе значення набуває оцінювання точності, виявлення систематичних і випадкових похибок РТК-вимірювань та впровадження процедур, що забезпечують надійність результатів. Належний контроль точності даних є обов'язковим для виконання робіт із землеустрою, кадастрових знімів та підготовки графічних матеріалів.

Згідно з п. 4 розділу I та додатками Порядку, який набрав чинності після публікації (Наказ № 1675), топографічні зйомки повинні виконуватись з дотриманням визначених вимог до геодезичної основи, точності та якості продукції зйомки. (utgk.org.ua) У випадку застосування супутникових технологій, таких як РТК-GNSS-спостереження, ця нормативна база зобов'язує забезпечувати:

- формування планово-висотної геодезичної мережі згідно з класом точності;
- ведення реєстру вихідних спостережень, включаючи систему координат (СК-63, УСК-2000 або інші, узгоджені з УСК-2000);
- формування каталогу координат точок, що використані для топографічного плану, із зазначенням класу точності вимірювань.

У межах камеральної обробки РТК-даних аналізують:

- ступінь фіксації фазових неоднозначностей (режим Fixed);
- геометричні коефіцієнти якості супутникової групи (PDOP, HDOP, VDOP);
- залишкові похибки (residuals) після обробки даних;
- статистичні показники: середньоквадратична помилка, стандартне відхилення і векторні різниці між вимірюваннями.

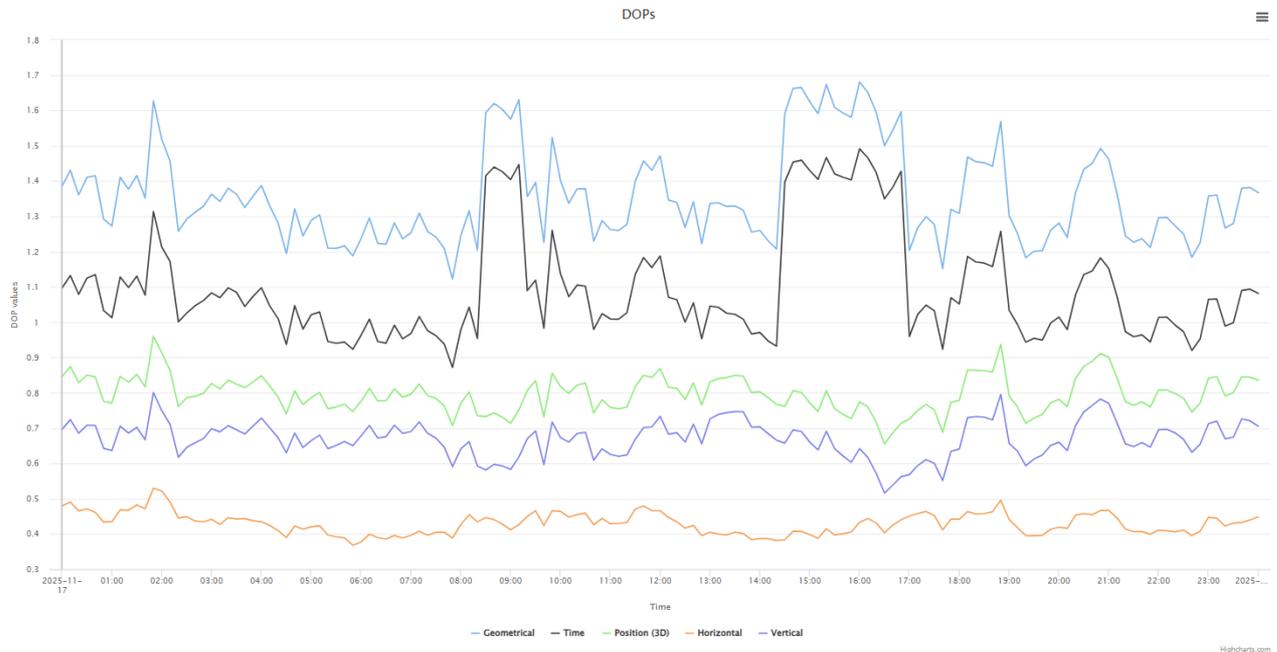


Рис 3.1. Графік геометричних коефіцієнтів якості супутникової групи
Джерело: [62].

Попередній контроль: перевірка стану обладнання (антена, приймач), забезпечення безперешкодної видимості супутників.

Повторні вимірювання окремих ключових точок меж земельної ділянки для контролю збіжності результатів.

Камеральна перевірка: зіставлення RTK-координат з даними опорної мережі, аналіз векторних розбіжностей. Якщо в межах масштабу зйомки 1:1000 допускається розбіжність до 0,02-0,03 м, результати з більшими відхиленнями підлягають повторній перевірці.

Відповідно до додатка 12 Порядку, формується протокол супутникових спостережень і контролю якості [25].

Типові похибки та їхнє джерело:

Атмосферні похибки — іоносферні та тропосферні затримки сигналу, що враховуються при корекції RTK-мереж.

Мультипас — значний при вимірюваннях поблизу інфраструктури або в умовах обмеженої видимості.

Геометрія супутникової конфігурації — високі значення PDOP обмежують точність.

Інструментальні похибки — пов'язані з характеристиками GNSS-антени, приймача, кабелів, штативів.

Методично-організаційні похибки — невірне встановлення висоти антени, порушення технології спостереження, недостатній час збору даних.

Використання мережевих RTK-рішень (VRS/MAC/FKP) з мінімізацією базової лінії, що дозволяє зменшити атмосферні впливи.

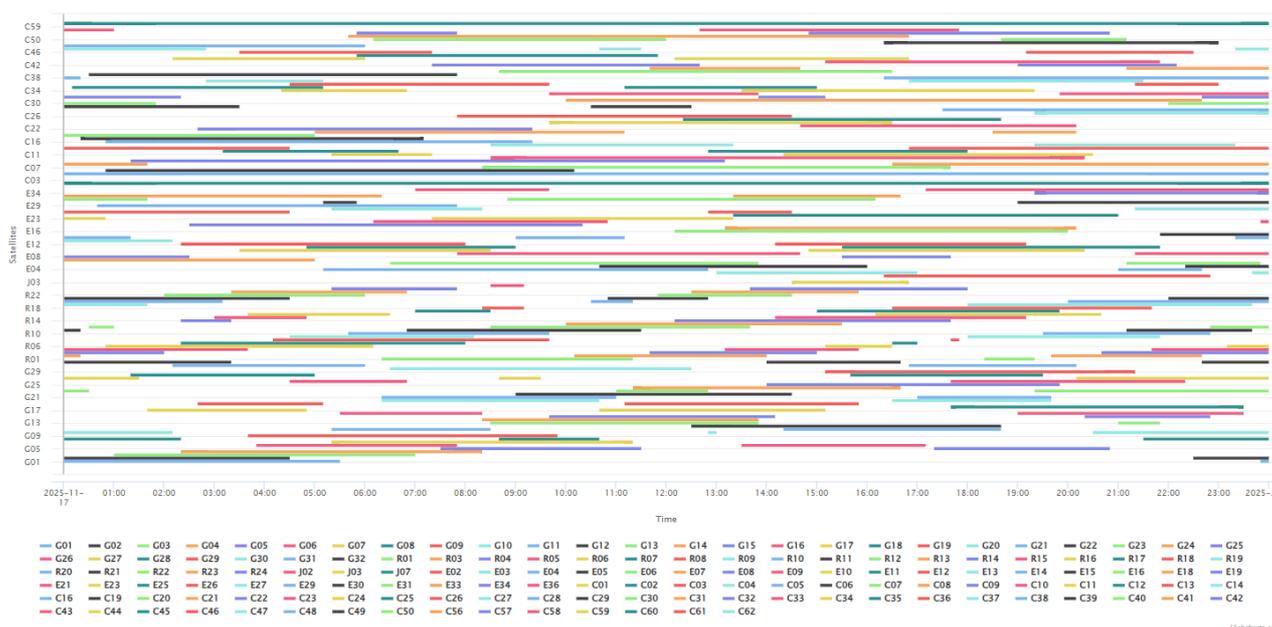


Рис 3.1. Графік видимості GNSS-ровером супутникової групи

Джерело: [62].

Забезпечення видимості супутників, уникнення зон затінення та мультипасу.

Регулярна калібрування та сертифікація обладнання.

Виконання резервних вимірювань на контрольних пунктах.

Камеральний аналіз та відсіювання точок із залишковими похибками вище допустимих меж.

Надійність RTK-результатів має ключове значення для формування подальших графічних матеріалів: топографічних планів, кадастрових планів, електронних обмінних файлів (XML) для реєстрації у Державному земельному кадастрі [19]. Зокрема, Порядок встановлює вимогу до документування:

- каталогу координат пунктів, які використовувались у зйомці;
- експлікації угідь і структури земель за цільовим призначенням;
- протоколу супутникових спостережень та контролю якості.

Підтримка надійності передбачає також залучення результатів перевірки від опорних пунктів ДГМ та геодезичних мереж згущення, які мають атестовані координати.

3.3. Інтеграція RTK- технології для отримання ДЗЗ, БПЛА, LiDAR та GNSS-даних у процесах цифрового землеустрою

Інтеграція високоточної RTK-технології у процеси збору та обробки просторових даних стала ключовим етапом розвитку сучасного цифрового землеустрою. Упровадження RTK як основи високоточних GNSS-вимірювань забезпечує можливість поєднання різних джерел геопросторової інформації — даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), результатів аерофотознімання БПЛА, хмар точок LiDAR та супутникових траєкторій GNSS-систем. Така мультисенсорна інтеграція дозволяє підвищити точність моделювання рельєфу, покращити достовірність кадастрових вимірювань і забезпечити оперативне оновлення просторових даних для проєктів землеустрою.

З огляду на зростаючу потребу територіальних громад, кадастрових органів та землевпорядних організацій у високоточних цифрових моделях місцевості, удосконалення методологічних підходів до інтеграції RTK-систем у комплексні геодезичні платформи стає актуальним завданням. У цьому підрозділі розглянуто теоретичні основи RTK-позиціонування, можливості синхронізації його з іншими видами геопросторових даних та методичні принципи застосування інтегрованих технологій у землевпорядній практиці.

RTK (Real-Time Kinematic) — технологія супутникового позиціонування, яка забезпечує сантиметрову точність координат у реальному часі за рахунок диференційних поправок від базової GNSS-станції.

У контексті землеустрою RTK дозволяє оперативно отримувати високоточні

координати опорних пунктів, що суттєво підвищує ефективність топографо-геодезичних зйомок.

В Україні існують сервіси RTK-корекцій (наприклад, мережа System.NET), які надають поправки GNSS-мережі для ровера, що дозволяє геодезістам працювати з високою точністю без необхідності створювати власні базові станції [61].

У сучасних дослідженнях пропонується інтеграція GNSS-RTK з іншими сенсорними даними (LiDAR, INS, IMU) для забезпечення безперервного та точного позиціонування навіть в умовах обмеженого супутникового сигналу. Наприклад, Zhang J. та ін. (2022) розробили схему, в якій GNSS-RTK адаптивно інтегрується з LiDAR/IMU-одометрією, що дозволяє стабільне позиціонування в міських “каньйонах” [64].

Також розглянуто мультисенсорні системи для БПЛА: у дослідженні MDPI описано інтеграцію GNSS, INS та LiDAR для побудови точної траєкторії дронів й 3D-карт місцевості.

При цьому важливим є якісний часовий (time-stamp) супровід даних: всі сенсорні потоки (LiDAR, GNSS, інерційні дані) мають бути синхронізовані, щоб гарантувати коректне поєднання інформації під час обробки.

БПЛА, обладнані RTK-GNSS, широко використовуються для аерофотозйомки з високою точністю: це дозволяє коригувати положення центру кадру в реальному часі під час польоту. У статті про оцінку точності RTK/PPK у проєктах UAV-фотограмметрії показано, що завдяки RTK можна значно зменшити похибку позиціонування.

Дослідження з прив’язкою LiDAR-сканування дронів із RTK модулями демонструє можливість створення точних 3D моделей рельєфу, що корисно для землевпорядкування, особливо на ділянках зі складним рельєфом. Наприклад, в одному з досліджень застосовували дрон з RTK і невеликим LiDAR-модулем для вимірювання хвиль і припливів, але аналогічні підходи можуть бути адаптовані для кадастрових і топографічних задач.

Порівняльне дослідження показало, що похибки висотної координати між

UAV-LiDAR і GNSS-RTK знаходяться в межах декількох сантиметрів (вільна місцевість) або десятків сантиметрів (густіша рослинність) — що вказує на потенціал комбінованого підходу [55].

Проектування польотів БПЛА: необхідно планувати маршрути польоту таким чином, щоб дрон мав постійний зв'язок із RTK-роувером або базою. При плануванні використовуються контрольні точки (GCP) або RTK-опорні пункти, координати яких отримані з GNSS у реальному часі.

Синхронізація даних: дані LiDAR, GNSS (RTK) та, за потреби, INS повинні бути таймштамповані та об'єднані під час камеральної обробки. Методи інтеграції можуть базуватися на калманівському фільтрі або інших алгоритмах сторграфового згущення (factor graph), з урахуванням якості RTK-вимірювань.

Калібрування і валідація: проводиться тестування системи на еталонних ділянках (наприклад, відкритий простір, урбанізована зона) для визначення похибок позиціювання та корекції конфігурації датчиків.

Обробка та інтерпретація: інтегровані дані (хмара точок LiDAR, траєкторія RTK, можливо фото) використовуються для побудови цифрових моделей рельєфу, ортофотопланів, кадастрових карт. Ці моделі можуть аналізуватися в ГІС для подальшого землевпорядкування (наприклад, зонування, аналіз уклону, моніторинг змін).

Інтеграція RTK із LiDAR і GNSS дозволяє підвищити точність топографо-геодезичних даних, що особливо важливо для цифрового землеустрою, кадастру, картографії.

Використання БПЛА з RTK-модулями прискорює збори польових даних, знижує вартість і підвищує ефективність геодезичних робіт.

Завдяки адаптивній інтеграції можливо забезпечити стійке позиціювання в складних умовах (міські каньйони, слабкий GNSS-сигнал), що робить технологію придатною для сучасних проєктів землеустрою та розробки кадастру [64].

Проведений аналіз показує, що інтеграція RTK-технології з даними ДЗЗ, БПЛА, LiDAR та GNSS є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку

цифрового землеустрою. Висока точність RTK-позиціювання дозволяє суттєво підвищити якість геодезичних вимірювань, а поєднання різномірних джерел інформації створює можливості для формування багат шарових, аналітично насичених просторових моделей. Такі моделі забезпечують покращення кадастрових процедур, підвищують ефективність топографо-геодезичних робіт та сприяють створенню адаптивних систем управління земельними ресурсами. Результати аналізу доводять, що застосування інтегрованих RTK-систем сприяє значному скороченню польових витрат, підвищує оперативність обробки даних і забезпечує можливість точного картографування навіть у складних умовах рельєфу або урбанізованого середовища. Таким чином, інтеграція RTK-технології в комплекс цифрових інструментів землеустрою є важливим кроком до формування сучасної, ефективною та технологічно досконалою системи просторового управління.

Висновки до Третього розділу

Проведене дослідження показало, що вдосконалення RTK-технологій є ключовою умовою підвищення точності та ефективності топографо-геодезичних робіт у системі сучасного цифрового землеустрою. Основними методичними принципами оптимізації RTK-вимірювань є: раціональна конфігурація польових робіт, що передбачає вибір типу приймачів, оптимальних протоколів корекцій, низької геометрії супутникового сузір'я.

Аналіз методів контролю точності RTK-вимірювань засвідчив, що надійність супутникових спостережень є критичною умовою формування коректної топографо-геодезичної та кадастрової інформації. Нормативні вимоги, визначені Порядком топографічної зйомки, регламентують обов'язковість дотримання стандартів щодо точності геодезичної основи, ведення каталогів координат та документування супутникових спостережень.

Інтеграція RTK-технологій з даними ДЗЗ, БПЛА, LiDAR та багатосенсорними GNSS системами визначена як один із найперспективніших напрямів розвитку цифрового землеустрою. Проведений аналіз показує, що поєднання різних джерел просторової інформації дозволяє суттєво підвищити точність моделювання рельєфу, ефективність кадастрових робіт і якість просторово-аналітичних процесів.

Комплексний аналіз доводить, що інтегровані RTK-системи суттєво зменшують витрати часу на польові роботи, підвищують ефективність збору даних та створюють умови для формування високоточних цифрових моделей територій. Це робить RTK невід'ємною складовою сучасного цифрового землеустрою та перспективним інструментом розвитку кадастрово-геодезичної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему «МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ДЛЯ ПРОЄКТІВ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ RTK» , проведено комплексне теоретичне та прикладне дослідження, спрямоване на обґрунтування сучасних принципів, методів і технологічних рішень, що забезпечують високу точність, надійність та ефективність землеустрою в умовах цифровізації геопросторової інформації.

На основі аналізу теоретичних положень встановлено, що топографо-геодезичні роботи становлять фундамент системи землеустрою, забезпечуючи просторову прив'язку, точність та повноту даних, необхідних для розроблення землевпорядної документації. Доведено, що ефективність землеустрою безпосередньо залежить від стану геодезичної інфраструктури, яка включає геодезичні мережі різних класів, методи польових і дистанційних вимірювань, засоби камеральної обробки та технологічні механізми інтеграції геопросторових даних у кадастрові й планувальні системи. Значну роль відіграє застосування сучасних ГНСС-технологій, які забезпечують підвищення точності, оперативності та достовірності геодезичних вимірювань, створюючи методологічне підґрунтя для широкого впровадження RTK-технологій у землевпорядній практиці.

Установлено, що структура та якість геодезичних мереж — від державної до знімальної — визначають стабільність координатної основи топографо-геодезичних робіт. Класичні методи, такі як полігонометрія, триангуляція, трилатерація та різні види нівелювання, формують базу для подальшої інтеграції супутникових засобів позиціонування. Разом із тим супутникові технології нового покоління — GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou — значною мірою трансформували систему топографічного знімання, забезпечивши автоматизацію процесів, зменшення тривалості польових робіт і досягнення сантиметрового рівня точності, що є критично важливим для кадастрових і проєктних робіт.

Дослідження підтвердило, що виконання проєктів землеустрою можливе лише за умови комплексного проведення топографо-геодезичних робіт, які забезпечують збирання достовірних просторових даних про земельну ділянку. У роботі обґрунтовано, що інженерно-геодезичні умови території — рельєф, геологічна будова, типи ґрунтів, природні обмеження — визначають вибір технологій знімання та особливості подальшого опрацювання матеріалів. Такий підхід забезпечує науково обґрунтоване планування робіт і підвищення якості кінцевих результатів.

Науково обґрунтовано алгоритм виконання топографо-геодезичних робіт із використанням РТК-технології, що включає рекогностування території, виконання РТК-вимірювань, контроль точності та камеральну обробку результатів. Інтеграція РТК-даних в опрацювання дозволила отримати повний комплекс графічних і текстових матеріалів: креслення земельної ділянки, кадастровий план, каталог координат поворотних точок і XML-файл, що відповідає вимогам державних регламентів. РТК-технологія забезпечила отримання координат із сантиметровою точністю в реальному часі, що значно підвищило ефективність та надійність геодезичного супроводу землевпорядних робіт.

Окрему увагу приділено методам забезпечення точності РТК-вимірювань. Проведений аналіз засвідчив, що надійність супутникових спостережень, стабільність протоколів корекції, контроль геометрії супутникового сузір'я та правильність організації польових робіт є вирішальними чинниками у формуванні якісної кадастрової інформації. Нормативні вимоги щодо точності, передбачені державними стандартами, підтверджують необхідність документування та контролю кожного етапу РТК-знімання.

У ході дослідження встановлено перспективність інтеграції РТК-технологій із даними дистанційного зондування Землі, матеріалами БПЛА, LiDAR та багатосенсорними GNSS-системами. Синтез таких даних підвищує точність моделювання рельєфу, оптимізує процеси кадастрового знімання,

забезпечує високу якість просторово-аналітичних розрахунків і є ключовим напрямом розвитку цифрового землеустрою. Отримані результати свідчать, що інтегровані RTK-системи значно скорочують час виконання польових робіт, підвищують ефективність збору даних та формують передумови для створення високоточних цифрових моделей територій.

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна стверджувати, що RTK-технологія є критично важливою складовою сучасної системи топографо-геодезичного забезпечення землеустрою. Вона забезпечує високий рівень точності, оперативність та технологічну ефективність, що відповідає потребам цифрової трансформації земельних відносин і формування національної геопросторової інфраструктури. Розроблені методологічні підходи можуть бути використані для вдосконалення практики землевпорядних робіт, підвищення точності кадастрової інформації та розвитку сучасних методів просторового моделювання територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Геодезія, картографія та землевпорядкування Digital. URL: <http://digitals.at.ua/>
2. Геоінформаційні технології та GNSS-вимірювання: навчальний посібник / За ред. О. М. Завального. Київ: Ліра-К, 2020.
3. Державна служба з питань геодезії картографії та кадастру. Офіційний сайт. URL: <https://land.gov.ua>
4. Доскіч С. В. (2019). Комбінований розв'язок координат активних референцних GNSS станцій України : дис. канд. техн. наук : 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2019. 130 с.
5. Жук О. П., Богданець В. А., Кривов'яз Є. В., Степчук Я. А. Геодезія: конспект лекцій. Київ: ЦП «Компринт», 2024. 169 с.
6. Земельний кодекс України. Сайт «Законодавство України». Документ 2768-III — Редакція від 01.01.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>
7. Зуска А. В. Інженерна геодезія. Навчальний посібник. 2016. Івано-Франківськ: [видавець]. 312 с.
8. Карпінський Ю. О., Лепетюк Б. Д., Трюхан М. О. Про напрями вдосконалення нормативного забезпечення топографо-геодезичної і картографічної діяльності. Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. 2005. С. 17 – 22. [Електронний ресурс], режим доступу до журн. : www.gki.com.ua/sites/default/files/_0000940_file.pdf.
9. Каталог GPS / GNSS приймачів та іншого геодезичного обладнання для роботи з RTK. URL: https://systemnet.com.ua/katalog-gnss-prijmachiv/?gclid=Cj0KCQjw98ujBhCgARIsAD7QeAhpYrrxbU5X8ITkGiGfMLWmXVSEuLqpirqobvoT2T1ygKFexuXXLuYaAqQpEALw_wcB

10. Конституція України. Сайт «Законодавство України». Документ 254к/96-ВР, чинний, поточна редакція — Редакція від 01.01.2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>
11. Кравченко В. С., Мазур Н. В. Інтеграція RTK-даних у GIS-середовища при проектуванні землеустрою. Сучасні досягнення геодезичної науки, 2022.
12. Кримінальний кодекс України . Документ 5 квітня 2001 року № 2341-III. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text>.
13. Лісовий кодекс України. Документ № 3852-ХІІ від 21.01.1994 р. <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>.
14. Мамонов К. А., Ковальчук В. С., Троян В. І. Особливості аерофотозйомки при проектуванні кап-ремонтів та реконструкції автомобільних доріг // Геодезія та землеустрій. — 2023. — Т. 4, Вип. 178. — С. 147–151. — DOI: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-147-151. — УДК 528.71:528.74:625.72.
15. Мережа референцих GNSS станцій. System.net. URL:<http://gnss.org.ua/User/SiteMap/SiteMapPublic>
16. Національна інфраструктура геопросторових даних. Офіційний сайт.URL: <https://nsdi.land.gov.ua>
17. Пересекін В. М., Кузик В. С. Аналіз застосування RTK-технології в сучасних топографо-геодезичних вимірюваннях. Геодезія і картографія, 2021, № 2. DOI: 10.21285/2021/2/4.
18. Питання збору даних для моніторингу реалізації цілей сталого розвитку. Розпорядження кабінету міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 686-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/686-2019-%D1%80#Text>
19. Про державний земельний кадастр. Закон України від 07.07.2011 р. № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>
20. Про добровільне об'єднання територіальних громад. Закон України. Верховна Рада України; № 157-VIII від 05.02.2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/157-19>

21. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки. Постанова кабінету міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 695. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text>

22. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). Документ N 56 від 09.04.98 року. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23.06.1998 р. за N 393/2833. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> *(втрапила чинність)*

23. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) N 56 від 09.04.98: зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 червня 1998 р. за N 393/2833. Офіційний сайт «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> *(втрапила чинність)*

24. Про затвердження Класифікації обмежень у використанні земель, що можуть встановлюватися комплексним планом просторового розвитку території територіальної громади, генеральним планом населеного пункту, детальним планом території: Постанова Кабінету Міністрів України від 02.06.2021 р. № 654. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/654-2021-n#Text>

25. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру. Постанова кабінету міністрів України від від 17.10.2012 р. № 1051. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF#Text>

26. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 509. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text>.

27. Про затвердження Порядку з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 N 1675 від 17.04.2025: зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 червня 2025 р. за № 868/44274. Офіційний сайт «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0868-25#Text>

28. Про затвердження Порядку нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 23.05.2017 р. № 262: станом на 1 січ. 2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0679-17#Text>

29. Про землеустрій. Закон України від 22 травня 2003 року № 858-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>

30. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України № 554-IX (2020). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>.

31. Про порядок ведення державного земельного кадастру. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 р. №10516-2012-п. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051%D0%B1-2012-%D0%BF>

32. Про Програму створення автоматизованої системи ведення державного земельного кадастру від 2 грудня 1997 р. N 1355.Режим доступу: Електронний ресурс: uazakon.com/document/..../inx76796.htm.

33. Про регулювання містобудівної діяльності. Закон України № № 3038-VI від 17.02.2011. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>

34. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23.12.1998 р. № 353-XIV. Верховна Рада України: офіц. веб-портал. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>

35. Програмне забезпечення для цифрової картографії та землеустрою «Delta\Digitals XE». ТОВ «Аналітика». URL: <https://www.vinmap.net/>

36. Проєкт землеустрою щодо відведення земельної ділянки у оренду для ведення товарного сільськогосподарського виробництва (господарські будівлі і двори), що розташована за адресою: вул. Перемоги, 30, с. Ненадиха, Білоцерківського району Київської області. ФОП Тарнавський В.А. Тетіїв. 2024 р. 45 с.

37. Савчук С. Г., Проданець І. І., Калинич І. В. Перша мережа активних референціальних станцій в Україні: етапи становлення та початок діяльності. Геопрофіль. 2010. № I (10). С. 16–23.

38. Стельмах С. М., Дорош О. І. Сучасні підходи до цифровізації землеустрою України. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, 2022.
39. Технічний звіт «Зведений каталог координат активних референцних станцій України 2015- 2017 рр.» / Національний університет «Львівська політехніка». URL: http://zakpos.zakgeo.com.ua/download/Zvit_2018.pdf.
40. Універсальний GNSS-ровер, що відповідає вашим поточним та майбутнім потребам. ТОВ «ЕЛНАВ» URL: elnavgnss.com.ua
41. Церклевич А.А., Процик М.Г. Про точність визначення положення межових знаків і обчислення площ земельних ділянок. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів.2017. С. 185–188.
42. Шевчук С., Домашенко Г., Рожі Т. Сучасні методи геодезичного картографування територій: використання GPS та ГНСС технологій // Просторовий розвиток. 2024. № 8. С. 506–517. DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.506-517.
43. Angrisano, A., Gaglione, S., Gioia, C. Performance assessment of RTK and PPK positioning with UAV photogrammetric surveys. Survey Review, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00396265.2023.2197507>
44. Bisnath S., Collins P. Recent developments in RTK positioning. Geodesy Research, 2018. DOI: 10.1007/s00190-018-1152-7.
45. Colomina, I., Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
46. Euler H.-J., Keenan C., Zebhauser B. Study of network RTK performance. GPS Solutions, 2014. DOI: 10.1007/s10291-013-0349-x.
47. European GNSS Agency. GNSS Positioning in Challenging Environments. 2021. URL: <https://www.gsa.europa.eu> (дата звернення: 11.11.2025).
48. Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems. Springer, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1>

49. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more. Springer, 2008. DOI: 10.1007/978-3-211-73017-1.

50. Jiang, S., Zhao, B., Wang, Y. Integration of GNSS, INS, and LiDAR Sensors for UAV Trajectory Optimization. *Sensors*, 2022, 22(24), 9908. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22249908>

51. Kyivstar. Геодезія та супутникові RTK-рішення для бізнесу. Офіційний сайт. URL: <https://kyivstar.ua/business/products/geodesiya> (дата звернення: 17.11.2025).

52. Lapucha D., Kamiński W. Machine learning in GNSS accuracy prediction. *Sensors*, 2021. DOI: 10.3390/s21082877.

53. Liu J., Zhang W. AI-based modeling of GNSS multipath errors. *Remote Sensing*, 2020. DOI: 10.3390/rs12203315.

54. Mandlbürger, G., Pfennigbauer, M., Pfeifer, N. Analyzing the potential of UAV-borne LiDAR systems. *Remote Sensing*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12061028>

55. Nguoc Quang Vu, Ta Quoc Dung. A Comparative Study of UAV LiDAR, UAV Photogrammetry and GNSS RTK on Infrastructure Survey. *International Journal of Advanced Engineering*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11815.34722>

56. Real-Time Kinematic Positioning. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_kinematic_positioning (дата звернення: 17.09.2025).

57. Rehak, M., Skaloud, J. Time synchronization of onboard UAV sensors. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W4-123-2015>

58. Renslow, M., ed. *Manual of Airborne Topographic LiDAR*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2012.

59. Rizos C., Janssen V., Roberts C. Network-based RTK positioning: theory and applications. *Journal of Spatial Science*, 2013. DOI: 10.1080/14498596.2013.809869.
60. Shan, J., Toth, C. K. (eds.). *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315152684>
61. System.NET — Мережа супутникових геодезичних станцій України. Офіційний сайт. URL: <https://systemnet.com.ua> (дата звернення: 17.11.2025).
62. Trimble GNSS Planning Online. URL: <https://www.gnssplanning.com/#/settings> (дата звернення 17.10.2025)
63. Turner, D., Lucieer, A., Watson, C. An automated technique for generating georectified mosaics from UAV-captured imagery. *Remote Sensing*, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs4021392>
64. Zhang, J., Zhang, G., Zhu, Q. Multi-Sensor Fusion of GNSS RTK, LiDAR SLAM, and IMU for Accurate and Continuous Vehicle Localization in Urban Canyons. *Applied Sciences*, 2022, 12(10), 5193. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12105193>

